

NÚBIA ELIZA DE AZEVEDO CARVALHO

**MORTALIDADE E COMPORTAMENTO DO GORGULHO-DO-MILHO EXPOSTO
A DIFERENTES PRODUTOS NATURAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Ézio Marques da Silva

Coorientadores: Daniela Santos Martins Silva
Flávio Lemes Fernandes
Willian Rodrigues Macedo

**RIO PARANAÍBA - MINAS GERAIS
2024**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba

T

C331m
2024

Carvalho, Nubia Eliza de Azevedo, 1997-
Mortalidade e comportamento do gorgulho-do-milho
exposto a diferentes produtos naturais / Nubia Eliza de Azevedo
Carvalho. – Rio Paranaíba, MG, 2024.
31 f.: il.

Orientador: Ézio Marques da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Instituto de Ciências Agrárias, 2024.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvcrp.2024.015>

1. Produtos naturais. 2. Gorgulho do milho.
3. Azadiractina. 4. Comportamento de inseto. 5. Toxicidade.
I. Silva, Ézio Marques da, 1975-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia
(Produção Vegetal). III. Título.

633.15

Bibliotecário(a) responsável: Ana Paula de Souza CRB-6/2922


NÚBIA ELIZA DE AZEVEDO CARVALHO

**MORTALIDADE E COMPORTAMENTO DO GORGULHO-DO-MILHO EXPOSTO
A DIFERENTES PRODUTOS NATURAIS**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **NUBIA ELIZA DE AZEVEDO CARVALHO**
Data: 02/08/2024 10:44:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Núbia Eliza de Azevedo Carvalho
Autora

Documento assinado digitalmente
 **EZIO MARQUES DA SILVA**
Data: 02/08/2024 10:34:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ézio Marques da Silva
Orientador

*A Deus que me deu forças para concluir
este projeto e aos meus pais, pilares da minha
formação como ser humano.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar em todos os momentos, por me mostrar o quanto eu sou forte e resiliente, e por me permiti viver essa oportunidade.

Ao meu pai, mesmo não compreendendo muito bem essa titulação, nunca deixou de me desejar coisas boas e me incentivar em fazer sempre o meu melhor.

A minha mãe, por me incentivar a realizar a prova e vibrar comigo pela aprovação. Por fazer o possível e o impossível para eu morar no Rio Paranaíba, por ser a minha torcedora número 1 e principalmente, por mostrar que independente de qualquer enfermidade e dificuldade, eu nunca devo desistir dos meus sonhos.

Ao Ézio, pela orientação, pelo ensinamento, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por me auxiliar nos momentos de dificuldade.

A Daniela, pelos conselhos, incentivos e dicas. Aos professores, Willian, Flávio e Fabrícia, pelos ensinamentos, experiências e conversa nos corredores.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), por ser responsável pela minha carreira acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos paraenses, Monique, Phelipe, Martinho, Ruth e Daniel por fazerem esses anos serem mais leves e por se tornarem família durante esse período.

Ao Marcus Vinícius, que sempre torcia por mim. Mesmo diante da dor da sua perda, ele mostrou que eu conseguia lidar com a saudade e permanecer com o foco no mestrado, em um dos momentos mais difíceis.

Ao professor Carlos, por desde a graduação me incentivar a fazer o mestrado. Por fim, porém não menos importante. Ao Vitor, meu namorado, aquele que chegou por último nessa caminhada, mas desde o início me incentivou a fazer meu melhor, mesmo diante de todas as dificuldades. Obrigada, por escutar meus desabafos, por mostrar o quanto eu devo confiar em mim e o quanto esse título irá me ajudar profissionalmente, mesmo quando eu achei que não iria conseguir.

A todos, muito obrigada.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

(Josué 1:9)

RESUMO

CARVALHO, Núbia Eliza de Azevedo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **Mortalidade e comportamento do gorgulho-do-milho exposto a diferentes produtos naturais**. Orientador: Ézio Marques da Silva. Coorientadores: Daniela Santos Martins Silva, Flávio Lemes Fernandes e Willian Rodrigues Macedo.

O gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) causa problemas fitossanitários no armazenamento de *commodities* agrícolas, o seu controle é realizado, com o uso de inseticidas sintéticos, no entanto, tem crescido a busca por produtos alternativos para o controle destas pragas, dentre as alternativas, destacam-se os compostos naturais derivados de plantas. O objetivo foi avaliar os efeitos dos produtos naturais no tratamento de grãos para o controle do gorgulho-do-milho, foi realizado 3 testes: toxicidade, comportamental e a chance de escolha. O teste de toxicidade avaliou diferentes concentrações do Original Nim®, estragão, Trans-anetol, Funcho-doce e Óleo de Cravo e o controle com acetona, a fim de obter a concentração letal de 50% e de 90%. No teste comportamental, utilizou as concentrações obtidas, e avaliou período de latência, frequência da caminhada, número de visitas e tempo de permanência, além da preferência dos insetos pelos grãos tratados. Os maiores valores de concentração letal foram do Original Nim® (2,28 $\mu\text{L. L}^{-1}$), e do Óleo de Cravo (2,28 $\mu\text{L. L}^{-1}$) e os menores foram do Trans-anetol (0,22 $\mu\text{L. L}^{-1}$), do Funcho-doce (0,24 $\mu\text{L. L}^{-1}$) e do estragão (0,25 $\mu\text{L. L}^{-1}$). No comportamento, o número de visitas do cravo (1 visita), do nem (2,33) e do funcho (1) diferiram significativamente, da mesma forma a frequência da caminhada do funcho e o cravo com os menores valores (2; 1,33), respectivamente. Na chance de escolha, com a concentração letal de 50%, a preferência pelo Original Nim® foi significativamente maior do que nos demais tratamentos, tanto em 24 horas, com 24,5%, quanto em 48 horas, 29% de preferência. No tratamento com 90%, em 48 horas, o Original Nim® diferiu significativamente com 17,5%. Estes resultados indicam a concentração letal de 50 e 90% dos produtos naturais para o controle do gorgulho-do-milho, e foi possível avaliar o comportamento do inseto quando tratado a massa, esses produtos demonstram ser uma promissora alternativa para reduzir os danos qualitativos e quantitativos nos grãos.

Palavras-chave: Produtos naturais; Gorgulho do milho; Azadiractina; Comportamento de inseto; Toxicidade.

ABSTRACT

CARVALHO, Núbia Eliza de Azevedo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Mortality and behavior of corn weevil exposed to different natural products.** Adviser: Ézio Marques da Silva. Co-advisers: Daniela Santos Martins Silva, Flávio Lemes Fernandes and Willian Rodrigues Macedo.

The corn weevil (*Sitophilus zeamais*) causes phytosanitary problems in the storage of agricultural commodities, its control is carried out with the use of synthetic insecticides, however, the search for alternative products to control these pests has grown, among the alternatives, the following stand out: natural compounds derived from plants. The objective was to evaluate the effects of natural products in the treatment of grains to control corn weevil. 3 tests were carried out: toxicity, behavioral and the chance of choice. The toxicity test evaluated different concentrations of the Original Nim®, estragão, sweet fennel, clove oil and control with acetone, in order to obtain a lethal concentration of 50% and 90%. In the behavioral test, the concentrations obtained were used, and the latency period, frequency of walking, number of visits and length of stay were evaluated, in addition to the insects' preference for the treated grains. The highest lethal concentration values were from the Original Nim® (2,28 $\mu\text{L. L}^{-1}$), and clove oil (2, 28 $\mu\text{L. L}^{-1}$) and the lowest were trans-anethole (0.22 $\mu\text{L. L}^{-1}$), sweet fennel (0.24 $\mu\text{L. L}^{-1}$) and estragão (0.25 $\mu\text{L. L}^{-1}$). In terms of behavior, the number of visits by cloves (1 visit), nim (2.33) and fennel (1) differed significantly, as did the frequency of visits by fennel and cloves with the lowest values (2; 1.33) respectively. When given the choice, with a lethal concentration of 50%, the preference for the Original Nim® was significantly greater than in the other treatments, both at 24 hours, with 24.5%, and at 48 hours, with 29% preference. In the treatment with 90%, in 48 hours, the Original Nim® differed significantly with 17.5%. These results indicate the lethal concentration of 50 and 90% of natural products for corn weevil control, and it was possible to evaluate the insect's behavior when treated with mass. These products demonstrate to be a promising alternative to reduce qualitative and quantities in the grains.

Keywords: Natural products; Corn weevil; Azadirachta; Insect behavior; Toxicity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO GERAL	11
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. BIOENSAIO DE TOXICIDADE	12
3.2. BIOENSAIO COMPORTAMENTAL	12
3.3. BIOENSAIO COM CHANCE DE ESCOLHA	13
3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	14
4. RESULTADOS	14
4.1. BIOENSAIO DE TOXICIDADE	14
4.2. BIOENSAIO COMPORTAMENTAL	15
4.3. BIOENSAIO COM CHANCE DE ESCOLHA	17
5. DISCUSSÃO	19
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
7. REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas fitossanitários no armazenamento de *commodities* agrícolas é a presença de insetos-pragas (Phillips, Throne, 2010; Brilinger *et al.*, 2020). Esses insetos contribuem para a contaminação dos produtos armazenados pela sua presença, vivos ou mortos, pelos seus fragmentos corpóreos, pelos metabolitos do seu organismo e também pelos inseticidas utilizados no seu controle (Phillips, Throne, 2010).

Entre as pragas de produtos armazenados, o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885) é um inseto que causa danos econômico em todo o mundo (Corrêa *et al.*, 2013). Trata-se de um besouro de corpo compacto, pertencente à família Curculionidae, com alto potencial biótico e capacidade de sobreviver em grandes profundidades nas massas de grãos, o que favorece seu desenvolvimento e adaptação (Antunes *et al.*, 2011).

O inseto apresenta de 2,0 a 3,5 mm de comprimento, coloração castanho-escuro, com um prolongamento cefálico denominado rostro, contendo as peças bucais na parte distal. As fêmeas perfuram os grãos para depositar seus ovos, em média são 150 ovos por fêmea, e apenas um ovo por grão. Após a eclosão as larvas, no interior do grão, desenvolvem-se até a fase adulta em um período de 25 a 30 dias, causando danos irreversíveis aos produtos, juntamente com os adultos (Lorini *et al.*, 2015).

Este inseto apresenta infestação cruzada, pois os grãos podem vir infestados do campo para o armazém, onde os insetos encontram condições favoráveis para a expressão de seu potencial biótico (Antunes *et al.*, 2011). Além disso, é considerada uma praga agressiva por ser cosmopolita, atacando diversos grãos, entre os quais, milho, trigo, cevada, triticale, arroz, sorgo e aveia (Nörnberg *et al.*, 2018).

Dentre essas culturas, essa espécie possui preferência pela cultura do milho, no qual é abundante nas zonas tropicais e subtropicais (Devi *et al.*, 2017) e cuja presença resulta na diminuição significativa na qualidade nutricional dos grãos e grandes perdas na economia mundial (Souza *et al.*, 2013). Esse inseto deteriora cerca de 5 a 10% dos produtos armazenados nos países desenvolvidos e mais de 30% nos países em desenvolvimento (Perkin *et al.*, 2016). A perda média de peso de grãos de milho armazenados com uma população de 150 insetos adultos de gorgulho-do-milho em 600g ao final de 120 dias pode chegar a 17% (Antunes *et al.*, 2011).

As plantas apresentam substâncias químicas constituídas por dois grandes grupos, um formado por substâncias do metabolismo primário, responsáveis pelas atividades metabólicas básicas e outro formado pelas substâncias do metabolismo secundário, que são responsáveis

pelo mecanismo de defesa da planta contra insetos, microrganismos e outros herbívoros, e também para atrair inimigos naturais (Vendramim, Castiglioni, 2000; Zenoozi *et al.*, 2022). Além dessas plantas possuem efeitos potenciais na taxa de crescimento, expectativa de vida e reprodução, essas substâncias também podem ser usadas como fumigantes inseticidas de contato, repelente e antialimentares (Kumar *et al.*, 2021).

Alguns estudos com produtos naturais têm sido relatados, óleos essenciais de plantas, *Haplophyllum tuberculatum*, *Psidium guajava* (Goiabeira) e *Pinus roxburghii* (Pinus), demonstraram efeito protetor para grãos de trigo contra *S. oryzae* (Saad *et al.*, 2022). O extrato vegetal da pimenta de São Tomé (*Piper guineense*) apresentou 100% de mortalidade ao gorgulho-do-milho (Asawalam *et al.*, 2007). O óleo essencial de *Citrus limonum* (Limão) apresenta efeito de toxicidade residual e repelência para *S. granarius* (Guettal *et al.*, 2021).

Entretanto, a eficácia dos produtos naturais e seus constituintes vai depender do perfil fitoquímico das plantas e do alvo entomológico (Regnault-Roger; Vincent, & Arnason, 2012), devido ao conteúdo e a concentração do ingrediente ativo serem altamente variáveis em função da parte da planta utilizada no processo de extração (Dougoud *et al.*, 2019). Além disso, a ação inseticida dos óleos essenciais pode ser causada pelo sinergismo dos seus compostos constituintes e também pela sua capacidade de penetração no corpo do inseto (Martínez *et al.*, 2017).

Um dos principais problemas enfrentados no controle desta praga é o desenvolvimento de resistência dos insetos aos inseticidas, que consiste na capacidade de alguns indivíduos da população da praga em sobreviver a doses do inseticida que seriam letais para a maioria dos indivíduos da população. A resistência causa ineficiência de controle, aumento das perdas e custo em função do aumento da dose do inseticida (Halder *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2012; Hikal, Braeshen, R. S.; Said, 2017).

Assim, novas técnicas para o controle deste inseto nas unidades de armazenamento e beneficiamento de grãos, desempenham um papel fundamental na cadeia de proteção da qualidade destes produtos, além da busca pela garantia a segurança alimentar através da gestão eficaz de pragas armazenadas com produtos naturais (Ankitha *et al.*, 2024). Por isso, é necessário a identificação de novas moléculas inseticidas, compostos com mecanismos de ação diferentes dos convencionais, visando a manutenção e manejo das populações desta praga, sobretudo, nas unidades de armazenamento (Ribeiro *et al.*, 2013). E entre as alternativas que têm sido empregadas, destacam-se as moléculas inseticidas botânicas.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos dos produtos naturais no tratamento de grãos para o controle do gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*).

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- I. Avaliar o efeito dos produtos naturais na mortalidade e no comportamento do gorgulho-do-milho;
- II. Determinar a CL₅₀ e CL₉₀ para o controle do gorgulho-do-milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Entomologia da Universidade Federal de Viçosa — *Campus* Rio Paranaíba. Os experimentos foram divididos nas seguintes etapas: avaliação da toxicidade dos produtos naturais e a determinação dos efeitos no comportamento do inseto alvo. Os testes foram realizados com insetos da espécie *S. zeamais* provenientes de criação em laboratório.

Os insetos foram criados em laboratório nas seguintes condições: em recipientes de vidro, contendo grãos de arroz ou milho inteiros livres de inseticidas como fonte de alimento, umidade relativa controlada ($75 \pm 5\%$) e temperatura ($25 \pm 5^\circ\text{C}$). Os potes foram perfurados na tampa utilizando uma faca e lacrados com tecido organza para permitir a troca gasosa.

Tabela 1 - Produtos naturais utilizados para o tratamento das sementes.

Nome comercial	Espécie vegetal	Empresa	Princípio ativo	Intervalo de dose (μl)
Original Neem®	<i>Azadirachta indica</i>	Base Forte	Azadiractina (0,12% p/p)	1000-0,36
Óleo de Estragão®	<i>Artemisia dranculus</i>	Laszlo	Metil carvacol (90-93%)	1000-0,10
Trans-anetol®	-	Sigma Aldrich	Anetol (>99%)	1000-0,06
Óleo de Funcho-doce®	<i>Foeniculum vulgare</i>	Ferquímica	Anetol (75 -87%)	1000-0,11
Óleo de Cravo®	<i>Syzygium aromaticum</i>	Ferquímica	Eugenol (70-80%)	1000-0,14

Fonte: elaborada pela autora (2024).

Os produtos naturais utilizados foram provenientes de 4 plantas (*Azadirachta indica*, *Artemisia dranculus*, *Foeniculum vulgare* e *Syzgium aromaticum*) e 1 composto químico (Trans-anetol), suas respectivas informações estão descritas na tabela 1.

3.1. BIOENSAIO DE TOXICIDADE

Para esse bioensaio foi utilizado grãos de milho de pipoca adquiridos no mercado local (marca Kodilar®) tratado com os compostos da tabela 1. O experimento foi conduzido em placa de Petri de 10 mm de diâmetro, constituído de 6 tratamentos (Tabela 1, mais o tratamento controle, constituído de apenas acetona), 5 repetições e 10 insetos em cada placa com aproximadamente 13 gramas de grãos de milho, que representa a média de 10 grãos de milhos disponíveis para os gorgulhos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado.

Para isso, os compostos foram aplicados aos grãos de milho com auxílio de uma micropipeta de 1000 µL. As diluições foram feitas em acetona (99,5%), com exceção para os produtos à base de Nim, que foram diluídos em água destilada. Inicialmente, foi utilizado 1000 µL de cada produto diluído em 1000 µL de acetona, de acordo com cada avaliação do experimento a quantidade do produto aumentou e/ou diminuiu seguindo o intervalo de concentração da tabela 1.

Posteriormente, os grãos tratados foram acondicionados em placas de Petri sobre discos de papel filtro (70 mm de diâmetro), em seguida foram adicionados 10 insetos adultos do gorgulho-do-milho por placa, em condições controladas com a 27°, 70%±10 UR e fotoperíodo 12 horas. Posteriormente, as placas foram fechadas com papel filme para evitar o escape dos insetos. A mortalidade dos insetos foi avaliada após 72 horas de exposição. Foram considerados mortos os insetos que não responderam ao estímulo durante o período de 5 minutos quando tocados com pincel de ponta fina.

Os testes foram realizados para determinar a mortalidade dos insetos em concentrações crescentes dos respectivos compostos, a fim de encontrar a CL₅₀ e CL₉₀. Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit para a determinação das concentrações letais para matar 50 e 90% da população do gorgulho-do-milho (CL₅₀ e CL₉₀, respectivamente).

3.2. BIOENSAIO COMPORTAMENTAL

Para avaliar o efeito sobre o comportamento dos adultos do gorgulho-do-milho foram

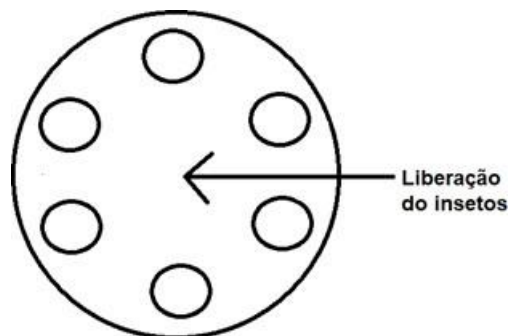
utilizadas a CL_{90} dos 6 tratamentos anteriores, 10 repetições, que foram compostas de 13 gramas de milho tratado com a CL_{90} (tabela 2), acondicionadas em placa de Petri de 10 mm de diâmetro, adicionado um inseto no seu interior, em seguida fechada conforme os procedimentos anteriores.

A avaliação comportamental foi realizada por meio da observação do inseto na placa por 30 minutos, e feito o registro do seu comportamento, para isso foi utilizado o software Iriu webcam, nele foi gravado os movimentos dos insetos utilizando um aparelho celular e essa filmagem foi transferida para o computador e posteriormente avaliados os parâmetros. Especificamente os comportamentos registrados foram: período de latência (tempo para atingir a massa de grãos pela primeira vez), número de visitas à massa de grãos e frequência de caminhada (inseto andando pela placa sem contato com os grãos), conforme metodologia de (Martins *et al.*, 2022).

3.3. BIOENSAIO COM CHANCE DE ESCOLHA

Na avaliação com chance de escolha foram confeccionadas arenas circulares (22 cm de diâmetro), e ao longo de sua circunferência os grãos de milho tratados com os produtos naturais foram dispostos. Os tratamentos foram mantidos afastados de forma equidistante (Figura 1) para evitar qualquer tipo de interferência de uma massa de grão tratada com as outras.

Figura 1 – Representação da arena com os 6 tratamentos.



Fonte: elaborada pela autora (2024).

O experimento foi constituído de seis tratamentos: controle com acetona, Funcho-doce, Original Nim®, Óleo de Cravo, óleo de estragão e Trans-anetol. Para esse experimento foram utilizados a CL_{50} e CL_{90} , determinados no experimento de toxicidade (tabela 2). O teste consistiu na avaliação da preferência dos insetos submetidos a grãos tratados com a CL_{50} e CL_{90} . Nessa avaliação, foram utilizadas quatro repetições em blocos casualizados. O

experimento foi mantido sobre as mesmas condições ambientais da criação, mas na ausência de luz, para evitar qualquer possível efeito direcional sobre os insetos.

Para cada repetição (arena) foram liberados 50 insetos adultos e mantidas fechadas na sua parte superior com vidro transparente para evitar a fuga dos insetos. A avaliação de preferência ocorreu após 24 e 48 horas, por meio da contagem do número de insetos presente nas massas de grãos.

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de PROBIT, utilizando-se o programa R, para gerar as curvas de concentração-mortalidade para determinação das concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀). Os dados comportamentais foram submetidos à ANOVA e o teste de Tukey, observando os pressupostos de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos, para a variável tempo de permanência na massa de grãos foi feita análise não paramétrica, pela transformação ordinal rank.

No caso de não atendimento desses pressupostos, os dados foram transformados. Posteriormente os dados foram submetidos ao teste de agrupamento de médias de Tukey a 5% de probabilidade. Para os resultados para o experimento com chance de escolha, na CL₅₀, para 24 horas os dados foram transformados para Box-Cox ($y+1$); $Y=0,4$, para 48 horas os dados foram transformados pela fórmula $\arcsen[\sqrt{y/100}]$, em relação a CL₉₀, os dados não sofreram transformação.

4. RESULTADOS

4.1. BIOENSAIO DE TOXICIDADE

Os dados de sobrevivência do gorgulho-do-milho após 72 horas de exposição aos produtos naturais indicaram variação entre os tratamentos. Para todos os tratamentos os valores de qui-quadrado foram significativos. Os tratamentos com as maiores inclinações para a curva de Probit foram Funcho-doce (3,66), estragão (3,33) e o Trans-anetol (2,34) (tabela 2). Observando os valores de CL₉₀, podemos definir que esses tratamentos também foram os mais tóxicos ao gorgulho-do-milho em função das menores concentrações para causar elevadas mortalidade dos insetos CL₉₀ (0,24; 0,25 e 0,22 µL/L, respectivamente).

Tabela 2 - Parâmetros da curva de Probit para os tratamentos à base de produtos naturais para mortalidade do gorgulho-do-milho.

Tratamento	Inclinação	CL ₅₀ (IC ₉₅) µL.L ⁻¹	CL ₉₀ (IC ₉₅) µL.L ⁻¹	X ²	G.L.	p	Insetos
Funcho-doce	3,66±0,95	0,11 (0,09; 0,13)	0,24 (0,18; 0,38)	19,76	4	0,99	60
Estragão	3,38±1,25	0,10 (0,08; 0,13)	0,25 (0,18; 0,49)	24,21	3	0,99	50
Óleo de Cravo	1,05±0,37	0,14 (0,06; 0,23)	2,28 (1,07; 10,9)	24,14	4	0,99	60
Trans-anetol	2,34±0,54	0,06 (0,05; 0,08)	0,22 (0,15; 0,39)	19,14	4	0,99	60
Original Nim®	1,55±0,29	0,36 (0,27; 0,47)	2,40 (1,41; 6,37)	12,52	6	0,95	80

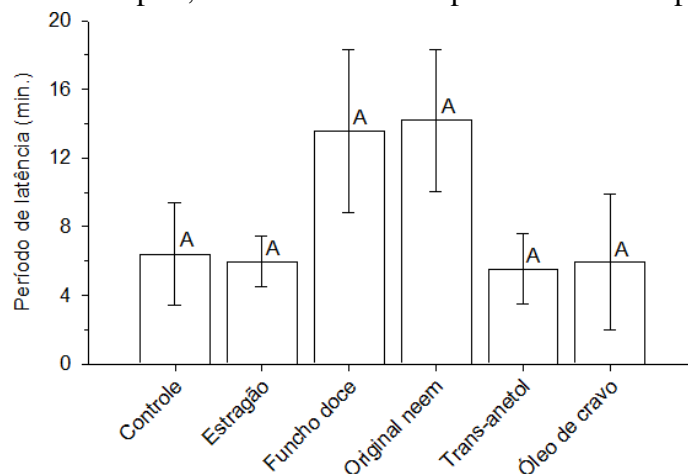
EP = erro padrão; CL₅₀ = Concentração letal para matar 50% da população; IC₉₅ = Intervalo de confiança a 95% de significância; CL₉₀ = Concentração letal para matar 90% da população; X² = Valor do qui-quadrado; G.L. = Grau de liberdade; p = significativo a p>0,05.

Fonte: elaborada pela autora (2024).

4.2. BIOENSAIO COMPORTAMENTAL

Na avaliação dos efeitos dos bioativos no comportamento do gorgulho-do-milho, não foram detectadas diferenças significativas no comportamento do inseto para o período de latência (gráfico 1) (F_{5;12}=1,45; p=0,277), o tempo necessário para que o inseto entrasse em contato pela primeira vez com a massa de grãos não foi afetado pelos produtos naturais.

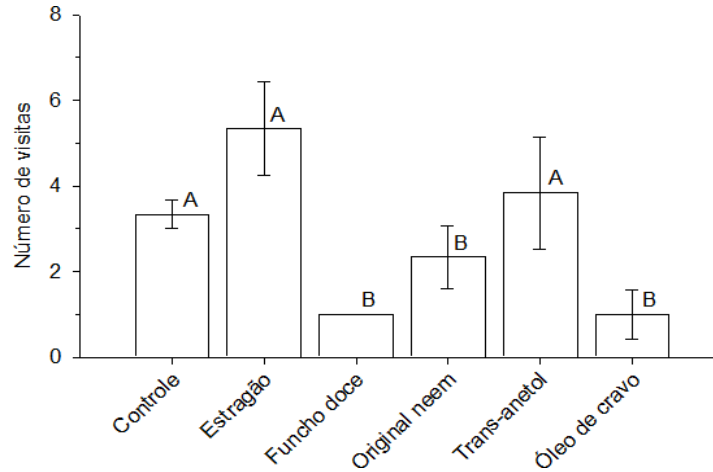
Gráfico 1 - Período de latência (minutos) estimado para que o gorgulho-do-milho entre em contato com a massa de grãos. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a p<0,05. As semirretas representam o erro padrão.



Fonte: elaborada pela autora (2024).

Em relação ao número de vezes que o inseto atingiu a massa de grãos (gráfico 2), o milho tratado com Funcho-doce, nim e cravo foi menos visitado pelo gorgulho-do-milho, 1,0; 2,3 e 1,0 vistas, respectivamente (gráfico 2). Os tratamentos controle, estragão e Trans-anetol foram mais visitados ao longo do tempo pelo gorgulho, 3,3; 5,3 e 3,8 vistas, respectivamente.

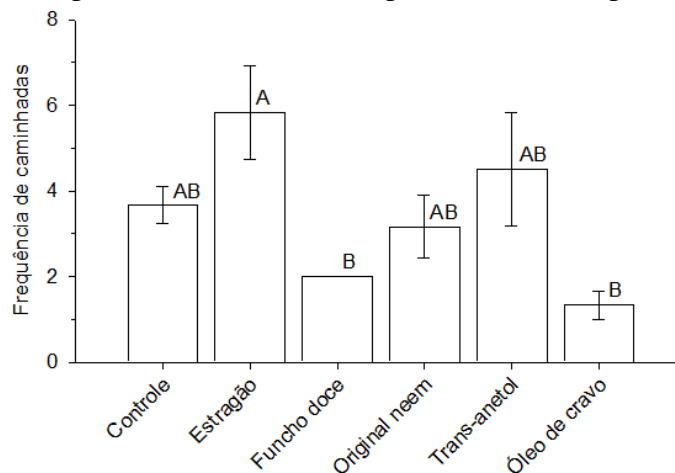
Gráfico 2 - Número de visitas que o gorgulho-do-milho encontra em contato com a massa de grãos. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.



Fonte: elaborada pela autora (2024).

Para a frequência de caminhada dos insetos do gorgulho-do-milho (gráfico 3), os tratamentos com produtos naturais não foram estatisticamente diferentes do controle (3,7). No entanto, houve diferença significativa entre os tratamentos com estragão (5,8), Funcho-doce (2,0) e cravo (1,3).

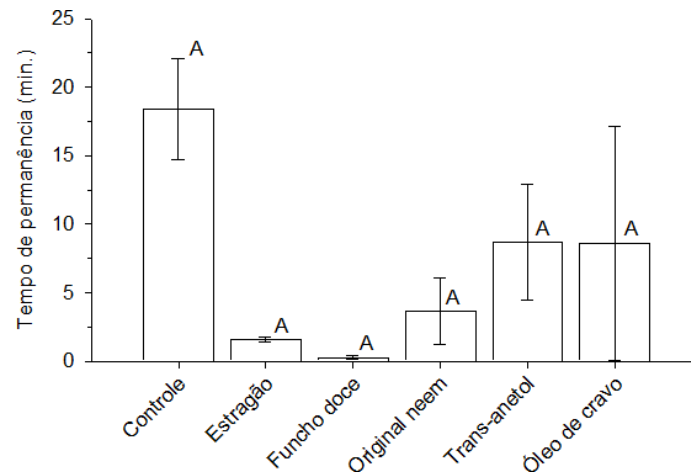
Gráfico 3 - Frequência de caminhadas do gorgulho-do-milho pela placa sem estar em contato com a massa de grãos. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.



Fonte: elaborada pela autora (2024).

Para o tempo que o gorgulho-do-milho permanece na massa de grãos não houve diferença significativa entre os tratamentos com produtos naturais e o controle (gráfico 4).

Gráfico 4 - Tempo (segundos) de permanência do gorgulho na massa de grãos. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.

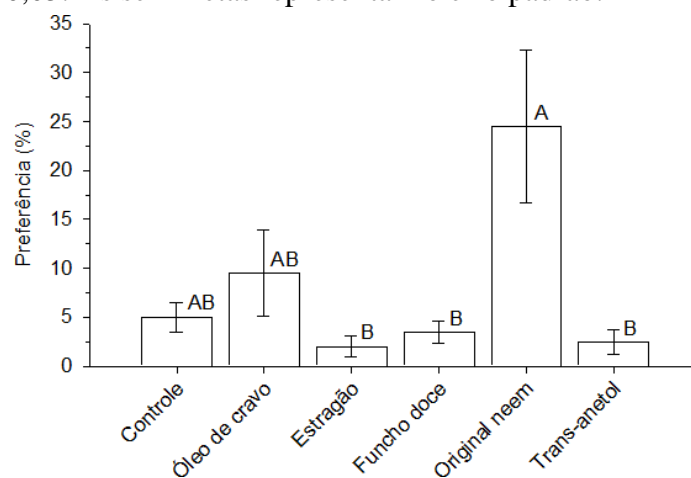


Fonte: elaborada pela autora (2024).

4.3. BIOENSAIO COM CHANCE DE ESCOLHA

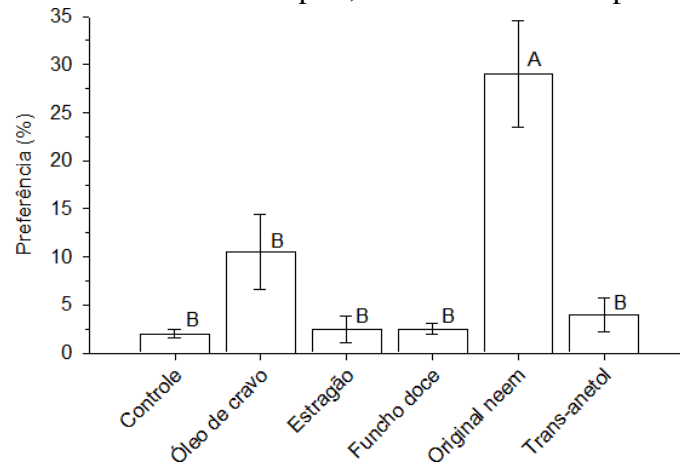
A preferência dos adultos do gorgulho-do-milho para a massa de grãos tratados com a CL_{50} após 24 horas (gráfico 5), foi para o composto à base de nim (24,5%), enquanto que os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si (gráfico 5). E após 48 horas de exposição, o gorgulho teve uma maior preferência pelos grãos de milho tratados com nim (29%), e os demais tratamentos não diferiram entre si (gráfico 6).

Gráfico 5 - Preferência (%) para adultos do gorgulho-do-milho por grãos tratados com produtos naturais com a CL_{50} após 24 horas. As barras com a mesma letra não apresentam diferença pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.



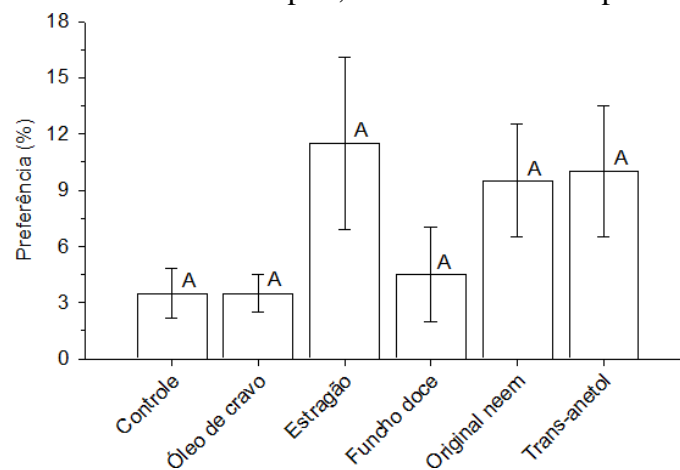
Fonte: elaborada pela autora (2024).

Gráfico 6 - Preferência (%) para adultos do gorgulho-do-milho por grãos tratados com produtos naturais com a CL₅₀ após 48 horas. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.



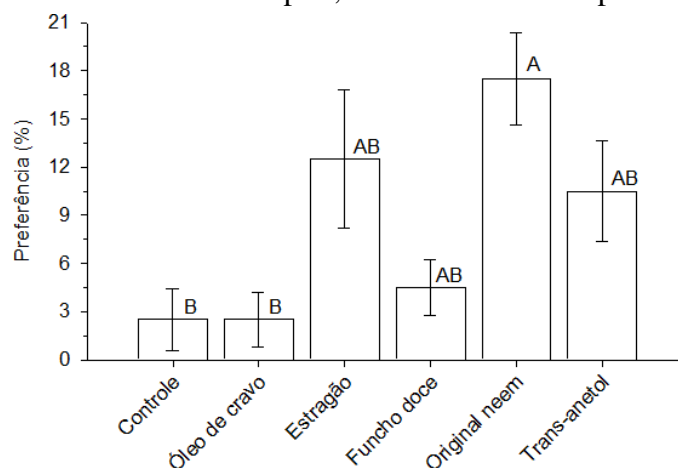
Fonte: elaborada pela autora (2024).

Gráfico 7 - Preferência (%) para adultos do gorgulho-do-milho por grãos tratados com produtos naturais com a CL₉₀ após 24 horas. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.



Fonte: elaborada pela autora (2024).

Gráfico 8 - Preferência (%) para adultos do gorgulho-do-milho por grãos tratados com produtos naturais com a CL₉₀ após 48 horas. As barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença estatística pelo teste Scott-Knott a $p < 0,05$. As semirretas representam o erro padrão.



Fonte: elaborada pela autora (2024).

5. DISCUSSÃO

Conforme observado no resultado do bioensaio de toxicidade, os cinco tratamentos demonstraram toxicidade suficiente para reduzir em 90% a sobrevivência da população do gorgulho-do-milho. Por isso, consideramos esses cinco tratamentos os mais tóxicos para esse inseto. A análise de Probit é uma análise quantitativa, que nos ajuda a mensurar e planejar de forma segura qual concentração causará a letalidade para uma determinada população a uma exposição tóxica (Schubach *et al.*, 1995).

Entre os principais resultados de toxicidade dos produtos naturais, o funcho foi estudado por outros autores, nas concentrações de 0,05 até 0,75 μL por 1mL de acetona, aplicado no tórax do gorgulho-do-milho, e foi verificado que na maior dose ocorreu 67,7% de mortalidade no período de até 96 horas (Bertoli *et al.*, 2012), diferindo do nosso experimento em que tivemos 90% de mortalidade em um período menor de exposição. A atividade inseticida dos derivados de funcho foi testada contra adultos de *S. oryzae*, e as respostas variaram de acordo com o composto, dose e tempo de exposição. Aplicando 0,168 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ sobre o papel filtro o estragol causou 91% de mortalidade um dia após o tratamento. Enquanto (+)-fenchona e (E)- anetol, constituinte do funcho, levaram a mortalidade de 90% com dois e quatro dias, respectivamente (Kim & Ahn, 2001). Diferente da nossa metodologia, esse trabalho utilizou os principais constituintes do funcho e aplicou sobre o papel filtro utilizando o 100 ml do metanol como diluente. Essas observações demonstram a elevada toxicidade do óleo de Funcho-doce sobre o gorgulho-do-milho.

Visto que, o Trans-anetol é um componente do óleo de funcho, foi importante avaliar seu efeito isolado na mortalidade do gorgulho-do-milho. Conforme (Alkana, Ertürka, 2020) testaram Trans-anetol em *S. granarius*, *S. oryzae*, *Tribolium confusum* e *T. castaneum* e observaram que na dosagem de 8 $\mu\text{L}/\text{ml}$ de acetona, o composto apresentou 60% de mortalidade para *T. castaneum* após 72 horas, as demais espécies não sofreram mortalidade, diferindo do

nosso experimento no qual $0,22 \mu\text{L.L}^{-1}$, causou 90% de mortalidade. Os autores (Wang *et al.*, 2021) avaliaram o efeito de Trans-anetol na atividade enzimática de *Cryptolestes ferrugineus*, avaliando diferentes enzimas e observaram um aumento significativo da atividade das enzimas Glutathione S-transferase e Carboxilesterase. No entanto, a Acetilcolinesterase foi inibida e reduzida pelo Trans-anetol em 64,5% em 24 horas, em nosso experimento não avaliamos atividade enzimática, mas nesse trabalho é possível observar o efeito do Trans-anetol sobre a acetilcolina. Desta forma, conseguimos compreender porque o óleo de Funcho-doce e Trans-anetol apresentaram elevada toxicidade para o gorgulho, visto que seus mecanismos de ação são semelhantes aos inseticidas organossintéticos que atuam como inibidores de Acetilcolinesterase.

Juntamente com funcho, o óleo de estragão apresenta uma menor concentração letal sobre o gorgulho demonstrando sua capacidade de causar uma maior intoxicação em baixas concentrações. A parte aérea da planta *A. dracuncululus* possui compostos inseticidas contra *S. oryzae* e *Rhyzopertha dominica* causando 100% de mortalidade na concentração de 200 mg/ml (Saadali *et al.*, 2001). Para o gorgulho-do-milho, os óleos essenciais de *A. mongolica* e *A. capillaris* apresentaram toxicidade por contato, com DL_{50} de 87,9 e 105,9 $\mu\text{g/adulto}$, respectivamente. Esses resultados demonstram um efeito inseticida de plantas do gênero *Artemisia* sobre coleópteros de produtos armazenados.

Resultados semelhantes ao nosso foram observados por (Kordali *et al.*, 2012), que após 96 horas de exposição na dose de 20 μL de óleo de estragão aplicado sobre o papel filtro de 2 x 2 cm causou 100% de mortalidade em *S. granarius*. Em relação a dose letal, apresentaram valores baixos de DL_{90} (2,09 μL), DL_{25} (0,007 μL) e DL_{50} (0,052 μL). Estudos têm demonstrado que as espécies de *Artemisia* exibem variações intraespecíficas significativas nos seus constituintes terpênicos dos óleos essenciais (Seixas *et al.*, 2018), em função disso, não é possível termos uma padronização da ação inseticida dessa planta nos resultados da literatura, mas com grandes aproximações, contribuindo para afirmar sua toxicidade para *Sitophilus*.

O Óleo de Cravo, juntamente, com Original Nim® apresentaram as maiores concentrações de CL₉₀ (2,28 µL.L⁻¹), comparativamente com os demais tratamentos, foram menos tóxicos ao gorgulho. Avaliando as respostas locomotoras e fisiológicas do gorgulho-do-milho induzidas por óleos essenciais, (Correa *et al.*, 2015), verificaram que a DL₅₀ para o Óleo de Cravo variou de 0,45 e 0,92 µg.cm⁻². Os autores (Haddi *et al.*, 2015) observaram que a dose letal para o gorgulho-do-milho foi de 0,90 µL.cm⁻². O eugenol é o principal componente do Óleo de Cravo, assim uma possível explicação para a divergência entre os nossos resultados e a literatura, encontra-se em parte na metodologia de trabalho, sendo que a aplicação no nosso experimento ocorreu em grãos e nas pesquisas apresentadas a aplicação foi em papel filtro. Esses autores atribuem as diferenças de toxicidade neste inseto à capacidade de penetração dos terpenóides no corpo e a metabolização destes compostos.

Nos estudos de Olusanmi (2023) com extratos aquosos de Original Nim®, trabalhando com concentrações de 500 mg/L, 1000 mg/L e 1500 mg/L, as mesmas causaram maior mortalidade do Gorgulho-do-milho à medida que houve um aumento da concentração e tempo de exposição. Semelhantemente, nossos resultados vêm corroborar com essa observação, visto que, também houve o aumento da mortalidade do gorgulho, contudo, em concentração menor do que relatado por esse autor.

Já na avaliação do comportamento do gorgulho do milho, resultado do bioensaio comportamental, mediante os estímulos dos grãos de milho tratados com os produtos naturais, foi possível perceber a influência dos tratamentos sobre o inseto. Os insetos são guiados até sua fonte alimentar por pistas químicas liberadas nos ambientes, assim outros odores podem servir como uma barreira dificultando a percepção do alimento, ou mesmo afetando diretamente o sistema nervoso do inseto, e desta forma, o processamento das informações ambientais (Panda & Khush, 1995).

O tempo necessário para que o inseto atingisse a massa de grãos, pela primeira vez, não foi estatisticamente afetado pelos produtos naturais. No entanto, é possível perceber uma

tendência de maior tempo gasto pelos insetos nos tratamentos com o funcho e nim. Esses resultados podem ser devido a ação dos metabólitos secundários alterarem o padrão comportamental dos insetos, devido à ação de alguns compostos tóxicos no sistema nervoso, estimulando ou reduzindo a mobilidade dos insetos e, conseqüentemente, afetando o padrão de caminamento ou capacidade de percepção dos estímulos do alimento (Plata-Rueda *et al.*, 2018).

Alguns estudos demonstram que Funcho-doce possui ação de repelência contra o gorgulho (Bertoli *et al.*, 2012) trataram metade de discos de papel com 0,5 ml de solução de óleo essencial e observaram que concentração de 0,1 μ L, houve uma repelência média de 59,1% para o gorgulho. Diferente de nosso experimento, esses autores avaliaram por um período superior a uma hora, e nosso período de avaliação foi menor (30 minutos). Os autores (Upadi *et al.*, 2021) testaram a repelência de extratos de plantas para *Callosobruchus chinensis* nos resultados obtidos, óleo de nim apresentou a maior taxa de repelência, acima de 90%, na concentração de 20%, após 48 horas.

O padrão comportamental pode ter sido alterado devido a inibição da acetilcolinesterase pelos produtos naturais. A Acetilcolinesterase é uma enzima que catalisam a hidrólise do neurotransmissor Acetilcolina em colina e ácido acético (Upadhyay *et al.*, 2018) A Acetilcolina atua no impulso nervoso, regulando as contrações musculares dos insetos, na ausência da ação da enzima a Acetilcolina vai sendo acumulada na sinapse, resultando em um estímulo prolongado na membrana pós-sináptica. Isso causa ataxia; falta de coordenação neuromuscular e o inseto morre (Upadhyay *et al.*, 2018). No entanto, dependendo da concentração, podem ocorrer efeitos subletais, que afetam a capacidade de deslocamento, forrageamento, encontro de parceiro para acasalamento e a percepção do ambiente. Quando observamos o número de visitas (gráfico 2), percebemos que houve repelência dos tratamentos com Funcho-doce, Óleo de Cravo e o Original Nim®. Somado a esses resultados percebemos esse efeito, quando o tempo de permanência (gráfico

4) dos insetos nestes tratamentos apresentam uma tendência para serem menores ou iguais aos demais tratamentos. A elevada variabilidade observada em Óleo de Cravo teve um efeito negativo na diferenciação entre os tratamentos. Os resultados nos ajudam a compreender que mesmo os tratamentos com baixa frequência de caminhamento, não significa, necessariamente, que os insetos estão caminhando menos, porque pode ocorrer que o tempo gasto em apenas uma caminhada seja mais demorado.

Para avaliação dos efeitos dos produtos naturais, os testes de preferência com chance de escolha fornecem dados robustos, seja pela comparação lado a lado dos tratamentos ou pelo maior tempo de exposição para a decisão dos insetos. Assim, podemos destacar que o Original Nim® apresentou maior preferência para Gorgulho-do-milho na CL₅₀ e CL₉₀, para 24 e 48 horas (gráfico 5, 6, 8), sendo mais preferível para os insetos os grãos de milho com este tratamento, do que os grãos não tratados.

O efeito repelente dos compostos químicos da planta afeta a escolha dos insetos. Mas além disso, é preciso avaliar a aceitação do inseto mediante um alimento que possui em seu conteúdo, compostos químicos não usuais em sua dieta. O comportamento alimentar em insetos é dependente de estímulos nervosos recebidos pelos sensores químicos, presentes em receptores gustativos do aparelho bucal e tarsos (Chaudhary *et al.*, 2017). O bloqueio da alimentação pela azadiractina presente no óleo nim ocorre por meio de estímulos deterrentes em células quimiorreceptoras responsáveis pela percepção de açúcares (Luntz *et al.*, 1998). Além do bloqueio da alimentação, a ingestão de azadiractina causa efeitos fisiológicos no intestino médio do inseto, levando a uma redução da eficiência digestiva (Schmutterer, 1985). Em função disso, não ocorre um efeito repelente sobre o inseto, o que justifica a permanência do mesmo na massa de grãos tratada com o óleo do Original Nim®, talvez mais como uma fonte de abrigo, ao invés de alimentar. A diferença na atividade repelente de óleos essenciais no controle de pragas pode ser atribuída a combinação de diferentes tipos de óleos essenciais ou de diferentes compostos que compõem o mesmo óleo que pode proporcionar atividade

sinérgica ou antagônica (Campos *et al.*, 2018).

Portanto, os produtos naturais podem ser utilizados como protetores de grãos armazenados, possibilitando uma alternativa de controle dos insetos pragas, visto sua ação tóxica e comportamental. Esta propriedade pode ser explorada em estratégias de manejo de pragas para atrair intencionalmente insetos para armadilhas ou para locais específicos que receberam o tratamento adequado para o controle de pragas, além do mais podem ser utilizadas para produtores requererem a certificação de produto sem pesticidas químicos. No entanto, é necessário um apoio maior do governo para facilitar o registro desses produtos, devido que existe critérios muito rigorosos para o registro de pesticidas (Pavela, 2016).

Além disso, estudos precisam avançar para o melhor entendimento dos efeitos desses compostos nos insetos, e é necessário também, o investimento em novas tecnologias de formulações para ajudar no processo de otimização desses compostos. Então, ainda temos muitos desafios e campos de trabalho para que produtos naturais sejam empregados no manejo de insetos de importância agrícola.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível avaliar o efeito dos produtos naturais na mortalidade e no comportamento do gorgulho-do-milho.

Os produtos naturais de Original Nim, Estragão, Funcho-doce, Óleo de Cravo e o Trans-anetol apresentaram efeito de toxicidade para gorgulho-do-milho.

Foi determinado a CL_{50} e CL_{90} dos produtos naturais para o controle do gorgulho-do-milho, com o Funcho, o Trans-anetol e o Óleo de Cravo com os menores valores de CL_{90} .

O Funcho-doce proporcionou o menor número de visitas a massa de grãos, a menor frequência de caminhadas do gorgulho-do-milho e um menor tempo de permanência do inseto sobre a massa de grão tratada.

A maior preferência do gorgulho-do-milho foi para o tratamento com o Original Nim® para a CL₅₀ e CL₉₀, com 24 e 48 horas de exposição.

7. REFERÊNCIAS

ALKANA, M.; ERTÜRK, S. Insecticidal efficacy and repellency of trans-anethole against four stored-product insect pests. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 26, p. 64-70, 2020.

ANKITHA, T. A. *et al.* Phytochemical characterization of *callistemon lanceolatus* leaf essential oils and their application as sustainable stored grain protectants against major storage insect pests. **Sustainability**, v. 16, n. 3, p. 1055, 2024.

ANTUNES, L. E. G. *et al.* Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 615–620, 2011.

ASAWALAM, E. F. *et al.* Efficacy of *Piper guineense* (Schum & Thonn) seed extract against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) as influenced by different extraction solvents, International. **International Journal of Pest Management**, v. 53, p. 1- 6, 2007.

BERTOLI, A. *et al.* Volatile chemical composition and bioactivity of six essential oils against the stored food insect *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera dryophthoridae). **Natural Product Research**, v. 26, p. 2063-2071, 2012.

BRILINGER, D. *et al.* Susceptibility of brazilian maize landraces to the attack of

Sitophilus zeamais (Coleoptera: curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 88, p. 1-7, 2020.

CAMPOS, E. V. R. *et al.* Carvacrol and linalool co-loaded in β -cyclodextrin-grafted chitosan nanoparticles as sustainable biopesticide aiming pest control. **Scientific Reports**, v. 8, p1-14, 2018.

CARVALHO, M. O. *et al.* The use of modified atmospheres to control *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* on stored rice in Portugal. **Journal of Stored Products Research**, v. 50, p. 49-56, 2012.

CHAUDHARY, S. *et al.* Progress on *Azadirachta indica* based biopesticides in replacing synthetic toxic pesticides. **Frontiers in Plant Science** v. 8, 2017.

CORRÊA, A. S. *et al.* Distribution of the related weevil species *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* in Brasil. **Insect Science**, v. 20, p. 763–770, 2013.

CORREA, Y. C. G. *et al.* Locomotory and physiological responses induced by clove and cinnamon essential oils in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 125, p. 31-37, 2015.

DEVI, S. R. *et al.* Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 135-141, 2017.

DOUGOUD, J. I. *et al.* Efficacy of homemade botanical insecticides based on

traditional knowledge. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, 2019.

GUETTAL, S. *et al.* Effect of *Citrus limonum* essential oil against granary weevil, *Sitophilus granarius* and its chemical composition, biological activities and energy reserves. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, p. 1531–1541, 2021.

HADDI, K. *et al.* Sublethal exposure to clove and cinnamon essential oils induces hormetic-like responses and disturbs behavioral and respiratory responses in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v.108, p. 2815-2822, 2015.

Haidri, S. R. *et al.* Bioactivities of *Azadirachta indica*, *Murraya koenigii*, liquorice and *Nicotiana tobacum* against two strains of *Callosobruchus chinensis* L. **Pakistan journal of agricultural sciences**, v. 58, p. 1155-1159, 2021.

HALDER, J. *et al.* Effect of methanolic extracts of periwinkle (*Vinca rosea*) and bottlebrush (*Callistemon lanceolatus*) alone and their mixture against neonate larvae of gram pod borer (*Helicoverpa armigera*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 80, p. 820-823, 2010.

HIKAL, W. M.; BRAESHEN, R. S.; SAID, H. A. Review article: botanical insecticide as simple extractives for pest control. **Cogent Biology**, v. 3, p. 1-16, 2017.

KIM, D. H.; AHN, Y. J. Contact and fumigant activities of constituents of *Foeniculum vulgare* fruit against three coleopteran stored-product insects. **Pest Management Science: formerly pesticide science**, v. 57, n. 3, p. 301-306, 2001.

KORDALI, S. *et al.* Fumigant toxicity of essential oils of nine plant species from Asteraceae and Clusiaceae against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: curculionidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v, 22, p. 11-14, 2012.

KUMAR, S. *et al.* Plants based insecticides as promising source of bio pesticides-a review. **Indian Journals**, v. 11, p. 51–57, 2021.

LORINI, I. *et al.* **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015. 84 p.

LUNTZ, J. M. *et al.* Actions of azadirachtin, a plant allelochemical, against insects. **Pesticide Science**, v. 54, n. 3, p. 277–284, 1998.

MARTÍNEZ, L. C. *et al.* Toxic effects of two essential oils and their constituents on the mealworm beetle, *Tenebrio molitor*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 108, p. 716-725, 2017.

MARTINS, J. C. Copaiba oil and neem extract can be a potential alternative for the behavioral control of *Sitophilus zeamais*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 1-6, 2022.

NÖRNBERG, S. D. *et al.* Unusual behavior of oviposition and development of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae) in peach and apple fruits. **Phytoparasitica**, p.1-6, 2018.

OLUSANMI, P. The effect of neem (*Azadirachta Indica*) bark extracts on maize weevil (*Sitophilus zeamais*) in stored maize (*Zea mays*) in Lokoja, Kogi State. **Research Article**, v. 1,

2023.

PANDA, N.; KHUSH, G. S. **Host plant resistance to insect**. CABI, Wallingford. 1995, 448p.

PAVELA, V. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a Review. **Plant Protection Science**, v. 52, p. 229–241, 2016.

PERKIN, L. C. *et al.* Gene disruption technologies have the potential to transform stored product insect pest control. **Insects**, v. 46, p. 1-7, 2016.

PHILLIPS, T. W.; THRONE, J. E. Biorational approaches to managing stored-product insects. **Annual Review of Entomology**, v. 55, p. 375–97, 2010.

PLATA-RUEDA, A. *et al.* Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils cause toxic effects and behavior repellency response on granary weevil, *Sitophilus granaries*. **Ecotoxicologia e Segurança Ambiental**, v. 156, p. 263-270, 2018.

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

RIBEIRO, L. P. *et al.* *Annona mucosa* Jacq. (Annonaceae): a promising source of bioactive compounds against *Sitophilus zeamais* mots. (Coleoptera: curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 55, p. 6-14, 2013.

SAAD, M. M. G. *et al.* Insecticidal properties and grain protective efficacy of essential oils against stored product insects. **International Journal of Tropical Insect Science**, p. 1-10, 2022.

SAADALI, B. *et al.* Alkamides from *Artemisia dracunculus*. **Phytochemistry**, v. 58, p. 1083-1086, 2001.

SCHMUTTERER, H. Which insect pests can be controlled by application of neem seed kernel extracts under field conditions? **Zeitschrift für Angewandte Entomologie**, v. 100, p. 468–475, 1985.

SCHUBACH, S. Comparison of probit expressions for the prediction of lethality due to toxic exposure. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 8, p. 197-204, 1995.

SEIXAS, P. T. L. *et al.* Bioactivity of essential oils from *Artemisia* against *Diaphania hyalinata* and its selectivity to beneficial insects. **Scientia agricola**, v. 75, p.519-525, 2018.

SOUZA, G. *et al.* Functional morphology of the crop and proventriculus of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 106, p. 846-852, 2013.

UPADHYAY, N. *et al.* Essential oils as eco-friendly alternatives to synthetic pesticides for the control of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: tenebrionidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 21, p. 282-297, 2018.

VENDRAMIM, J. D.; CASTIGLIONI, E. Aleloquímicos, resistência de plantas e plantas inseticidas. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. **Bases e técnicas do manejo de insetos**, p. 113-128, 2000.

WANG, Z. *et al.* Trans-anethole is a potent toxic fumigant that partially inhibits rusty grain beetle (*Cryptolestes ferrugineus*) acetylcholinesterase activity. **Industrial Crops and Products**, v. 161, 2021.

ZENOOZI, Z. M. *et al.* A review of effective essential oils and their biologically active compounds to protect the safety of food stored against insect pests. **Journal of Essential Oil Research**, p. 111-112, 2022.