

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS HIDROLÂNDIA**

GLEICY BARBOSA RIBEIRO

**EXTRATOS AQUOSOS DE *Mentha spicata* E *Lavandula angustifolia* NO
CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO
DE SEMENTES DE MILHO ARMAZENADAS**

HIDROLÂNDIA, GO

2026

GLEICY BARBOSA RIBEIRO

**EXTRATOS AQUOSOS DE *Mentha spicata* E *Lavandula angustifolia* NO
CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO
DE SEMENTES DE MILHO ARMAZENADAS**

Monografia apresentada à
Banca Examinadora do Curso
de Pós graduação em
Bioinsumo Instituto Federal
Goiano como exigência parcial
para obtenção do título de Pós
graduação em Bioinsumo.

Orientador: Profa. Dra. Lilian
Rosana Silva Rabelo
Aluna: Gleicy Barbosa Ribeiro

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

B238c Barbosa Ribeiro, Gleicy
EXTRATOS AQUOSOS DE *Mentha spicata* E *Lavandula angustifolia* NO CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO ARMAZENADAS: controle do gorgulho-do-milho e manutenção da germinação/qualidade fisiológica das sementes. / Gleicy Barbosa Ribeiro. Hidrolândia 2026.
50f. il.
Orientadora: Prof^ª. Dra. Dra. Lilian Rosana Silva Rabelo.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de 1130426 - Especialização em Bioinsumos - Hidrolândia (Campus Hidrolândia).
1. bioinseticidas. 2. armazenamento de sementes. 3. germinação.
I. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☒ Monografia (especialização)
☐ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Gleicy Barbosa Ribeiro

Matrícula:

2024111304260008

Título do trabalho:

EXTRATOS AQUOSOS DE *Mentha spicata* E *Lavandula angustifolia* NO CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E SEUS EFEITOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO ARMAZENADAS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? ☒ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

gov.br
Documento assinado digitalmente
GLEICY BARBOSA RIBEIRO
Data: 30/06/2026 18:25:32-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Hidrolândia-GO
Local

28 / 04 / 2026
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

gov.br
Documento assinado digitalmente
LILIAN ROSANA SILVA RIBEIRO
Data: 11/08/2026 07:53:14-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 17/2026 - NE-HID/GE-HID/CMPHID/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IFGoiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DECURSO

Aos 28 dias do mês de abril de dois mil e vinte e seis, às 15h30min, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof.^a Dra. Lilian Rosana Silva Rabelo (orientadora), Prof.^a Dra. Aline Assis Cardoso (membro interno) e Profa. Dra. Míriam de Almeida Marques (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "**Extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* no controle de *Sitophilus zeamais* e seus efeitos na germinação de sementes de milho armazenadas**" de Gleicy Barbosa Ribeiro, estudante do curso de Pós-graduação lato sensu em Bioinsumos do IF Goiano - Campus Hidrolândia, sob Matrícula nº 2024111304260010. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do(a) candidato(a) pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus Hidrolândia, 30 de abril de 2026.

(Assinado eletronicamente)

Dra. Lilian Rosana Silva Rabelo

Orientadora

(Assinado eletronicamente)

Dra. Aline Assis Cardoso

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Dra Miriam de Almeida Marques

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lilian Rosana Silva Rabelo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 28/04/2026 17:04:50.
- **Miriam de Almeida Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 28/04/2026 17:06:55.
- **Aline Assis Cardoso**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO , em 06/05/2026 16:21:03.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/04/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 814288

Código de Autenticação: 44029bbe77



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Hidrolândia

Estrada São Brás KM 04 Zona Rural, SN, Zona Rural, HIDROLÂNDIA / GO, CEP 75340-000

(62) 9112-8719

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de sabedoria, força e inspiração, por ter me concedido saúde, coragem e perseverança para concluir mais esta etapa da minha trajetória acadêmica. A Ele dedico toda a gratidão pela luz e proteção ao longo deste percurso.

À minha família, pelo amor incondicional, apoio e compreensão em todos os momentos. Aos meus pais, que sempre acreditaram em meu potencial e me ensinaram o valor do esforço e da dedicação. A todos os familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram com palavras de incentivo e gestos de carinho durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) e ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos, pela oportunidade de aprendizado e pelo suporte institucional que tornaram possível a realização desta pesquisa.

Às agências de fomento FAPEG, FUNAPE e CEBIO, pelo apoio contínuo ao desenvolvimento científico e tecnológico, fundamentais para a consolidação de pesquisas que promovem a sustentabilidade e a inovação no agronegócio brasileiro.

A todos os professores, orientadores e colegas que compartilharam conhecimento, experiências e motivação, contribuindo para o crescimento pessoal e profissional alcançado ao longo desta jornada acadêmica.



BIOGRAFIA DO ALUNO

Meu nome é Gleicy, sou graduada em Ciências Biológicas – Licenciatura, concluída em 2017, e pós-graduada em Educação, Meio Ambiente e Sustentabilidade pelo Instituto Federal de Goiás (IFG) – Câmpus Senador Canedo.

Atuo como professora da rede estadual de ensino desde 2014, desempenhando minha função com dedicação e compromisso, sempre em busca de promover uma educação transformadora e significativa.

Durante minha trajetória pessoal e profissional, sempre contei com o apoio incondicional da minha família meu pai, minha mãe e minha filha que, mesmo diante das dificuldades, nunca deixaram de acreditar em mim e torcer pelas minhas conquistas.

Continuo buscando o aperfeiçoamento constante, tanto pessoal quanto profissional, com o propósito de alcançar novos objetivos, contribuir cada vez mais com a educação e conquistar estabilidade e realização em minha carreira.

RESUMO

O armazenamento de sementes de milho pode ser comprometido pelo ataque de *Sitophilus zeamais*, ocasionando perdas na qualidade e no potencial fisiológico. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência inseticida de extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia*, bem como seus efeitos sobre a germinação de sementes de milho armazenadas e os custos associados aos tratamentos. O experimento foi conduzido em delineamento fatorial $2 \times 3 \times 2$, envolvendo dois extratos vegetais, três concentrações (40, 70 e 100 g L⁻¹) e dois tipos de embalagem, além de uma testemunha. A mortalidade de *S. zeamais* foi avaliada ao longo do tempo, sendo considerada a mortalidade acumulada às 72 horas. A concentração dos extratos influenciou significativamente a mortalidade, com maiores valores observados nas concentrações de 70 e 100 g L⁻¹, que não diferiram entre si. A análise de regressão indicou relação positiva entre concentração e mortalidade, com estimativa da concentração letal média (CL50) de 83,16 g L⁻¹. Não foram observados efeitos do tipo de extrato ou da embalagem. A germinação das sementes permaneceu elevada em todos os tratamentos, indicando ausência de fitotoxicidade. A análise de custos demonstrou maior custo dos extratos em relação ao controle químico. Conclui-se que os extratos aquosos apresentam atividade inseticida moderada e dependente da concentração, sem comprometer a qualidade fisiológica das sementes, com potencial de uso no manejo sustentável de pragas, especialmente como alternativa complementar em sistemas de armazenamento.

Palavras-chave: bioinseticidas; armazenamento de sementes; germinação.

ABSTRACT

The storage of corn seeds can be compromised by the attack of *Sitophilus zeamais*, causing losses in quality and physiological potential. In this context, the present study aimed to evaluate the insecticidal efficiency of aqueous extracts of *Mentha spicata* and *Lavandula angustifolia*, as well as their effects on the germination of stored corn seeds and the costs associated with the treatments. The experiment was conducted in a $2 \times 3 \times 2$ factorial design, involving two plant extracts, three concentrations (40, 70, and 100 g L⁻¹), and two types of packaging, in addition to a control treatment. The mortality of *S. zeamais* was evaluated over time, considering cumulative mortality at 72 hours. Extract concentrations significantly influenced mortality, with higher values observed at concentrations of 70 and 100 g L⁻¹, which did not differ from each other. Regression analysis indicated a positive relationship between concentration and mortality, with an estimated median lethal concentration (LC50) of 83.16 g L⁻¹. No effects of extract type or packaging were observed. Seed germination remained high across all treatments, indicating the absence of phytotoxicity. Cost analysis demonstrated higher costs of the extracts compared to chemical control. It is concluded that aqueous extracts present moderate and concentration-dependent insecticidal activity without compromising seed physiological quality, showing potential for use in sustainable pest management, especially as a complementary alternative in storage systems.

Keywords: bioinsecticides; seed storage; germination.

LISTA DE TABELAS

Capítulo	Tabela	Título
Capítulo I	Tabela 1	Análise de deviance para mortalidade acumulada de <i>Sitophilus zeamais</i> aos 72 horas, em função dos fatores extrato vegetal, concentração e tipo de embalagem.
Capítulo I	Tabela 2	Mortalidade (%) de <i>Sitophilus zeamais</i> aos 72 horas em função do extrato vegetal e da concentração.
Capítulo I	Tabela 3	Mortalidade (%) de <i>Sitophilus zeamais</i> aos 72 horas em função do extrato vegetal e da concentração.
Capítulo I	Tabela 4	Análise de deviance para germinação de sementes de milho em função dos extratos vegetais, concentrações e tipos de embalagem.
Capítulo II	Tabela 1	Estimativa comparativa de custos dos tratamentos utilizados no controle de <i>Sitophilus zeamais</i> em sementes de milho armazenadas.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo	Figura	Título
Capítulo I	Figura 1	Mortalidade (%) de <i>Sitophilus zeamais</i> em função da concentração dos extratos vegetais, às 72 horas. Barras representam média $\pm$ erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de comparações múltiplas ($p \leq 0,05$).
Capítulo I	Figura 2	Curva dose-resposta da mortalidade de <i>Sitophilus zeamais</i> em função da concentração dos extratos vegetais, às 72 horas.
Capítulo I	Figura 3	Mortalidade (%) de <i>Sitophilus zeamais</i> ao longo do tempo de exposição aos extratos vegetais. Os pontos representam a média e as barras verticais representam o erro padrão da média.

SÚMÁRIO

RESUMO	X
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE FIGURAS	XII
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. OBJETIVO.....	14
3. CAPÍTULO 1- ATIVIDADE INSETICIDA DE EXTRATOS AQUOS .15	
3.1 INTRODUÇÃO	16
3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.5 CONCLUSÃO	35
3.6 REFERÊNCIAS	36
4. CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE CUSTO DOS TRATAMENTOS.....	38
4.1 INTRODUÇÃO	39
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.3 CONCLUSÃO	42
4.4 REFERÊNCIAS	43
5. CONCLUSÃO GERAL	44
6. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é um dos cereais de maior importância econômica e social no cenário agrícola mundial. No Brasil, terceiro maior produtor global, o cultivo do milho assume papel estratégico não apenas na alimentação humana, mas também como insumo essencial na produção de rações destinadas à avicultura e suinocultura, além de possuir crescente relevância nas indústrias de alimentos, bebidas e biocombustíveis. Sua produção, que na safra 2023/2024 atingiu aproximadamente 122,7 milhões de toneladas, evidencia sua magnitude no agronegócio nacional e a importância da manutenção da qualidade dos grãos e sementes em todas as etapas da cadeia produtiva, do campo ao armazenamento (CONAB, 2024; EMBRAPA, 2018).

Contudo, o armazenamento de grãos e sementes de milho representa uma das etapas mais críticas do processo produtivo. Estima-se que, em condições tropicais, como as do Brasil, as perdas quantitativas e qualitativas durante a estocagem possam atingir de 20% a 30%, sendo os insetos-praga os principais responsáveis por tais prejuízos. Entre esses insetos, destaca-se o gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), considerado uma praga primária devido à sua capacidade de infestar e se reproduzir em grãos íntegros. Sua elevada taxa reprodutiva e o fato de completar o ciclo biológico dentro dos grãos dificultam a detecção e o controle, ocasionando perdas de peso, redução no valor nutritivo e comprometimento do poder germinativo das sementes (Guedes et al., 2017; Silva et al., 2020).

Segundo Toledo e Marcos Filho (1977), as sementes representam a continuidade da vida vegetal e são estruturas altamente organizadas e adaptadas à sobrevivência em condições adversas. Entretanto, sua integridade pode ser comprometida pela ação de pragas e pelas condições inadequadas de armazenamento. Tradicionalmente, o controle de *Sitophilus zeamais* tem sido realizado com o uso de inseticidas sintéticos, especialmente fumigantes à base de fosfina (PH₃). Embora eficazes, esses produtos têm gerado sérias consequências ambientais e toxicológicas, como o desenvolvimento de resistência em populações de insetos, contaminação de alimentos e riscos à saúde humana e animal (Lorini, 2008; Pimentel et al., 2010).

Nesse contexto, a busca por métodos alternativos de controle, ambientalmente seguros e economicamente viáveis, tem ganhado destaque na pesquisa agrícola contemporânea. O uso de compostos naturais com propriedades inseticidas,

especialmente os óleos essenciais e extratos vegetais, apresenta-se como uma alternativa promissora. Esses compostos são constituídos por metabólitos secundários, como monoterpenos e fenóis, que podem atuar como repelentes, deterrentes de alimentação e oviposição, reguladores de crescimento e agentes neurotóxicos em insetos. Espécies pertencentes à família Lamiaceae, como a hortelã (*Mentha spicata*) e a lavanda (*Lavandula angustifolia*), têm se destacado por apresentarem alto potencial biocida devido à presença de compostos como mentol, mentona e linalol, amplamente reconhecidos por suas propriedades inseticidas, larvicidas e acaricidas (Coitinho et al., 2011; Regnault-Roger et al., 2012; Moraes, 2009).

Apesar dos avanços nas pesquisas sobre o uso de extratos vegetais no controle de insetos-praga de grãos armazenados, ainda são limitados os estudos que avaliam de forma integrada a eficácia desses compostos associada às condições físicas de armazenamento. Em particular, observa-se uma lacuna no conhecimento quanto à interação entre tratamentos com extratos botânicos e diferentes tipos de embalagem, bem como seus efeitos simultâneos sobre o controle de *Sitophilus zeamais* e sobre a qualidade fisiológica das sementes, especialmente a germinação (Coitinho et al., 2011; Silva et al., 2017).

A maioria dos trabalhos concentra-se apenas na mortalidade de insetos ou na atividade repelente dos extratos, sem considerar o possível impacto desses tratamentos sobre a viabilidade das sementes durante o armazenamento. Dessa forma, torna-se necessário investigar se a aplicação de extratos de plantas com potencial inseticida pode contribuir para o manejo de pragas de armazenamento sem comprometer o desempenho fisiológico das sementes, considerando também a influência do tipo de embalagem utilizado (Brito et al., 2015; Silva et al., 2017).

Além dos fatores químicos, as condições físicas de armazenamento, como o tipo de embalagem, influenciam diretamente a eficiência dos tratamentos e a preservação da qualidade fisiológica das sementes. Embalagens herméticas, como garrafas PET, limitam a troca gasosa e reduzem a umidade, dificultando o desenvolvimento de insetos e a deterioração das sementes. Já embalagens permeáveis, como sacos de papel multifoliado, permitem maior ventilação e absorção de umidade, podendo comprometer o vigor e a germinação em ambientes úmidos. Dessa forma, compreender a interação entre o tipo de embalagem e os tratamentos com extratos naturais torna-se essencial para a formulação de estratégias eficazes de conservação de sementes e controle de pragas (Silva et al., 2018; Zorzenon et al., 2021).

A relevância científica deste estudo consiste na necessidade de ampliar o conhecimento sobre o uso de extratos bioativos no manejo de *Sitophilus zeamais*,

contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de proteção de grãos e sementes. Já a relevância social está associada à promoção de práticas agrícolas mais seguras, que reduzam o impacto ambiental e os riscos à saúde humana, especialmente para pequenos produtores que dependem da preservação da qualidade das sementes para garantir sua produtividade e renda (Bittencourt et al., 2016; Almeida et al., 2020). A viabilidade da pesquisa apoia-se na ampla disponibilidade das espécies vegetais estudadas e na facilidade de obtenção dos extratos, o que reforça seu potencial de aplicação prática no contexto agrícola brasileiro.

Embora existam diversos estudos internacionais sobre o potencial inseticida de extratos vegetais, as interações entre macroorganismos e espécies de plantas podem variar significativamente entre regiões, em função de fatores ambientais, genéticos e ecológicos, o que reforça a necessidade de validação em contextos locais de produção (Garcia et al., 2012; Costa et al., 2018). Assim, o estudo se insere na busca por estratégias que integrem eficiência no controle de pragas e conservação da qualidade das sementes durante o armazenamento, o que contribui para fortalecer a base científica necessária ao desenvolvimento de bioinsumos de origem vegetal no contexto nacional, fomentando a inovação tecnológica e auxiliando produtores na adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o efeito de extratos de hortelã (*Mentha spicata*) e lavanda (*Lavandula angustifolia*) em diferentes concentrações sobre o controle de *Sitophilus zeamais* e sobre a germinação de sementes de milho (*Zea mays* L.) armazenadas em diferentes tipos de embalagem, bem como os custos associados aos tratamentos.

Objetivos Específicos

- Determinar a taxa de mortalidade de adultos de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho tratadas com extratos de hortelã e lavanda nas concentrações de 40, 70 e 100 g L⁻¹, em intervalos de 24, 48 e 72 horas.
- Comparar a eficácia dos tratamentos em dois tipos de embalagem: garrafa PET (hermética) e saco de papel multifoliado Kraft (permeável).
- Avaliar a germinação de sementes de milho tratadas com os extratos após um período de 40 dias de armazenamento, por meio do teste de germinação.
- Realizar uma análise de custos comparativa entre os tratamentos com extratos naturais e os métodos convencionais de controle de pragas em grãos armazenados.

3. CAPÍTULO I

ATIVIDADE INSETICIDA DE EXTRATOS AQUOSOS DE *Mentha spicata* E *Lavandula angustifolia* SOBRE *Sitophilus zeamais* E EFEITOS NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO ARMAZENADAS

Resumo: O gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) é uma importante praga de sementes armazenadas, responsável por perdas significativas de qualidade. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência inseticida de extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* no controle de *Sitophilus zeamais*, bem como seus efeitos sobre a germinação de sementes de milho. O experimento foi conduzido em delineamento fatorial 2 x 3 x 2, envolvendo dois extratos vegetais, três concentrações (40, 70 e 100 g L⁻¹) e dois tipos de embalagem. A mortalidade dos insetos foi avaliada às 24, 48 e 72 horas, sendo considerada a mortalidade acumulada às 72 horas para análise estatística. A concentração influenciou significativamente a mortalidade, com maiores valores nas concentrações de 70 e 100 g L⁻¹, sem diferença entre si. A análise de regressão indicou aumento da mortalidade com a elevação da dose, com CL₅₀ estimada em 83,16 g L⁻¹. Não houve efeito do tipo de extrato ou da embalagem. A germinação das sementes permaneceu elevada em todos os tratamentos. Conclui-se que os extratos aquosos apresentam atividade inseticida dependente da concentração, com eficiência moderada e ausência de fitotoxicidade, indicando potencial de uso no manejo de *Sitophilus zeamais*, especialmente como alternativa complementar em sistemas de armazenamento.

Palavras-chave: Dose-resposta; mortalidade; germinação de sementes.

Abstract: The maize weevil (*Sitophilus zeamais*) is a major pest of stored seeds, responsible for significant quality losses. This study aimed to evaluate the insecticidal efficiency of aqueous extracts of *Mentha spicata* and *Lavandula angustifolia* in the control of *Sitophilus zeamais*, as well as their effects on the germination of maize seeds. The experiment was conducted in a 2x 3x 2x factorial design, involving two plant extracts, three concentrations (40, 70, and 100 g L⁻¹), and two types of packaging. Insect mortality was evaluated at 24, 48, and 72 hours, considering the cumulative mortality at 72 hours for statistical analysis. Concentration significantly influenced mortality, with higher values observed at concentrations of 70 and 100 g L⁻¹, which did not differ from each other. Regression analysis indicated an increase in mortality with higher doses, with an estimated LC₅₀ of 83.16 g L⁻¹. There was no effect from the type of extract or packaging. Seed germination remained high across all treatments. It is concluded that the aqueous extracts exhibit concentration-dependent insecticidal activity with moderate efficiency and no phytotoxicity, indicating potential for use in the management of *Sitophilus zeamais*, especially as a complementary alternative in storage systems.

Keywords: Dose-response; mortality; seed germination.

3.1 Introdução

O armazenamento de grãos constitui uma etapa crucial na cadeia produtiva do milho, sendo responsável pela preservação da qualidade e pela manutenção do valor comercial do produto. Entretanto, as perdas quantitativas e qualitativas causadas por insetos-praga, com destaque para o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*), representam um grave desafio econômico e ambiental. Tradicionalmente, o controle dessas pragas fundamenta-se no uso de inseticidas sintéticos; contudo, a dependência desses produtos tem gerado preocupações crescentes quanto à resistência de populações de insetos e aos riscos de contaminação residual nos alimentos (Morzelle et al., 2017).

Nesse cenário, os produtos de origem botânica emergem como alternativas sustentáveis. O potencial de extratos e óleos essenciais de plantas aromáticas no manejo de pragas de armazenamento tem sido amplamente documentado, especialmente para espécies da família Lamiaceae, como a hortelã (*Mentha spicata*) e a lavanda (*Lavandula angustifolia*). Essas plantas possuem monoterpenos bioativos que atuam de forma neurotóxica sobre os insetos, afetando processos fisiológicos vitais e reduzindo sua sobrevivência (Isman, 2020; Knaak; Fiuza, 2010). Além da baixa persistência ambiental, esses bioinsumos apresentam menor risco toxicológico em comparação aos fumigantes tradicionais, o que estimula o desenvolvimento de estratégias de manejo integradas e sustentáveis (Regnault-Roger; Vincent; Arnason, 2012).

Apesar desses avanços, observa-se uma escassez de pesquisas que relacionem simultaneamente a eficácia biológica de extratos vegetais com a influência do tipo de embalagem de armazenamento e a manutenção do vigor fisiológico das sementes. A interação entre os compostos voláteis e o ambiente de estocagem é determinante, visto que a troca de gases e a umidade permitidas pelo recipiente podem interferir diretamente na conservação dos grãos e na estabilidade dos compostos bioativos aplicados.

Diante do exposto, este capítulo teve como objetivo avaliar a eficácia inseticida dos extratos aquosos de hortelã e lavanda, em diferentes concentrações, sobre a mortalidade de *Sitophilus zeamais*. Adicionalmente, buscou-se analisar o impacto desses tratamentos na qualidade fisiológica das sementes de milho armazenadas em dois tipos de embalagem (PET e Papel Kraft) durante o período de 40 dias.

3.2 Revisão bibliográfica

Importância de *Sitophilus zeamais* em grãos armazenados

O gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) é considerado uma das principais pragas de grãos armazenados, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Sua importância está relacionada à elevada capacidade de infestação, podendo atacar os grãos ainda no campo e continuar seu desenvolvimento durante o armazenamento, o que favorece o aumento populacional ao longo do tempo (Guedes et al., 2017; FAO, 2018).

As perdas pós-colheita associadas à infestação por insetos são significativas, podendo comprometer a segurança alimentar, principalmente em países em desenvolvimento. Estimativas indicam que perdas globais de grãos armazenados podem atingir valores entre 15% e 20%, sendo os insetos-praga um dos principais fatores responsáveis por esses prejuízos. Além da redução quantitativa, a infestação por *Sitophilus zeamais* compromete a qualidade dos grãos, uma vez que as larvas se desenvolvem no interior dos mesmos, consumindo o endosperma e reduzindo o valor nutricional. Adicionalmente, a presença de resíduos metabólicos favorece o desenvolvimento de fungos e outros microrganismos, afetando a qualidade sanitária do produto (Goittardi, 2014; Guedes et al., 2017).

No caso de sementes, os danos são ainda mais relevantes, pois afetam diretamente a qualidade fisiológica. A destruição parcial ou total do embrião pode reduzir significativamente a germinação e o vigor das sementes, comprometendo o estabelecimento da cultura (Oliveira; Cruz, 1986; Carvalho et al., 2017).

Diante desse cenário, o controle eficiente de *Sitophilus zeamais* torna-se essencial para reduzir perdas e garantir a qualidade dos grãos armazenados, especialmente em sistemas de produção voltados para pequenos e médios produtores.

Biologia e danos de *Sitophilus zeamais*

A biologia de *Sitophilus zeamais* contribui diretamente para sua eficiência como praga de armazenamento. Trata-se de um inseto holometábolo, cujo ciclo de vida ocorre predominantemente no interior dos grãos, dificultando a identificação precoce da infestação e reduzindo a eficácia de métodos de controle por contato (Guedes et al., 2017).

A oviposição ocorre dentro do grão, onde as larvas se desenvolvem protegidas contra fatores externos. Durante essa fase, ocorre o consumo do endosperma, resultando em perdas de massa e danos estruturais irreversíveis. Esse comportamento endofítico torna o controle mais complexo e favorece a persistência da praga no ambiente de armazenamento (FAO, 2018).

Além dos danos diretos, a infestação pode provocar efeitos indiretos, como a contaminação por excrementos e a facilitação do crescimento de fungos, o que pode resultar

na deterioração dos grãos e até na produção de micotoxinas (Gottardi, 2014).

Fatores ambientais, como temperatura e umidade, influenciam significativamente o desenvolvimento da praga. Em condições tropicais, essas variáveis favorecem ciclos mais rápidos e maior taxa de reprodução (Puzzi, 1977).

A elevada fecundidade e a sobreposição de gerações contribuem para o rápido crescimento populacional, tornando necessário o uso de estratégias eficientes e integradas de manejo (Silva et al., 2020).

Métodos de controle de pragas de armazenamento

O controle de pragas em grãos armazenados pode ser realizado por meio de diferentes estratégias, incluindo métodos químicos, físicos, biológicos e alternativas, sendo o manejo integrado de pragas (MIP) a abordagem mais recomendada por permitir a combinação dessas técnicas de forma complementar (Guedes et al., 2017).

O controle químico, especialmente por meio do uso de fumigantes como a fosfina (PH₃), é amplamente utilizado devido à sua elevada eficácia e capacidade de penetração na massa de grãos, alcançando insetos em diferentes estágios de desenvolvimento. Esse método apresenta ação rápida e facilidade de aplicação, sendo amplamente adotado em sistemas comerciais de armazenamento (FAO, 2018; Lorini; Miike; Scussel, 2015). No entanto, o uso contínuo desse composto tem sido associado ao desenvolvimento de resistência em populações de insetos, além de riscos toxicológicos e ambientais, o que tem motivado a busca por alternativas mais seguras e sustentáveis (Silva et al., 2020).

Diante dessas limitações, métodos físicos vêm sendo utilizados como estratégias complementares ou alternativas ao controle químico. Entre esses métodos, destaca-se o armazenamento hermético, que reduz a disponibilidade de oxigênio no interior das embalagens, dificultando a respiração e o desenvolvimento dos insetos. Esse tipo de armazenamento tem se mostrado eficiente no controle de pragas e na manutenção da qualidade dos grãos, além de não deixar resíduos tóxicos (Zorzenon et al., 2021; FAO, 2018).

Outras práticas físicas, como o controle da umidade e da temperatura, também são fundamentais para reduzir a infestação de insetos. Condições inadequadas de armazenamento favorecem o desenvolvimento das pragas e aceleram a deterioração dos grãos, sendo o monitoramento desses fatores essencial para a conservação do produto (Puzzi, 1977; Guedes et al., 2017).

Além dos métodos químicos e físicos, o uso de produtos de origem vegetal tem ganhado destaque como alternativa promissora no manejo de pragas de armazenamento.

Extratos e óleos essenciais de plantas apresentam compostos bioativos com ação inseticida, podendo atuar por contato, ingestão ou fumigação, além de apresentarem menor impacto ambiental e menor risco à saúde humana (Regnault-Roger et al., 2012; Morzelle et al., 2017). Estudos recentes reforçam o potencial desses compostos como parte de estratégias integradas de manejo. Trabalhos experimentais demonstram que extratos vegetais podem reduzir significativamente a população de insetos em grãos armazenados, além de apresentarem efeito repelente e inibidor do desenvolvimento (Fazolin et al., 2010; Silva et al., 2018). Adicionalmente, quando combinados com métodos físicos, como o armazenamento hermético, esses extratos podem apresentar efeito sinérgico, aumentando a eficiência no controle de pragas.

Dessa forma, o manejo de pragas em armazenamento deve ser baseado na integração de diferentes estratégias, considerando não apenas a eficiência no controle, mas também a sustentabilidade e a segurança do sistema produtivo. Nesse contexto, a adoção de métodos alternativos, como os extratos vegetais, associada a práticas adequadas de armazenamento, representa uma abordagem promissora para a redução das perdas pós-colheita.

Extratos vegetais no controle de pragas de armazenamento: mecanismos de ação, eficácia e sustentabilidade

Os extratos vegetais têm sido amplamente estudados como alternativa ao controle químico de pragas em grãos armazenados, principalmente devido à presença de metabólitos secundários com atividade inseticida, como alcaloides, flavonoides, taninos e terpenos. Esses compostos atuam como mecanismos naturais de defesa das plantas, podendo apresentar efeitos tóxicos, repelentes e inibidores do desenvolvimento dos insetos (Regnault-Roger et al., 2012; Morais, 2009).

Os mecanismos de ação desses compostos são variados e podem envolver a interferência no sistema nervoso dos insetos, inibição de enzimas como a acetilcolinesterase, alterações no comportamento alimentar e redução da fecundidade. Essa diversidade de modos de ação contribui para a eficácia dos extratos vegetais e reduz a probabilidade de desenvolvimento de resistência, em comparação aos inseticidas sintéticos (Regnault-Roger et al., 2012; Morzelle et al., 2017).

A eficácia dos extratos vegetais no controle de pragas de armazenamento tem sido demonstrada em diversos estudos, especialmente para espécies como *Sitophilus zeamais*. De modo geral, observa-se que a eficiência está diretamente relacionada à concentração e à forma de aplicação, sendo comum a ocorrência de resposta dose-dependente (Fazolin et al., 2010;

Silva et al., 2018).

Além disso, esses compostos podem atuar por contato, ingestão ou fumigação, ampliando seu potencial de uso em diferentes condições de armazenamento.

Estudos recentes reforçam esse potencial, evidenciando que extratos vegetais podem promover elevada mortalidade de insetos, reduzir a emergência de novas gerações e, simultaneamente, manter a qualidade fisiológica das sementes. Trabalhos experimentais demonstram que compostos de origem vegetal são capazes de controlar espécies como *Sitophilus zeamais* sem comprometer a germinação, indicando sua seletividade biológica (Fazolin et al., 2010; Silva et al., 2018). Além disso, estudos mais recentes relatam elevada eficiência de extratos vegetais no controle de pragas de armazenamento, com redução significativa da população de insetos e baixa interferência na viabilidade das sementes (Kifle et al., 2024). Esses resultados indicam que os extratos vegetais podem ser utilizados como parte de estratégias de manejo integrado de pragas, especialmente em sistemas que buscam reduzir o uso de produtos químicos (Regnault-Roger et al., 2012; Morzelle et al., 2017).

Outro aspecto relevante refere-se à sustentabilidade do uso desses compostos. Os extratos vegetais apresentam baixa persistência ambiental, menor toxicidade para organismos não alvo e menor risco de contaminação dos alimentos, sendo considerados alternativas mais seguras em comparação aos inseticidas convencionais (Regnault-Roger et al., 2012; Morzelle et al., 2017).

Nesse contexto, o uso de extratos vegetais no controle de pragas de armazenamento representa uma estratégia promissora, aliando eficiência no controle, segurança alimentar e menor impacto ambiental, especialmente quando integrado a outras práticas de manejo.

Eficácia Inseticida e efeito repelente de extratos de hortelã e lavanda em grãos armazenados.

As Espécies da família Lamiaceae, como hortelã (*Mentha spicata*) e lavanda (*Lavandula angustifolia*), apresentam elevado teor de compostos bioativos, como mentol, mentona, os quais estão diretamente associados à atividade inseticida. Esses compostos atuam principalmente no sistema nervoso dos insetos, interferindo na transmissão de impulsos nervosos e provocando efeitos como repelência, redução da atividade alimentar e mortalidade (Regnault-Roger et al., 2012; Morais, 2009).

Diversos estudos demonstram o potencial inseticida de espécies do gênero *Mentha* sobre pragas de grãos armazenados. Revisões científicas indicam que os óleos essenciais dessas espécies apresentam ampla atividade biológica, incluindo efeitos tóxicos, repelentes e

inibidores do desenvolvimento de insetos, sendo essa atividade diretamente relacionada à composição química dos extratos (Regnault-Roger et al., 2012; Pavela, 2015).

Especificamente, o óleo essencial e o pó de folhas de *Mentha pulegium* têm demonstrado elevada eficácia no controle de *Sitophilus oryzae* e *Tribolium castaneum*, duas importantes pragas de grãos armazenados. Em condições experimentais, foi observada alta mortalidade dos insetos, com efeito dependente da dose e do tempo de exposição, além de redução significativa na sobrevivência das populações (Benelli et al., 2018; Pavela, 2015). Esses resultados evidenciam o potencial dos extratos de *Mentha* no controle de insetos-praga em armazenamento.

Além disso, estudos demonstram que os óleos essenciais de *Mentha* apresentam atividade fumigante expressiva, com capacidade de penetrar na massa de grãos e atuar sobre insetos que se desenvolvem internamente. Esse efeito está relacionado à presença de compostos como pulegona e mentona, que atuam na inibição da acetilcolinesterase e em outros processos fisiológicos dos insetos (Regnault-Roger et al., 2012; Morais, 2009).

No caso da lavanda (*Lavandula angustifolia*), a atividade inseticida está associada principalmente à presença de linalol e acetato de linalila, compostos com reconhecida ação neurotóxica e repelente. Estudos indicam que esses compostos são eficazes contra diferentes espécies de insetos, incluindo pragas de armazenamento, atuando tanto por contato quanto por fumigação (Regnault-Roger et al., 2012; Pavela, 2015).

De modo geral, a eficácia dos extratos de hortelã e lavanda está diretamente relacionada à concentração, sendo comum a observação de resposta dose-dependente, com aumento da mortalidade em função da dose aplicada (Coitinho et al., 2011; Silva et al., 2018). Além disso, a combinação de efeitos tóxicos, repelentes e fumigantes torna esses extratos particularmente promissores para o controle de insetos que se desenvolvem no interior dos grãos, como *Sitophilus spp.*

Outro aspecto relevante refere-se à sustentabilidade desses compostos, uma vez que apresentam baixa persistência ambiental, menor toxicidade para organismos não alvo e menor risco de contaminação dos alimentos. Dessa forma, o uso de extratos de hortelã e lavanda representa uma alternativa viável ao controle químico convencional, especialmente em sistemas que priorizam práticas sustentáveis e redução do uso de inseticidas sintéticos (Regnault-Roger et al., 2012; Morzelle et al., 2017).

Influência das embalagens no armazenamento de sementes

O tipo de embalagem exerce papel fundamental na conservação de grãos e sementes

armazenadas, influenciando diretamente fatores como umidade, temperatura e trocas gasosas com o ambiente. Essas variáveis são determinantes para a manutenção da qualidade do produto e para o desenvolvimento de insetos-praga durante o período de armazenamento (Zorzenon et al., 2021; FAO, 2018).

Embalagens herméticas, como recipientes plásticos ou sistemas vedados, limitam a troca de oxigênio e dióxido de carbono, criando condições desfavoráveis à respiração e ao desenvolvimento de insetos. Esse tipo de armazenamento tem se mostrado eficiente na redução da infestação, além de contribuir para a preservação da qualidade dos grãos, especialmente em condições tropicais (Fao, 2018; Zorzenon et al., 2021).

Por outro lado, embalagens permeáveis, como sacarias convencionais, permitem maior interação com o ambiente externo, favorecendo a absorção de umidade e a troca gasosa. Essas condições podem acelerar a deterioração dos grãos e favorecer o desenvolvimento de pragas, principalmente quando associadas a temperaturas elevadas (Puzzi, 1977; Guedes et al., 2017). Além disso, a escolha da embalagem pode influenciar a eficácia de tratamentos alternativos, como o uso de extratos vegetais. Ambientes com menor troca gasosa tendem a reter compostos voláteis, potencializando o efeito inseticida desses produtos, especialmente aqueles com ação fumigante (Fazolin et al., 2010).

Dessa forma, o tipo de embalagem deve ser considerado como um fator estratégico no manejo de pragas em armazenamento, sendo sua escolha fundamental para a eficiência das técnicas de controle e para a manutenção da qualidade do produto armazenado

Qualidade fisiológica e germinação de sementes

A qualidade fisiológica das sementes está diretamente relacionada à sua capacidade de germinação e ao vigor, sendo fatores essenciais para o estabelecimento inicial das culturas e o desempenho produtivo. Esses atributos são influenciados por condições de armazenamento, manejo e pela incidência de agentes bióticos, como insetos-praga (Carvalho et al., 2017; Brasil, 2009).

A germinação é o principal indicador da viabilidade das sementes, enquanto o vigor reflete a capacidade de emergência e desenvolvimento em condições adversas. Durante o armazenamento, fatores como umidade, temperatura e infestação por insetos podem acelerar o processo de deterioração, reduzindo a qualidade fisiológica ao longo do tempo (Carvalho et al., 2017; Guedes et al., 2017).

A infestação por insetos, como *Sitophilus zeamais*, pode causar danos diretos ao embrião e às reservas nutritivas, comprometendo a germinação e o desenvolvimento das

plântulas. Além disso, a atividade dos insetos favorece a entrada de patógenos e a deterioração do material armazenado (Oliveira; Cruz, 1986).

Por outro lado, o uso de extratos vegetais tem sido investigado como alternativa de controle com menor risco de fitotoxicidade. Estudos indicam que, quando utilizados em concentrações adequadas, esses compostos podem controlar pragas sem comprometer a germinação das sementes, mantendo elevados índices de viabilidade após o armazenamento (Almeida et al., 2012; Silva et al., 2012).

Esse aspecto é particularmente relevante, uma vez que um dos principais desafios na utilização de produtos de origem vegetal no tratamento de sementes está relacionado ao potencial impacto sobre a qualidade fisiológica. Assim, a avaliação conjunta da eficiência inseticida e da germinação torna-se essencial para validar o uso desses compostos em sistemas de armazenamento.

Viabilidade econômica e sustentável de extratos vegetais

Do ponto de vista ambiental, o uso de extratos vegetais, como os obtidos de hortelã (*Mentha spicata*) e lavanda (*Lavandula angustifolia*), apresenta vantagens significativas em relação aos inseticidas sintéticos. Esses compostos são, em geral, biodegradáveis, apresentam baixa persistência no ambiente e menor toxicidade para organismos não alvo, reduzindo o risco de contaminação de solo, água e alimentos (Ayilara et al., 2023; Regnault-Roger et al., 2012). Além disso, o uso de bioinseticidas está associado a menores riscos ocupacionais, contribuindo para a segurança dos trabalhadores rurais e para a redução da exposição a substâncias potencialmente tóxicas (Mkindi et al., 2021).

Nesse contexto, a utilização de extratos vegetais contribui para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, estando alinhada com os princípios da agricultura de base ecológica e com a crescente demanda por sistemas produtivos com menor impacto ambiental. A substituição parcial ou total de inseticidas sintéticos por compostos naturais tem sido apontada como estratégia importante para a conservação da biodiversidade e para a produção de alimentos mais seguros (Ayilara et al., 2023).

Do ponto de vista econômico, a viabilidade dos bioinseticidas deve ser analisada considerando não apenas os custos diretos de produção, mas também os benefícios indiretos associados ao seu uso. Embora a produção de extratos vegetais possa apresentar custos iniciais superiores aos inseticidas sintéticos, especialmente quando baseada na aquisição de matéria-prima comercial, a possibilidade de cultivo das plantas e produção local dos extratos pode reduzir significativamente esses custos (Mkindi et al., 2021).

A utilização de plantas disponíveis na propriedade ou na região pode tornar os bioinseticidas mais acessíveis, principalmente para pequenos produtores e sistemas de agricultura familiar. Essa estratégia aumenta a autonomia produtiva e reduz a dependência de insumos externos, contribuindo para a sustentabilidade econômica dos sistemas agrícolas (Mkindi et al., 2021).

Além disso, a crescente valorização de produtos livres de resíduos químicos no mercado pode representar uma oportunidade econômica. Produtos armazenados ou tratados com bioinseticidas podem apresentar maior valor agregado, especialmente em nichos de mercado voltados para produção orgânica ou sustentável, o que pode compensar os custos adicionais de produção (Ayilara et al., 2023; Morzelle et al., 2017).

Dessa forma, a viabilidade do uso de extratos vegetais deve ser analisada de forma integrada, considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais. Embora ainda existam limitações relacionadas ao custo e à padronização dos extratos, esses compostos representam uma alternativa promissora, especialmente em sistemas produtivos que priorizam sustentabilidade, segurança alimentar e redução do uso de insumos químicos.

3.3 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório Multifuncional do Instituto Federal Goiano – Campus Hidrolândia, GO (16°57'43" S; 49°13'44" W; 814 m de altitude), no período de junho a setembro de 2025, sob condições ambientais monitoradas, com temperatura média $27 \pm 3^\circ\text{C}$ e UR de 65% a 75%.

Foram utilizadas sementes de milho (*Zea mays* L.) da cultivar AGR_Vereda, provenientes da empresa Agropianta Sementes Ltda., localizada no município de Hidrolândia GO, referentes à safra de 2025. As sementes foram obtidas após os processos de pré-limpeza e classificação em mesa de gravidade na unidade de beneficiamento da empresa, garantindo uniformidade e ausência de impurezas. Após a coleta, realizada em 15 de junho de 2025, as sementes foram acondicionadas em sacos de papel multifoliado e garrafa pet transparente de 500 ml e transportadas ao Laboratório de Sementes do IF Goiano – Campus Hidrolândia. Antes da instalação do experimento foi realizado o expurgo preventivo das sementes com fosfina (Phostek®), contendo 0,6 g de fosfina por comprimido, em ambiente hermeticamente fechado por 48 horas, com o objetivo de eliminar possíveis infestações de insetos.

Após esse período, as sementes foram aeradas à temperatura ambiente por 24 horas para dissipação do gás. Os insetos utilizados no experimento foram adultos de *Sitophilus zeamais*, obtidos a partir de colônias oriundas de infestações naturais em grãos de sorgo armazenados. Foram selecionados indivíduos com tamanho Entre 2,5 mm e 4,5 mm e idade semelhantes 20 a 30 dias pos emergencia, para padronização das avaliações

experimentais.

Preparo dos extratos vegetais

A obtenção dos extratos vegetais foi realizada a partir de folhas e flores de hortelã (*Mentha spicata*) e lavanda (*Lavandula angustifolia*) coletadas no mês de junho de 2025, período correspondente à estação seca na região Centro-Oeste do Brasil, sendo a hortelã obtida em fase vegetativa e a lavanda em fase floral. O material vegetal de hortelã foi adquirido em feiras livres do município de Aparecida de Goiânia – GO, enquanto o material de lavanda foi obtido no Viveiro e Floricultura Rosa dos Ventos, localizado no mesmo município.

Inicialmente, o material vegetal foi lavado em água corrente com detergente neutro, seguido de desinfecção em solução de hipoclorito de sódio a 1% por 10 minutos. Em seguida, foi enxaguado em água corrente e submetido à secagem à sombra por 24 horas. Posteriormente, o material foi transferido para estufa de circulação forçada de ar a 35 °C por 24 horas, visando à redução da umidade. Após a secagem, o material foi triturado em moinho para obtenção de partículas homogêneas.

Para a obtenção do extrato bruto, o material vegetal seco foi submetido à maceração em água destilada por 24 horas, na proporção de 100 g de matéria seca para 1000 mL de água destilada.

A partir do extrato bruto, foram preparadas três concentrações: 40, 70 e 100 g L⁻¹. Para isso, foram utilizadas 40 g, 70 g e 100 g de matéria vegetal seca, adicionadas a 1000 mL de água destilada, obtendo-se extratos aquosos homogêneos. Após o preparo, os extratos foram filtrados em gaze e armazenados 24 horas, sob refrigeração (± 8 °C) até o momento da aplicação.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi conduzido em esquema fatorial $2 \times 3 \times 2$, sendo dois extratos vegetais (hortelã e lavanda), três concentrações (40, 70 e 100 g L⁻¹) e dois tipos de embalagem (garrafa PET e papel kraft), com cinco repetições por tratamento. Adicionalmente, foi incluído um tratamento testemunha (controle), sem aplicação de extratos vegetais, avaliado nos dois tipos de embalagem (PET e papel kraft), também com cinco repetições.

A testemunha foi utilizada com o objetivo de verificar a ocorrência de mortalidade natural dos insetos e validar as condições experimentais, não sendo incluída na análise fatorial. Para cada unidade experimental, composta por 250 sementes, foram aplicados 15 mL do extrato vegetal na respectiva concentração, por meio de pulverização uniforme sobre a massa de sementes. Após a aplicação, as sementes foram homogeneizadas manualmente para garantir a distribuição do extrato, dispostas sobre papel absorvente na bancada do laboratório e mantidas em repouso por aproximadamente 30 minutos, para secagem

superficial. Posteriormente, foram acondicionadas nos respectivos recipientes, nos quais foram introduzidos 15 adultos de *Sitophilus zeamais* por unidade experimental, previamente selecionados quanto ao tamanho e à idade, a fim de garantir a padronização. No total, foram utilizados aproximadamente 1.200 insetos ao longo do experimento.

A aplicação dos tratamentos ocorreu no dia 02 de julho. As sementes foram dispostas sobre duas folhas de papel Germitest previamente umedecidas com água destilada, utilizando-se volume equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Posteriormente, os papéis foram organizados na forma de rolos e acondicionados em germinador tipo B.O.D., mantido à temperatura constante de 25 °C. As avaliações foram realizadas aos quatro e sete dias após a instalação do teste, sendo considerada a porcentagem final de plântulas normais ao sétimo dia, conforme critérios estabelecidos pelas RAS (Brasil, 2009).

Avaliações

A mortalidade dos insetos foi avaliada aos 24, 48 e 72 horas após a aplicação dos tratamentos, por meio da contagem direta dos insetos mortos.

Como as avaliações foram realizadas sucessivamente sobre os mesmos indivíduos ao longo do tempo, os dados foram considerados dependentes. Dessa forma, para fins de análise estatística, foi utilizada a mortalidade acumulada final às 72 horas, representando a resposta biológica final dos tratamentos. Os dados obtidos aos 24 e 48 horas foram utilizados apenas para análise descritiva do comportamento temporal da mortalidade.

Adicionalmente, foi realizada análise de regressão para avaliar a relação entre a concentração dos extratos vegetais e a mortalidade de *Sitophilus zeamais*. Para essa análise, a concentração foi considerada como variável quantitativa contínua, sendo ajustado um modelo linear generalizado (GLM) com distribuição binomial e função de ligação logit, utilizando-se os dados de mortalidade acumulada às 72 horas.

A partir do modelo ajustado, foi estimado a concentração letal média (CL₅₀), definida como a concentração necessária para provocar 50% de mortalidade da população, obtida a partir da equação do modelo logit, considerando o ponto em que a probabilidade de mortalidade é igual a 0,5.

As análises foram realizadas utilizando-se o ambiente estatístico R, considerando nível de significância de 5%.

Análise estatística

Os dados de mortalidade foram obtidos por meio da contagem do número de insetos mortos em relação ao total por unidade experimental, sendo posteriormente convertidos em porcentagem de mortalidade para fins descritivos.

Para análise estatística, foi utilizada a mortalidade acumulada às 72 horas, analisada por modelos lineares generalizados (GLM), assumindo distribuição binomial e função de ligação logit. Não foi necessária a correção da mortalidade dos tratamentos pela fórmula de Abbott (1925), uma vez que não foi observada mortalidade na testemunha ao longo do período experimental.

Foram considerados no modelo os fatores extrato vegetal, concentração, tipo de embalagem e suas interações. A significância dos efeitos foi avaliada por análise de deviance (teste do qui-quadrado), e as médias foram comparadas por contrastes de médias estimadas (emmeans) a 5% de probabilidade.

Os dados de germinação foram analisados por GLM com distribuição binomial, considerando o número de sementes germinadas e não germinadas. A significância dos fatores foi avaliada por análise de deviance, e as médias estimadas comparadas a 5%.

3.4 Resultados e Discussão

A análise de deviance evidenciou efeito significativo da concentração dos extratos vegetais sobre a mortalidade dos insetos ($p < 0,0001$), enquanto os fatores extrato vegetal ($p = 0,204$) e tipo de embalagem ($p = 1,000$) não apresentaram efeito significativo, assim como as interações entre os fatores ($p > 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de deviance para mortalidade acumulada de *Sitophilus zeamais* aos 72 horas, em função dos fatores extrato vegetal, concentração e tipo de embalagem.

Fator	GL	p-valor
Extrato	1	0,204
Concentração	2	<0,0001
Recipiente	1	1,000
Extrato × Concentração	2	0,360
Extrato × Recipiente	1	0,820
Concentração × Recipiente	2	0,381
Extrato × Concentração × Recipiente	2	0,446

Nota: GL = graus de liberdade. Análise realizada por modelo linear generalizado (GLM), com distribuição binomial e função de ligação logit. Valores em negrito indicam efeito significativo a 5% de probabilidade.

Esses resultados evidenciam que a eficiência inseticida foi determinada predominantemente pela concentração dos extratos, independentemente da espécie vegetal ou do tipo de embalagem. Esse padrão é característico de compostos botânicos, cuja atividade está diretamente relacionada à dose aplicada (Isman, 2006; Regnault-Roger et al., 2012).

A ausência de mortalidade na testemunha ao longo do período experimental confirma que os efeitos observados são decorrentes exclusivamente da ação dos extratos vegetais, garantindo a confiabilidade dos bioensaios (Tabela 2). A ausência de mortalidade na

testemunha ao longo do período experimental confirma que os efeitos observados são decorrentes exclusivamente da ação dos extratos vegetais, garantindo a confiabilidade dos bioensaios (Tabela 2).

Tabela 2. Mortalidade (%) de *Sitophilus zeamais* na testemunha (sem aplicação de extratos vegetais), em diferentes tempos e tipos de embalagem.

Embalagem	24h (%)	48 h (%)	72h (%)
PET (hermética)	0	0	0
Papel kraft (permeável)	0	0	0

Nota: Valores correspondem à mortalidade observada, com sobrevivência de 100% dos insetos em todos os tempos avaliados. Dados apresentados de forma descritiva, sem análise estatística.

A comparação de médias declarou que as concentrações de 70 e 100 g L⁻¹, promoveram maiores níveis de mortalidade, sem diferença entre si, mas superiores à concentração de 40 g L⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Mortalidade (%) de *Sitophilus zeamais* aos 72 horas em função do extrato vegetal e da concentração.

Tratamento	Mortalidade (%)	Letras
Hortelã 70	59,33	A
Hortelã 100	56,67	A
Lavanda 100	54,67	A
Lavanda 70	50,67	A
Hortelã 40	14,67	B
Lavanda 40	8,67	B

Nota: Valores correspondem às médias de mortalidade (%). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de comparações múltiplas (p 0,05)

Esse comportamento evidencia uma resposta biológica dependente da concentração, com incremento da mortalidade até um nível de estabilização. A tendência observada é reforçada pela Figura 1.

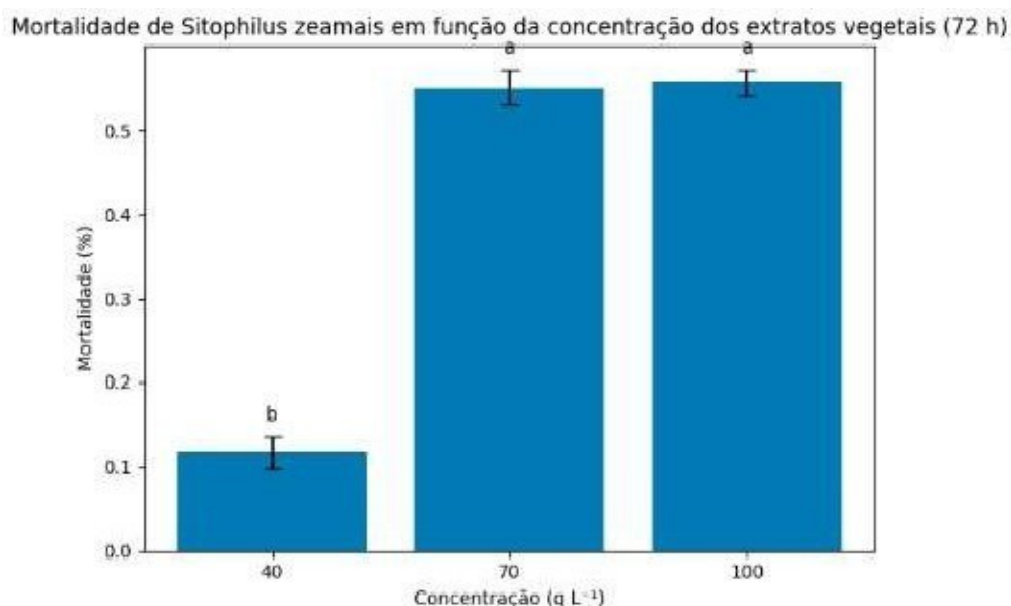


Figura 1. Mortalidade (%) de *Sitophilus zeamais* em função da concentração dos extratos vegetais, aos 72 horas. Barras representam média $\pm$ erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelos testes de comparações múltiplas ($p \leq 0,05$).

O aumento da mortalidade com a elevação da concentração reflete maior disponibilidade de compostos bioativos, especialmente monoterpenos com ação neurotóxica sobre os insetos. Esse padrão é amplamente reportado na literatura. Achimón et al. (2022), em meta-análise com 56 estudos, demonstraram elevada eficiência de óleos essenciais no controle de *Sitophilus zeamais*, com resposta fortemente dependente da dose. De forma complementar, Patiño-Bayona et al. (2021) observaram que pequenas variações na concentração de monoterpenos podem resultar em aumentos expressivos na mortalidade.

Embora esses estudos utilizem principalmente óleos essenciais, que apresentam maior concentração de compostos voláteis, os resultados obtidos neste trabalho com extratos aquosos seguem o mesmo padrão geral, ainda que com menor intensidade, devido à menor extração de compostos lipofílicos (Isman, 2020).

Entretanto, a mortalidade observada não pode ser atribuída exclusivamente à ação dos compostos voláteis, uma vez que outros mecanismos podem atuar simultaneamente. Além da atividade neurotóxica dos metabólitos secundários, a ação por contato direto dos compostos presentes nos extratos pode exercer efeitos físicos sobre os insetos, incluindo alterações na permeabilidade da cutícula, interferência nas trocas gasosas e redução da mobilidade, potencializando a atividade inseticida (Regnault-Roger et al., 2012; Isman, 2020). Dessa forma, a mortalidade provavelmente resulta da interação entre mecanismos químicos e físicos associados aos compostos bioativos presentes nos extratos, e não apenas da ação dos compostos voláteis.

A relação entre concentração e mortalidade foi confirmada pela análise de regressão

logística, evidenciando aumento da probabilidade de mortalidade com o incremento da dose (Figura 2).

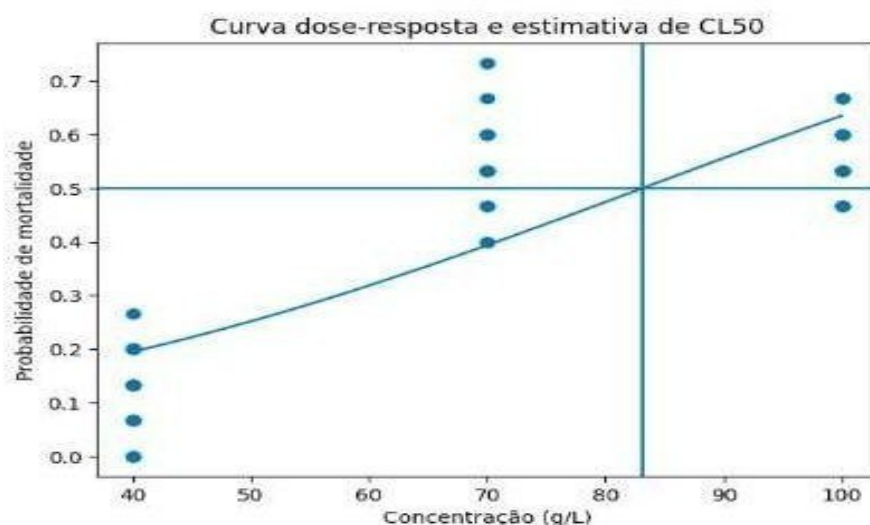


Figura 2. Curva dose-resposta da mortalidade de *Sitophilus zeamais* em função da concentração dos extratos vegetais, às 72 horas.

Pontos representam os valores observados, e a linha representa o ajuste do modelo linear generalizado (GLM) com distribuição binomial e função de ligação logit. A linha horizontal indica 50% de mortalidade, e a linha vertical representa a concentração letal média (CL50 em 83,16 g L⁻¹). A partir do modelo, foi estimada a comparação letal média (CL50) em 83,16 g L⁻¹, indicando eficiência moderada dos extratos. Esse valor é coerente com estudos que utilizam extratos aquosos, os quais geralmente apresentam menor toxicidade em comparação a óleos essenciais ou extratos hidroalcoólicos (Regnault-Roger et al., 2012; Isman, 2020).

Resultados semelhantes foram observados por Yohannes et al. (2014), que relataram baixa eficiência de extratos aquosos de *Mentha* no controle de *S. zeamais*, em contraste com elevada toxicidade quando a planta foi utilizada na forma de pó vegetal. Esses resultados reforçam que o método de extração influencia diretamente a disponibilidade de composto ativos.

Apesar da eficiência dos extratos aquosos podem apresentar efeitos adicionais importantes. Cortese et al. (2022) demonstraram que esses extratos podem reduzir a emergência de insetos e apresentar efeito repelente, contribuindo para o controle populacional ao longo do tempo.

Nesse contexto, os resultados obtidos indicam que, mesmo com mortalidade intermediária, os extratos avaliados apresentam potencial funcional no manejo da praga. A mortalidade aumentou progressivamente ao longo do tempo de exposição, evidenciando efeito cumulativo dos extratos (Figura 3).

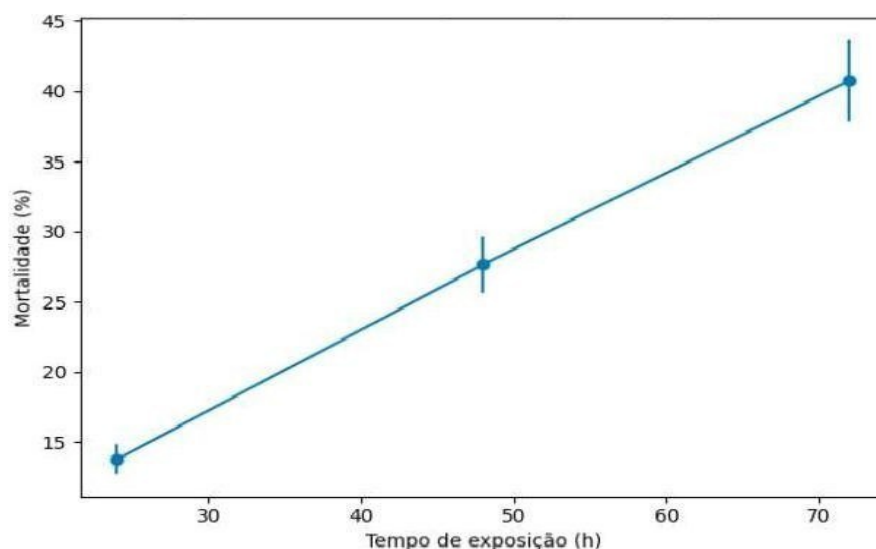


Figura 3. Mortalidade (%) de *Sitophilus zeamais* ao longo do tempo de exposição aos extratos vegetais. Os pontos representam a média e as barras verticais representam o erro padrão da média.

Esse comportamento é típico de bioinseticidas botânicos, que apresentam ação gradual sobre os insetos (Isman, 2020). Wanna et al. (2025) observaram padrão semelhante ao avaliar óleos essenciais sobre *S. zeamais*, reforçando o efeito do tempo de exposição na eficácia dos compostos vegetais.

Apesar das diferenças químicas entre *M. spicata* e *L. angustifolia*, não foram observadas diferenças significativas entre os extratos. Esse resultado sugere que, na forma aquosa, ambos apresentaram disponibilidade semelhante de compostos bioativos. Esse padrão pode estar relacionado à menor eficiência do solvente aquoso na extração de compostos voláteis, o que tende a uniformizar a resposta entre espécies vegetais. Ainda assim, compostos botânicos podem atuar por múltiplas vias, incluindo toxicidade, repelência e interferência comportamental (Muñoz-Acevedo et al., 2024; Nascimento et al., 2023).

Além disso, deve-se considerar que a eficiência inseticida de extratos vegetais pode ser influenciada por fatores relacionados ao método de extração, à concentração aplicada e à natureza química dos compostos presentes na planta utilizada. No caso dos extratos aquosos, a capacidade de extração de compostos menos polares é reduzida quando comparada aos óleos essenciais ou extratos obtidos com solventes orgânicos, o que pode limitar a disponibilidade de determinados metabólitos com elevada atividade inseticida (Isman, 2020). Apesar dessa limitação, diversos estudos demonstram que extratos aquosos ainda podem apresentar atividade biológica significativa devido à presença de compostos hidrossolúveis capazes de interferir em processos fisiológicos e comportamentais dos insetos (Pavela, 2016).

Outro aspecto relevante refere-se ao potencial efeito antialimentar promovido pelos compostos bioativos presentes nos extratos vegetais. Além de causar mortalidade direta, algumas substâncias podem reduzir a ingestão alimentar, alterar o metabolismo e

comprometer o desenvolvimento dos insetos, levando à redução gradual da sobrevivência ao longo do período de exposição (Regnault-Roger et al., 2012). Esse efeito pode ser particularmente importante em insetos-praga de produtos armazenados, como *Sitophilus zeamais*, uma vez que a redução da atividade alimentar diminui os danos ocasionados aos grãos e pode contribuir para a preservação da qualidade do material armazenado.

Adicionalmente, a maior resposta observada nas concentrações mais elevadas sugere uma relação positiva entre dose e efeito biológico, indicando que o aumento da disponibilidade de metabólitos ativos amplia a interação desses compostos com sítios-alvo nos insetos. Esse comportamento é frequentemente relatado em estudos com produtos botânicos, nos quais maiores concentrações promovem maior intensidade dos efeitos tóxicos, repelentes e antialimentares (Achimón et al., 2022). Dessa forma, os resultados obtidos reforçam o potencial uso de extratos vegetais como alternativa no manejo integrado de pragas em produtos armazenados, especialmente devido à sua menor persistência ambiental e menor risco de contaminação quando comparados a inseticidas sintéticos convencionais (Isman, 2020).

No que se refere à germinação, não foram observados efeitos significativos dos fatores avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de deviance para germinação de sementes de milho em função dos extratos vegetais, concentrações e tipos de embalagem.

Fonte de variação	GL	Deviance	χ^2	p-valor
Extrato	1	0,000	0,00	1,000
Concentração	2	2,134	2,13	0,344
Embalagem	1	0,000	0,00	1,000
Extrato × Concentração	2	0,000	0,00	1,000
Extrato × Embalagem	1	0,000	0,00	1,000
Concentração × Embalagem	2	0,000	0,00	1,000
Extrato × Concentração × Embalagem	2	0,000	0,00	1,000
Resíduo	44	14,210	—	—

GL = graus de liberdade; χ^2 = estatística da análise de deviance.

Análise realizada por modelo linear generalizado (GLM), com distribuição binomial e função de ligação logit.

Os percentuais de germinação permaneceram elevados em todos os tratamentos (Tabela 5). Esse resultado indica ausência de fitotoxicidade e elevada seletividade dos extratos vegetais, aspecto essencial para sua aplicação em sementes. Estudos indicam que extratos aquosos apresentam menor risco de danos fisiológicos em comparação a óleos essenciais mais concentrados (Isman, 2006; Regnault-Roger et al., 2012), corroborando os resultados obtidos

De forma geral, os extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* apresentaram atividade inseticida dependente da concentração e do tempo de exposição, com eficiência moderada. Apesar de inferiores aos óleos essenciais, esses extratos apresentam potencial de uso no manejo sustentável de *S. zeamais*, especialmente quando considerados efeitos cumulativos e subletais que contribuem para a redução da população ao longo do tempo.

3.5 Conclusão

A atividade inseticida dos extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* sobre *Sitophilus zeamais* foi determinada principalmente pela concentração e pelo tempo de exposição, caracterizando uma resposta biológica dose-dependente. As concentrações de 70 e 100 g L⁻¹ apresentaram maior eficiência, com níveis semelhantes de mortalidade, indicando um possível limiar de saturação do efeito inseticida nas condições avaliadas.

A estimativa da CL₅₀ (83,16 g L⁻¹) evidencia que os extratos apresentam eficácia que os extratos apresentam eficiência moderada, característica compatível com extratos aquosos, os quais possuem menor concentração de compostos bioativos em comparação a óleos essenciais. Ainda assim, o aumento progressivo da mortalidade ao longo do tempo demonstra efeito cumulativo, sugerindo que a ação desses extratos não se restringe à toxicidade imediata, podendo contribuir para a redução populacional ao longo do período de armazenamento.

A ausência de efeito do tipo de extrato e da embalagem indica que, nas condições experimentais, a disponibilidade dos compostos bioativos foi semelhante entre os tratamentos e que o ambiente de armazenamento não interferiu significativamente na ação inseticida. Esses resultados sugerem que a eficiência dos extratos aquosos está mais associada à concentração aplicada do que a fatores físicos do sistema de armazenamento.

Do ponto de vista fisiológico, a manutenção de elevados índices de germinação em todos os tratamentos demonstra ausência de fitotoxicidade, indicando seletividade dos extratos e segurança para uso em sementes.

De forma geral, os resultados indicam que os extratos aquosos avaliados apresentam potencial como alternativa no manejo de *S. zeamais*, especialmente em sistemas que priorizam o uso de insumos de menor impacto ambiental. No entanto, sua eficiência moderada sugere que sua utilização é mais adequada como estratégia complementar dentro do manejo integrado de pragas, podendo ser associada a outras práticas de controle para maior eficácia.

De forma geral, os extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* apresentaram atividade inseticida dependente da concentração e do tempo de exposição, com eficiência moderada. Apesar de inferiores aos óleos essenciais, esses extratos apresentam potencial de uso no manejo sustentável de *S. zeamais*, especialmente quando considerados efeitos cumulativos e subletais que contribuem para a redução da população ao longo do tempo.

3.6 Referências

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, v. 18, p. 265_267, 1925.
- ACHIMÓN, F. et al. Essential oils as eco-friendly biopesticides against *Sitophilus zeamais*: a meta-analysis. *Plants*, v. 11, 2022.
- ALMEIDA, F. A. C. et al. Controle de pragas em sementes armazenadas com extratos vegetais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, 2012.
- BENELLI, G. et al. Insecticidal activity of essential oils. *Industrial Crops and Products*, v. 124, 2018.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP, 2017.
- COITINHO, R. L. B. C. et al. Toxicity of plant extracts to *Sitophilus zeamais*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, 2011.
- CORTESE, F. et al. Repellency and reduction of offspring emergence. *Insects*, v. 13, 2022.
- FAZOLIN, M. et al. Potencial inseticida de extratos vegetais. *Acta Amazonica*, v. 40, 2010.
- GUEDES, R. N. C. et al. Insetos-praga de grãos armazenados. Viçosa: UFV, 2017.
- ISMAN, M. B. Botanical insecticides. *Annual Review of Entomology*, v. 65, 2020. ISMAN, M. B. Botanical insecticides. *Pest Management Science*, v. 62, 2006.
- KIFLE, A. et al. Plant extracts against *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, 2024.
- KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Extratos vegetais no controle de insetos. *Neotropical Entomology*, 2010.
- LOPES, D. A. et al. Sublethal effects on *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, 2024.
- LOPES, D. A. et al. Population dynamics. *Crop Protection*, 2025.
- MORAIS, L. A. S. Óleos essenciais no controle de pragas. *Química Nova*, 2009.
- MUÑOZ-ACEVEDO, A. et al. Acetylcholinesterase inhibition. *Journal of Stored Products Research*, 2024.
- NASCIMENTO, M. S. et al. Bioactivity of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 2023.

- PATÍÑO-BAYONA, W. R. et al. Essential oils insecticidal activity. *Molecules*, 2021.
- PAVELA, R. Essential oils for pest control. *Industrial Crops and Products*, 2015.
- REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. Essential oils in insect control. *Annual Review of Entomology*, 2012.
- SILVA, G. N. et al. Controle de *Sitophilus zeamais*. *Revista Caatinga*, 2018.
- TUREK, C.; STINTZING, F. Stability of essential oils. *Comprehensive Reviews*, 2013.
- WANNA, R. et al. Essential oil activity. *Journal of Stored Products Research*, 2025.
- YOHANNES, T. et al. Evaluation of plant extracts. *International Journal*, 2014.
- ZORZENON, F. J. et al. Armazenamento hermético. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, 2021.

CAPÍTULO II - ANÁLISE DE CUSTO DOS TRATAMENTOS

Resumo

A viabilidade econômica de tecnologias alternativas no manejo de pragas de armazenamento depende da relação entre custo e eficiência dos tratamentos. Este estudo teve como objetivo comparar os custos diretos do uso de extratos vegetais e do controle químico com fosfina no manejo de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho armazenadas. A análise foi baseada nos custos diretos da matéria-prima utilizada nos tratamentos, considerando a necessidade de aproximadamente 180 kg de material vegetal por tonelada de sementes tratadas. Os custos estimados foram de R\$ 4.320,00 t⁻¹ para o extrato de hortelã, R\$ 27.000,00 t⁻¹ para o extrato de lavanda e R\$ 20,00 t⁻¹ para o tratamento com fosfina, evidenciando maior custo dos extratos vegetais em relação ao controle químico convencional. Entre os bioinseticidas avaliados, o extrato de hortelã apresentou maior viabilidade relativa devido ao menor custo da matéria-prima. Embora os extratos vegetais apresentem menor competitividade econômica sob a perspectiva dos custos diretos, seu uso pode ser promissor em sistemas de produção sustentáveis, especialmente em contextos de produção própria da matéria-prima ou em sistemas agroecológicos.

Palavras-chave: Bioinseticidas. Análise econômica. Armazenamento de sementes. Sustentabilidade.

Abstract

The economic viability of alternative technologies for the management of storage pests depends on the relationship between treatment cost and efficiency. This study aimed to compare the direct costs of using plant extracts and chemical control with phosphine for the management of *Sitophilus zeamais* in stored maize seeds. The analysis was based on the direct costs of the raw materials used in the treatments, considering the requirement of approximately 180 kg of plant material per ton of treated seeds. The estimated costs were R\$ 4,320.00 t⁻¹ for spearmint extract, R\$ 27,000.00 t⁻¹ for lavender extract, and R\$ 20.00 t⁻¹ for phosphine treatment, demonstrating the higher cost of plant extracts compared with conventional chemical control. Among the evaluated bioinsecticides, spearmint extract showed greater relative viability due to its lower raw material cost. Although plant extracts showed lower economic competitiveness from the perspective of direct costs, their use may be promising in sustainable production systems, especially where raw materials are produced on-farm or in agroecological systems.

Keywords: Bioinsecticides; Economic analysis; Seed storage; Sustainability.

4. Introdução

A viabilidade econômica constitui um fator determinante para a adoção de novas tecnologias no setor agrícola, especialmente em sistemas de produção que demandam soluções eficientes e sustentáveis para o manejo de pragas em grãos armazenados. Nesse contexto, a avaliação de custos torna-se uma ferramenta essencial para subsidiar decisões técnicas e econômicas relacionadas à adoção de práticas de manejo (Noronha, 1987; Martin et al., 1998).

Entre as principais pragas associadas ao armazenamento de cereais destaca-se o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*), responsável por perdas significativas durante a estocagem, afetando tanto a quantidade quanto a qualidade dos grãos e sementes (Guedes et al., 2017; Silva et al., 2020). Tradicionalmente, o controle dessa praga baseia-se no uso de fumigantes sintéticos, sendo a fosfina PH_3 amplamente utilizada devido à sua elevada eficiência e capacidade de penetração na massa de grãos (FAO, 2018; Lorini; Miike; Scussel, 2015).

Entretanto, o uso contínuo desse composto tem gerado preocupações relacionadas ao desenvolvimento de resistência, aos riscos toxicológicos e aos impactos ambientais. Nesse cenário, os extratos vegetais surgem como alternativas promissoras, especialmente espécies da família Lamiaceae, como hortelã (*Mentha* sp.) e lavanda (*Lavandula* sp.), que apresentam compostos bioativos com ação inseticida (Coitinho et al., 2011; Morzelle et al., 2017).

Apesar da eficácia biológica desses compostos, sua adoção depende não apenas do desempenho agrônomo, mas também de sua competitividade econômica. Dessa forma, torna-se necessário avaliar os custos associados à utilização desses bioinseticidas em comparação ao método convencional.

Neste contexto, este capítulo tem como objetivo realizar uma análise comparativa de custos diretos entre os tratamentos com extratos vegetais e o controle químico com fosfina, expressos em reais por tonelada de sementes tratadas. Ressalta-se que a abordagem adotada corresponde a uma análise parcial de custos, não contemplando indicadores econômicos completos de viabilidade.

4.1 Material e Método

O presente estudo consistiu em uma análise comparativa de custos diretos de diferentes estratégias de controle de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho armazenadas. Foram avaliadas três alternativas de manejo: (i) controle químico com fosfina (PH_3); (ii) tratamento

com extrato de hortelã *Mentha.*); e (iii) tratamento com extrato de lavanda (*Lavandula.*).

A análise foi conduzida com base no método de estimativa de custos diretos de insumos, amplamente utilizado em estudos econômicos agrícolas para comparações preliminares entre tecnologias (Noronha, 1987; Martin et al., 1998). Para os tratamentos com extratos vegetais, considerou-se a aplicação de 36 litros de extrato por tonelada de sementes.

A estimativa da quantidade de matéria-prima vegetal necessária foi baseada na relação entre a massa seca e o volume final do extrato obtido experimentalmente, totalizando a necessidade de 3,6 kg de massa seca vegetal (pó das folhas e flores secas) para a obtenção do volume estipulado por tonelada de grãos.

Os preços das matérias-primas foram estimados com base em valores médios de mercado no ano de 2025, considerando R\$ 24,00/kg para hortelã seca e R\$ 150,00/kg para lavanda seca.

O custo total (CT) dos tratamentos com extratos vegetais foi estimado considerando exclusivamente o custo direto da matéria-prima vegetal, conforme a equação:

$CT = Q \times P$ em que: CT=custo total (R\$/t);

Q = quantidade de matéria-prima vegetal (kg); P = preço da matéria-prima (R\$/kg).

Ressalta-se que foram considerados exclusivamente os custos diretos da matéria-prima vegetal. Custos operacionais, como mão de obra, preparo dos extratos, equipamentos, energia e logística, não foram incluídos. Assim, os valores obtidos representam uma estimativa simplificada do custo mínimo dos tratamentos.

Para o tratamento químico convencional, considerou-se o uso da fosfina (PH3) amplamente utilizado no controle de insetos em grãos armazenados. Foi adotado como referência um frasco comercial contendo 30 pastilhas de 3 g, totalizando 90 g de produto, com custo médio de R\$ 300,00. Considerando a recomendação técnica de aplicação de duas pastilhas por tonelada de grãos armazenados, conforme orientações técnicas para manejo de pragas em armazenagem de grãos (FAO, 2018; EMBRAPA, 2017), estimou-se um custo de R\$ 20,00 por tonelada de sementes tratadas.

A comparação entre os tratamentos foi expressa em reais por tonelada de sementes tratadas (R\$/t), permitindo avaliar a diferença de custo entre o método químico convencional e os tratamentos bioinseticidas. Além da análise quantitativa de custos, foi realizada uma avaliação qualitativa dos tratamentos, considerando aspectos indiretos associados ao seu uso, como impactos ambientais, segurança do trabalhador e potencial de agregação de valor ao produto final.

4.2 Resultados e Discussão

Os resultados evidenciam uma diferença expressiva entre os custos diretos dos tratamentos avaliados. O controle químico com fosfina apresentou custo estimado de R\$ 20,00 por tonelada de sementes tratadas, valor substancialmente inferior ao observado para os tratamentos com extratos vegetais.

Tabela 1. Estimativa comparativa de custos dos tratamentos utilizados no controle de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho armazenadas.

Tratamento	Quantidade utilizada (Insumo)	Custo unitário	Custo total (R\$/t)	Tipo de insumo	Quantidade de plantas (Matéria seca)	Volume necessário de calda/gás
Fosfina PH ₃	2 pastilhas (6 g)	R\$ 10,00/pastilha	20,00	Sintético	(<i>não se aplica</i>)	1,33 m ³ (gás)
Extrato de hortelã (100%)	180 kg	R\$ 24,00/kg	4.320,00	Natural	180 kg	1.800 L (água)
Extrato de lavanda (100%)	180 kg	R\$ 150,00/kg	27.000,00	Natural	180 kg	1.800 L (água)

Nota: Custos referem-se exclusivamente à matéria-prima vegetal, não incluindo custos operacionais.

Fonte: Autora (2025).

O tratamento com fosfina apresentou o menor custo, sendo aproximadamente 216 vezes inferior ao extrato de hortelã e mais de 1.300 vezes inferior ao extrato de lavanda. Esses resultados indicam que, sob a perspectiva de custos diretos, o controle químico apresenta maior competitividade econômica. Entre os bioinseticidas, o extrato de hortelã demonstrou maior viabilidade relativa, devido ao menor custo da matéria-prima e maior disponibilidade dessa espécie vegetal. Em contraste, o elevado custo da lavanda limita sua aplicação prática em sistemas produtivos convencionais.

Apesar disso, diversos autores destacam que a análise econômica de tecnologias agrícolas deve considerar não apenas custos diretos, mas também benefícios indiretos, como redução de impactos ambientais, segurança alimentar e ausência de resíduos químicos (Ayilara et al., 2023; Mkindi et al., 2021).

Além disso, a viabilidade econômica dos extratos vegetais está fortemente relacionada à possibilidade de produção própria da matéria-prima, o que pode reduzir significativamente os custos. Em sistemas agroecológicos e de agricultura familiar, essa estratégia pode tornar o uso desses bioinseticidas mais acessível.

Outro fator relevante é a crescente demanda por produtos livres de resíduos químicos, especialmente em mercados diferenciados, o que pode agregar valor ao produto final e compensar parcialmente os custos adicionais (Morzelle et al., 2017).

4.5 Conclusão

A análise econômica indicou que a produção dos extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* apresenta custos diretos superiores ao tratamento químico convencional, principalmente em função da maior demanda por matéria-prima.

Entre os bioinseticidas, o extrato de *Mentha spicata* apresentou menor custo em comparação ao de *Lavandula angustifolia*, indicando maior viabilidade relativa entre os extratos.

De modo geral, os resultados evidenciam que, nas condições analisadas, os extratos vegetais apresentam custo significativamente superior ao método químico quando considerada exclusivamente a matéria-prima. Assim, sua utilização mostra-se mais adequada em sistemas que não priorizam apenas o custo direto, como aqueles baseados em práticas sustentáveis ou com produção própria, nos quais os custos podem ser parcialmente compensados pelos benefícios associados à sustentabilidade e à redução do uso de inseticidas sintéticos.

Nesse cenário, o uso de extratos aquosos assume um papel estratégico no Manejo Integrado de Pragas (MIP) voltado para a agricultura familiar. A integração desses bioprodutos permite que o pequeno produtor quebre o ciclo de dependência exclusiva dos insumos químicos, reduzindo os riscos de resistência de *Sitophilus zeamais* e mitigando os impactos ecotoxicológicos no ambiente de armazenamento. Embora o custo de aquisição da matéria-prima no mercado seja elevado, a realidade da agricultura familiar viabiliza o método por meio do cultivo próprio dessas espécies botânicas em áreas marginais ou sistemas de policultivo. Essa autonomia na produção do insumo anula o custo direto de compra, transforma a mão de obra familiar em valor agregado e fornece uma ferramenta de controle biológico eficiente, segura e perfeitamente alinhada com os preceitos de sustentabilidade econômica e ecológica do ecossistema familiar.

4.6 Referências

- AYILARA, M. S. et al. Biopesticides as a sustainable alternative. *Journal of Environmental Management*, 2023.
- FAO. Manual on storage and control of grain pests. Rome, 2018. GUEDES, R. N. C. et al. Controle de pragas. Viçosa: EPAMIG, 2017. ISMAN, M. B. Botanical insecticides. *Annual Review of Entomology*, 2020.
- KIFLE, A. et al. Plant extracts against maize weevil. *Journal of Stored Products Research*, 2024.
- LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. Armazenagem de grãos. Campinas, 2015.
- MARTIN, N. B. et al. Sistema de custos agropecuários. *Informações Econômicas*, 1998.

- MKINDI, A. et al. Adoption of pesticidal plants. *Agricultural Systems*, 2021.
- MORZELLE, M. C. et al. Plantas inseticidas. *Revista Univ. Vale do Rio Verde*, 2017.
- NORONHA, J. F. Projetos agropecuários. São Paulo: Atlas, 1987.
- REGNAULT-ROGER, C. et al. Essential oils. *Annual Review of Entomology*, 2012.
- SILVA, J. P. G. F. et al. Controle de pragas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2020.

5. CONCLUSÃO GERAL

Os extratos aquosos de *Mentha spicata* e *Lavandula angustifolia* apresentaram atividade inseticida sobre *Sitophilus zeamais* dependente da concentração e do tempo de exposição, com maior eficiência nas concentrações de 70 e 100 g L⁻¹. A resposta dose-dependente e a estimativa da CL₅₀ indicam que esses extratos possuem efeito inseticida moderado nas condições avaliadas. Os tratamentos não influenciaram a germinação das sementes nem foram afetados pelo tipo de embalagem, evidenciando seletividade fisiológica e indicando que a ação inseticida está relacionada principalmente à concentração dos extratos.

Do ponto de vista econômico, o controle químico com fosfina apresentou maior viabilidade quando considerados apenas os custos diretos. No entanto, os extratos vegetais apresentam vantagens ambientais e toxicológicas, especialmente em sistemas que visam à redução do uso de inseticidas sintéticos.

Dessa forma, os extratos vegetais avaliados demonstram potencial de uso no manejo de *S. zeamais* em sementes armazenadas, especialmente em sistemas sustentáveis ou de produção própria de insumos. Entretanto, sua aplicação deve ser considerada como parte de estratégias integradas de manejo, em função de sua menor competitividade econômica e eficiência moderada quando utilizados isoladamente.

6. REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, v. 18, p. 265–267, 1925.
- ACHIMÓN, F. et al. Essential oils as eco-friendly biopesticides against *Sitophilus zeamais*: a meta-analysis. *Plants*, v. 11, n. 22, p. 3070, 2022.
- AGROPLANTA SEMENTES. Cultivar AGR – Vereda: manual técnico. Hidrolândia, [s.d.].
- ALMEIDA, F. A. C. et al. Controle de pragas em sementes armazenadas com extratos vegetais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 3, p. 321–327, 2012.
- AYILARA, M. S. et al. Biopesticides as a sustainable alternative for pest control: a review. *Journal of Environmental Management*, v. 329, 2023.
- BENELLI, G. et al. Insecticidal activity of essential oils against stored product insects.

- Industrial Crops and Products, v. 124, p. 284–292, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2017.
- COITINHO, R. L. B. C. et al. Toxicity of plant extracts to *Sitophilus zeamais*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 12, p. 1290–1295, 2011.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2023/2024. Brasília, 2024.
- CORTESE, F. et al. Repellency and reduction of offspring emergence of botanical extracts against *Sitophilus zeamais*. Insects, v. 13, n. 9, p. 842, 2022.
- EMBRAPA. Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, 2018. FAO. Manual on storage and control of grain pests. Rome, 2018.
- FAZOLIN, M. et al. Potencial inseticida de extratos vegetais no controle de pragas de armazenamento. Acta Amazonica, v. 40, n. 3, p. 563–568, 2010.
- GOTTARDI, R. Controle de pragas em grãos armazenados. Revista Agropecuária Técnica, v. 35, p. 45–56, 2014.
- GUEDES, R. N. C. et al. Insetos-praga de grãos armazenados. Viçosa: UFV, 2017.
- HANDA, S. S. et al. Extraction techniques for medicinal and aromatic plants. Trieste: ICS-UNIDO, 2008.
- ISMAN, M. B. Botanical insecticides: for richer, for poorer. Pest Management Science, v. 62, p. 2–10, 2006.
- ISMAN, M. B. Botanical insecticides. Annual Review of Entomology, v. 65, p. 233–249, 2020.
- KIFLE, A. et al. Efficacy of plant extracts against *Sitophilus zeamais*. Journal of Stored Products Research, v. 105, 2024.
- KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Potencial de extratos vegetais no controle de insetos. Neotropical Entomology, v. 39, n. 3, p. 339–346, 2010.
- KOUL, O.; WALIA, S.; DHALIWAL, G. Essential oils as green pesticides. Biopesticides International, v. 4, p. 63–74, 2008.
- LOPES, D. A. et al. Sublethal and behavioral effects of essential oils on *Sitophilus zeamais*. Journal of Stored Products Research, v. 102, 2024.
- LOPES, D. A. et al. Population dynamics of *Sitophilus zeamais* under botanical insecticides. Crop Protection, v. 172, 2025.
- LORENZETTI, E. R. et al. Essential oils and plant extracts in stored grain pest control. Research, Society and Development, v. 10, n. 4, 2021.
- LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. Armazenagem de grãos. Campinas: IBG, 2015.
- MARTIN, N. B. et al. Sistema de custos agropecuários. Informações Econômicas, v. 28, p. 7–28, 1998.

- MKINDI, A. et al. Adoption of pesticidal plants: challenges and opportunities. *Agricultural Systems*, v. 191, 2021.
- MORAIS, L. A. S. Óleos essenciais no controle de pragas. *Química Nova*, v. 32, p. 406_413, 2009.
- MORZELLE, M. C. et al. Uso de extratos vegetais no controle de insetos. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, v. 19, p. 567_574, 2017.
- MUÑOZ-ACEVEDO, A. et al. Acetylcholinesterase inhibition by essential oils in insects. *Journal of Stored Products Research*, v. 104, 2024.
- NASCIMENTO, M. S. et al. Bioactivity of essential oils against *Sitophilus zeamais*. *Industrial Crops and Products*, v. 190, 2023.
- NORONHA, J. F. Projetos agropecuários. São Paulo: Atlas, 1987.
- OLIVEIRA, J. A.; CRUZ, R. P. Efeito de insetos na qualidade de sementes. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 8, p. 45_52, 1986.
- PATIÑO-BAYONA, W. R. et al. Insecticidal activity of essential oils against *Sitophilus zeamais*. *Molecules*, v. 26, 2021.
- PAVELA, R. Essential oils for pest control. *Industrial Crops and Products*, v. 76, 174_187, 2015.
- PUZZI, D. Armazenamento de grãos. Campinas: ICEA, 1977.
- REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. Essential oils in insect control. *Annual Review of Entomology*, v. 57, p. 405_424, 2012.
- SILVA, G. N. et al. Controle de *Sitophilus zeamais* com extratos vegetais. *Revista Caatinga*, v. 31, p. 456_463, 2018.
- SILVA, J. P. G. F. et al. Controle de pragas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, 2020.
- SILVA, M. A. et al. Resistência à fosfina em insetos de armazenamento. *Journal of Stored Products Research*, v. 85, 2020.
- SILVA, R. F. et al. Germinação de sementes tratadas com extratos vegetais. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 34, p. 234_240, 2012.
- TOLEDO, F. F.; MARCOS FILHO, J. Manual de sementes. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977.
- TUREK, C.; STINTZING, F. Stability of essential oils. *Comprehensive Reviews in Food Science*, v. 12, p. 40_53, 2013.
- WANNA, R. et al. Essential oil activity against *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, v. 110, 2025.
- YOHANNES, T. et al. Evaluation of plant extracts against maize weevil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 4, n. 8, p. 1_5, 2014.
- ZORZENON, F. J. et al. Armazenamento hermético no controle de pragas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, p. 401_408, 2021.