



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Croton grewioides* E SEUS
COMPOSTOS MAJORITÁRIOS: EFEITOS LETAIS E
SUBLETAIS SOBRE O CUPIM *Nasutitermes corniger*
(BLATTODEA: ISOPTERA)**

GEOVÂNIA DOS SANTOS MENEZES



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

GEOVÂNIA DOS SANTOS MENEZES

**ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Croton grewoides* E SEUS COMPOSTOS
MAJORITÁRIOS: EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS SOBRE O CUPIM *Nasutitermes
corniger* (BLATTODEA: ISOPTERA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Leandro Bacci

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2023

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

M543o Menezes, Geovânia dos Santos
Óleos essenciais de *Croton grewoides* e seus compostos majoritários : efeitos letais e subletais sobre o cupim *Nasutitermes corniger* (Blattodea : Isoptera) / Geovânia dos Santos Menezes ; orientador Leandro Bacci. – São Cristóvão, SE, 2023.
45 f. il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Universidade Federal de Sergipe, 2023.

1. Agrobiodiversidade. 2. Inseticidas vegetais. 3. Testes de toxicidade. 4. Térmita. 5. Essências e óleos essenciais. I. Bacci, Leandro, orient. II. Título.

CDU 631.95:595.731

GEOVÂNIA DOS SANTOS MENEZES

**ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Croton grewioides* E SEUS COMPOSTOS
MAJORITÁRIOS: EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS SOBRE O CUPIM *Nasutitermes
corniger* (BLATTODEA: ISOPTERA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 31 de julho de 2023.

Dr. Alisson da Silva Santana (UNL)

Dr. Jefferson Elias da Silva (UFS)

Prof. Dr. Leandro Bacci
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2023

*Aos meus pais José Vicente e Gicelia;
A minha avó Joventina e meus avós in
memorian*
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, pela saúde, por sua misericórdia e amor imensurável e por mais essa conquista: “Posso, tudo posso Naquele que me fortalece”.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, pela oportunidade de realizar o mestrado.

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

Ao meu orientador, professor Dr. Leandro Bacci, pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos e pelo exemplo de dedicação à pesquisa. À professora Dra. Ana Paula Albano Araújo pela colaboração na correção do artigo científico.

Ao Dr. Jefferson Elias pela colaboração em todas as etapas deste trabalho e correções na parte escrita.

A todos os professores que compõem o programa de pós-graduação, obrigada pelos grandes ensinamentos.

À banca examinadora, pelas contribuições.

Aos meus pais José Vicente e Gicelia, gratidão pelas orações, carinho, e por sempre me encorajarem a nunca desistir dos meus objetivos. Aos meus irmãos Daniela, Vannessa e Gabriel. E as minhas sobrinhas queridas, Anna Letícia e Alice Maria. Obrigada pelo carinho, incentivo e apoio. Amo todos vocês.

A todos os colegas do laboratório Clínica Fitossanitária, pelo auxílio e dedicação em todas os experimentos. Obrigada Valfran, Heloísa, Swamy, Jaciele, Camilla, Sandy, Tainara, Lucas, Rômulo e Vinícius. Aproveito para agradecer também as estagiárias da UFS-Glória, Jane e Aline.

Por fim, agradeço aos demais familiares e a todos os amigos que torceram e me incentivaram para que esta conquista fosse possível.

BIOGRAFIA

GEOVÂNIA DOS SANTOS MENEZES, filha de José Vicente de Menezes Filho e Gicelia Santana dos Santos Menezes, nasceu em Aracaju – Sergipe no dia 20 de setembro de 1994.

Cursou o ensino médio no Instituto Federal de Sergipe, onde também formou-se Técnica em Alimentos no ano de 2013.

Em março de 2014 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Sergipe, sendo bolsista de iniciação científica e extensão na área de fitopatologia. Posteriormente também foi bolsista no projeto “Implantação de Hortas Escolares” vinculado à Secretaria de Estado da Educação e Cultura de Sergipe.

Em agosto de 2021, ingressou no curso de mestrado em Agricultura e Biodiversidade, defendendo sua dissertação em julho de 2023.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
4. ARTIGO 1: ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Croton grewioides</i> E SEUS COMPOSTOS MAJORITÁRIOS: EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS SOBRE O CUPIM <i>Nasutitermes</i> <i>corniger</i> (BLATTODEA: ISOPTERA)	12
.....	
Resumo	12
Abstract	13
4.1. Introdução	14
4.2. Material e Métodos	15
4.3. Resultados	18
4.4. Discussão	19
4.5. Referências bibliográficas	21
5. ANEXOS	25
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Cromatograma dos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i>	25
2	Curvas de sobrevivência e tempos letais (TL ₅₀) do cupim <i>Nasutitermes corniger</i> expostos às DL ₉₀ e CL ₉₀ dos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> (EO <i>Cg112</i> e EO <i>Cg126</i>) e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>) por contato (A) e fumigação (B). TL ₅₀ = tempo letal necessário para matar 50% da população.	27
3	Comportamento individual de autolimpeza do cupim <i>Nasutitermes corniger</i> expostos às DL ₃₀ dos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> (EO <i>Cg112</i> e EO <i>Cg126</i>) e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>). CTR = controle. Os círculos representam os percentis 5° e 95°, as linhas do erro os percentis 10° e 90° e as extremidades da caixa os percentis 25° e 75°. As medianas (linhas roxas dentro do boxplots) seguidas por asterisco, diferem do controle pelo teste de Dunn's a $P < 0,05$	28
4	Comportamentos coletivos de antenação (A), limpeza (B), evitação (C), agregação (D) e butting (E) do cupim <i>Nasutitermes corniger</i> expostos às DL ₃₀ dos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> (EO <i>Cg112</i> e EO <i>Cg126</i>) e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>) por contato. CTR = controle. Os círculos representam os percentis 5° e 95°, as linhas do erro os percentis 10° e 90° e as extremidades da caixa os percentis 25° e 75°. As medianas seguidas por asterisco, diferem do controle pelo teste de Dunn's a $P < 0,05$	29
5	Comportamentos de deslocamento [velocidade (A), distância (B), velocidade angular (C) e meandro (D)] do cupim <i>Nasutitermes corniger</i> expostos às DL ₃₀ dos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>) por contato. CTR = controle. Os círculos no gráfico representam 5° e 95° percentis. As linhas de erro representam os 10° 90° percentis, e as bordas da caixa são os 25° e 75° percentis. As medianas seguidas por asterisco, diferem do controle pelo teste de Dunn's a $P < 0,05$	30
6	Trilhas representativas (gráfico 3D) do deslocamento do cupim <i>Nasutitermes corniger</i> expostos às DL ₃₀ dos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>) por contato.....	31
7	Comportamento de irritabilidade dos cupins <i>Nasutitermes corniger</i> expostos em arenas parcialmente tratadas com óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>) por contato. Histogramas seguidos por asterisco indicam que houve diferença entre os tempos de permanência do cupim entre o lado tratado e não-tratado pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$). CTR = controle.	32

LISTA DE TABELAS**ARTIGO 1**

Tabela		Página
1	Toxicidade aguda após 72h de exposição por contato e 48h de exposição por fumigação do cupim <i>Nasutitermes corniger</i> expostos aos óleos essenciais dos acessos <i>Cg112</i> e <i>Cg126</i> de <i>Croton grewoides</i> (EO <i>Cg112</i> e EO <i>Cg126</i>) e seus compostos majoritários eugenol (<i>Eg</i>) e metil eugenol (<i>ME</i>)	26

RESUMO

MENEZES, Geovânia dos Santos. **Óleos essenciais de *Croton Grewioides* e seus compostos majoritários: efeitos letais e subletais sobre o cupim *Nasutitermes corniger* (Blattodea: Isoptera).** São Cristóvão: UFS, 2023. 45p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

O cupim *Nasutitermes corniger* (Termitidae) é uma importante praga para a região Neotropical, provocando danos em ambientes agrícolas, florestais e urbanos. O manejo dos cupins é realizado principalmente por meio de inseticidas organossintéticos. Porém o uso intenso desses produtos tem ocasionado efeitos adversos, como contaminação da água, do solo e de organismos não-alvo. Nesse cenário, os óleos essenciais de plantas são apontados como uma alternativa mais sustentável aos inseticidas convencionais. Neste estudo avaliamos os efeitos letais e subletais dos acessos do óleo essencial de *Croton grewioides* (Euphorbiaceae) Cg112 e Cg126, e de seus constituintes majoritários eugenol e metil eugenol sobre o cupim *N. corniger*. Foram realizados testes de toxicidade por aplicação tópica e fumigação (DLs e CLs), testes de sobrevivência e testes comportamentais individuais e coletivos. O eugenol e o OE do acesso Cg126 foram os compostos mais tóxicos, sendo necessários 0,67 e 1,94 µg/ mg por contato e 1,21 e 1,55 mg/L por fumigação para causar a mortalidade de 50% dos cupins. Em ambas as vias de exposição, todos os tratamentos reduziram a sobrevivência dos insetos ao longo do tempo. Os comportamentos de antenação, allogrooming, evitação, agregação e butting foram afetados em relação ao controle. Todos os tratamentos causaram repelência e afetaram o caminhamento dos cupins diminuindo sua velocidade e distância percorrida. Esses resultados mostram que o óleo essencial de *C. grewioides* e seus compostos majoritários apresentam potenciais promissores e podem vir a ser utilizados na síntese de novas moléculas inseticidas.

Palavras-chave: toxicidade, inseticidas botânicos, Termitidae, Nasutitermitinae, manejo.

* Comitê Orientador: Leandro Bacci – UFS (Orientador).

ABSTRACT

MENEZES, Geovânia dos Santos. **Essential oils of *Croton Grewioides* and its major compounds: lethal and sublethal effects on the termite *Nasutitermes corniger* (Blattodea: Isoptera)**. São Cristóvão: UFS, 2023. 45p. (Thesis – Master of Science in Agriculture and Biodiversity).*

The termite *Nasutitermes corniger* (Termitidae) is an important pest in Neotropical regions, causing damage in agricultural, forest, and urban environments. The termite is managed mainly by means of synthetic organic insecticides. However, intense use of these products has had adverse effects, such as contamination of water and soil and harm to non-target organisms. In this scenario, plant essential oils (EOs) are seen as a more sustainable alternative to conventional insecticides. In this study, we evaluated the lethal and sublethal effects of the essential oil accessions of *Croton grewioides* (Euphorbiaceae) Cg112 and Cg126, and its major constituents (eugenol and methyl eugenol) on the termite *N. corniger*. Toxicity tests by topical application (LDs) and fumigation (LCs), survival tests, and individual and collective behavioral tests were carried out. Eugenol and EO from accession Cg126 were the most toxic compounds, requiring 0.67 and 1.94 µg/mg by contact and 1.21 and 1.55 mg/L by fumigation, respectively, to cause 50% mortality of termites. In both exposure routes, all treatments reduced insect survival over time. Antennation, allogrooming, avoidance, aggregation, and butting behaviors were affected in relation to the control. All treatments caused repellency and affected termites walking movement, decreasing their speed and distance traveled. These results show that the essential oil of *C. grewioides* and its major compounds have promising potential and may be used in the synthesis of new insecticide molecules.

Key-words: toxicity, botanical insecticides, Termitidae, Nasutitermitinae, management.

* Supervising Committee: Leandro Bacci (Advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os cupins apresentam funções ecológicas importantes, participando da decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Khan; Ahmad, 2018). Porém, devido à atividade alimentar, algumas espécies são consideradas pragas, ocasionando danos em sistemas florestais e agrícolas, principalmente nas culturas do arroz, soja, milho, café, mandioca, cana-de-açúcar e eucalipto (Constantino, 2002). Em ambientes urbanos esses insetos podem prejudicar a estrutura de edifícios e prédios históricos, provocando danos irreversíveis (Albuquerque *et al.*, 2012).

Nasutitermes corniger (Motschulsky, 1855) é uma espécie de cupim arborícola pertencente ao gênero *Nasutitermes*, que possui ampla distribuição geográfica no continente americano, sendo considerado o principal cupim praga de ambientes urbanos (Constantino, 2020).

Inseticidas sintéticos têm sido normalmente aplicados em ninhos para o controle de *N. corniger*, porém, no Brasil, não há produtos registrados para mitigar a ação dessa espécie (Agrofit, 2023). Dessa forma, os compostos botânicos surgem como uma alternativa promissora. Óleos essenciais são produzidos pelo metabolismo secundário de plantas e são formados por uma mistura complexa de compostos orgânicos, principalmente monoterpenos e sesquiterpenos, que presentes em diferentes concentrações propiciam efeitos letais e subletais a inúmeras pragas (Pavela *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2017; Tak; Isman, 2017).

Os constituintes dos óleos essenciais apresentam alta volatilidade e baixa persistência ao meio ambiente, apresentando, normalmente, menor toxicidade para organismos não-alvo (Lima *et al.*, 2013; Tak; Isman, 2017).

Croton grewioides Baill, conhecido popularmente como “canelinha-de-cheiro”, é uma planta aromática encontrada no semiárido do Brasil (Silva *et al.*, 2010), que apresenta propriedades bioativas comprovadas contra insetos pragas, como *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) e *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Santos *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2008). Além disso, já foi evidenciada sua atividade acaricida (Castro *et al.*, 2019; Santana *et al.*, 2021) e antibacteriana (Rodrigues *et al.*, 2023).

Os compostos majoritários do óleo essencial de *C. grewioides* - eugenol e metil eugenol - apresentam utilização da indústria alimentícia e farmacológica, como também ação inseticida (Oliveira *et al.*, 2020).

Nesse trabalho, objetivamos avaliar os efeitos letais e subletais dos óleos essenciais de dois acessos de *Croton grewioides* e seus constituintes majoritários sobre indivíduos de *N. corniger* em duas vias de exposição (tópica e fumigação). Foram determinadas as doses e concentrações para matar 30%, 50% e 90% dessa população, além dos tempos letais para causar mortalidade em 50% da população estudada e os efeitos subletais sobre os comportamentos individuais, coletivos e de irritabilidade, bem como seus efeitos no comportamento de deslocamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bioecologia e comportamento dos cupins

Os cupins (Blattodea: Isoptera) são insetos que desempenham funções ecológicas importantes como decompositores e engenheiros do ecossistema (Beccaloni; Eggleton, 2013; Almeida *et al.*, 2017; Khan; Ahmad, 2018). Atuam na trituração, decomposição, humificação e mineralização de recursos celulósicos, apresentando como fonte alimentar uma variedade de materiais orgânicos em diferentes estágios de decomposição, como madeira (dura a macia), plantas herbáceas, serrapilheira, excrementos e carcaças de animais, líquens e húmus (Lima; Costa-Leonardo, 2007).

Atualmente existem cerca de 3.000 espécies descritas de cupins. Em ecossistemas tropicais e subtropicais, os cupins representam cerca de 10% da biomassa animal total e 95% da biomassa de insetos do solo (Bignell, 2006). A classificação divide essas espécies em nove famílias: Archotermopsidae, Hodotermitidae, Kalotermitidae, Mastotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, Stolotermitidae, Stylostermitidae e Termitidae (Krishna *et al.*, 2013).

Dessas, apenas quatro tem ocorrência no Brasil, sendo elas: Kalotermitidae, Serritermitidae, Rhinotermitidae e Termitidae (esta equivale a cerca de 85% das espécies conhecidas no país) (Constantino, 1999).

Térmitas ou cupins são insetos eussociais, a eussocialidade é descrita pela sobreposição de gerações, cuidado cooperativo com a prole e divisão de tarefas (Korb, 2008; Eggleton, 2010). Esses indivíduos são classificados em castas com funções específicas dentro da colônia. Os indivíduos reprodutores sexuais ápteros, formados pelo rei e rainha (casal real), possuem a função de reproduzir dentro do cupinzeiro, já os indivíduos sexuais alados são reprodutores responsáveis pela formação de novos cupinzeiros (Constantino, 1999).

Ademais, temos os indivíduos estéreis de ambos os sexos, operários e soldados. Os operários, casta mais numerosa da colônia, realizam o forrageamento em busca de recurso alimentar, alimentando as outras castas (casal real e soldados), através de trofolaxia, além de serem responsáveis pela construção, reparação e limpeza de ninhos e túneis (Constantino, 1999). A casta dos soldados tem a função de defender a colônia e representam um instar terminal originado de operárias ou larvas após duas mudas consecutivas. A primeira muda gera um instar imaturo, denominado de pré-soldado, que muda novamente para formar o soldado (Costa-Leonardo *et al.*, 2013).

Normalmente, a dispersão e fundação de novas colônias ocorre no início da estação chuvosa (Martius; Bandeira; Medeiros, 1996). Após a revoada, um casal de alados perde as asas e inicia a construção da câmara nupcial inicial, de modo que ocorre a primeira cópula, originando as operárias que iniciam o processo de construção do ninho (Eggleton, 2010).

Os térmitas se comunicam dentro da colônia de forma diversificada e esta comunicação envolve sinalizações químicas e físicas. Frente às ameaças de competidores, predadores e/ou patógenos, os cupins apresentam mecanismos para realizar uma comunicação de alarme (Mendonça *et al.*, 2023). Essa comunicação explora sinais químicos, a exemplo de feromônio de alarme, agindo no auxílio e na coordenação de defesa da colônia (Mitaka; Akino, 2021; Cristaldo *et al.*, 2015; Richard; Hunt, 2013). Essas secreções são produzidas pelas glândulas exócrinas dos soldados, localizadas na cabeça (Sant'ana; Cruz; Santo, 2016; Costa-Leonardo; Silva; Laranjo, 2023).

De maneira física, sinais vibroacústicos são realizados em movimentos vibratórios que podem ser longitudinais (sacudir) e verticais (bater). Esses sinais são transmitidos através de vibrações produzidas quando os insetos atingem o solo com a cabeça ou com o abdômen (Cristaldo *et al.*, 2015). Esses comportamentos informam distúrbios na colônia, como a presença de competidores (Evans *et al.*, 2009), e a qualidade do alimento (Evans *et al.*, 2005).

A utilização de estratégias ativas e passivas pelos cupins, os ajudam na defesa contra ameaças. Os elementos ativos consistem em adaptações de defesa comportamental e estrutural

dos soldados (Sobotnik; Jirosová; Hanus, 2010). Dentre os elementos passivos é possível citar a vida em túneis, galerias e ninhos, separando os térmitas de possíveis predadores (Noirot; Darligton, 2000).

2.2 O status praga dos cupins

A crescente urbanização tem causado uma alteração gradual dos habitats naturais por espaços urbanos. Atrelado a isso, a diminuição da diversidade de vegetação favorece a instalação ou seleção de espécies que podem vir a se tornar pragas (Milano; Fontes, 2002).

Nesse sentido, 77 espécies de cupins das famílias Rhinotermitidae, Termitidae, Serritermitidae e Kalotermitidae são consideradas pragas na América do Sul (Constantino, 2002; Rust; Su, 2012). Essas espécies ocasionam danos em ambientes rurais, nas culturas do arroz, soja, milho, café, mandioca, cana-de-açúcar, árvores frutíferas (Constantino, 2002), e eucalipto (Sales *et al.*, 2010). Em áreas urbanas ocasionam danos em edifícios e prédios históricos, provocando perdas irreversíveis (Alburquerque *et al.*, 2012).

Níveis de dano econômico para espécies de cupins ainda não foram definidos. Os custos em razão dos danos causados por cupins são variáveis muito importantes, porém difíceis de serem estimadas, dessa forma, ocorre dificuldade de se estabelecer níveis de dano econômico para esses insetos (Rust; Su, 2012).

2.3 *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae)

A família Termitidae compreende oito subfamílias e compõe cerca de 85% das espécies de cupins no Brasil, com quatro subfamílias presentes: Termitinae, Apicotermitinae, Nasutitermitinae e Syntermitinae. Os indivíduos pertencentes à família Termitidae constroem ninhos complexos e se alimentam de madeira, de folhas e de húmus (Constantino, 1999).

Na subfamília Nasutitermitinae estão incluídos os cupins do gênero *Nasutitermes*. Este gênero possui 247 espécies catalogadas, sendo a espécie *Nasutitermes corniger* (Motschulsky, 1855) uma das principais. É uma espécie com grande distribuição geográfica, com ocorrência no continente americano desde o México até a Argentina (Constantino, 2020).

As colônias de *N. corniger* podem chegar a totalizar 900.000 indivíduos, sendo composta por soldados e operários. Os soldados abrangem cerca de 20% da população de uma colônia (Thorne, 1984).

Nasutitermes corniger é uma espécie de cupim arborícola. Seus ninhos são feitos a partir de madeira mastigada e de outros materiais, como fluidos fecais, fluidos salivares e areia cimentada (Thorne; Haverty, 2000). Os ninhos são policólicos, ou seja, apresenta ninhos divididos em satélites e interligados por galerias e túneis, que possibilitam um aumento na área de forrageamento (Costa-Leonardo, 2002).

2.4 Controle convencional de cupins

Existem algumas estratégias para o controle de cupins em ambientes urbanos e agrícolas. O controle químico, configura a forma mais utilizada para reduzir a infestação atualmente (Verma *et al.*, 2009).

O método habitual utilizado para o controle de cupins subterrâneos é a utilização de iscas tóxicas (Shults *et al.*, 2021). No entanto, agentes fumigantes com os ingredientes ativos dióxido de carbono, fosfina e fluoreto de sulfúrio, em ambientes fechados, mostram eficácia no controle de cupins de madeira seca, colônias aéreas de cupins subterrâneos e espécies de cupins arbóreos (Verma *et al.*, 2009). Outro método de controle é a utilização de injeção localizada de inseticidas em galerias de cupins em madeira infestada (Woodrow; Grace; Oshiro, 2006; Woodrow; Grace, 2007).

Estima-se que anualmente os custos anuais de controle de cupins-praga sejam cerca de US\$ 40 bilhões (Rust; Su, 2012). Os ingredientes ativos mais utilizados como termiticidas são o imidacloprido, tiametoxan, espinosade e permetrina, porém no Brasil não há produtos registrados para o controle de *N. corniger* (Agrofit, 2023).

A utilização indiscriminada desses compostos para o controle de pragas apresenta efeitos adversos, como contaminação do solo e da água, danos à saúde humana e a organismos não-alvo (Souza *et al.*, 2012; Elango *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2015). Desse modo, se faz necessária a utilização de novos inseticidas que sejam eficazes e ambientalmente mais seguros (Pavela, 2007).

2.5 Óleos essenciais para o controle de pragas

Baseado em discussões sobre os malefícios que o uso indiscriminado de pesticidas causa, surge a necessidade da busca por novas moléculas. Inseticidas botânicos produzidos a partir de óleos essenciais (OEs) de plantas, configuram uma alternativa aos inseticidas sintéticos, por serem considerados tóxicos para insetos-praga, mais seguros para o meio ambiente e pouco tóxicos para mamíferos (Isman, 2006; Mossa, 2016; Pavela, 2007); e compostos ativos derivados de plantas, como aqueles presentes nos OEs, podem desempenhar um papel fundamental no controle sustentável de pragas (Campolo *et al.*, 2017).

Os OEs são compostos voláteis, provenientes do metabolismo secundário de plantas, responsáveis principalmente pela proteção e defesa contra vírus, bactérias, fungos e insetos herbívoros (Isman, 2000; Bakkali *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2018). Óleos essenciais são constituídos por uma mistura complexa de substâncias envolvendo alcaloides, flavonoides, terpenoides, compostos nitrogenados e oxigenados (Isman, 2006). Os OEs podem ser extraídos de diversas estruturas da planta como folhas, flores, frutos, caule e raízes (Bizzo; Hovell; Rezende *et al.*, 2009).

O potencial inseticida de OEs têm sido relatado para diversas espécies de cupins como: *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853) (Santos *et al.*, 2017); *N. corniger* (Motschulsky, 1855) (Santos *et al.*, 2019; Lima *et al.*, 2013); *Reticulitermes speratus* (Kolbe) (Seo *et al.*, 2014); *Coptotermes formosanus* (Shiraki) (Cheng *et al.*, 2014); *Amitermes amifer* (Silvestri, 1901) e *Microcerotermes indistinctus* (Mathews, 1977) (Bacci *et al.*, 2015).

2.5.1 Óleo essencial de *Croton grewioides*

A família Euphorbiaceae apresenta importância econômica em diversos setores como alimentício, ornamental, madeireiro, farmacológico-medicinal e industrial (Oliveira, 2013). Entre os variados gêneros pertencentes a esta família, cerca de 300, o gênero *Croton* se destaca por ser o segundo maior e mais diverso (Maciel *et al.*, 2006; Nasib *et al.*, 2008). Em território brasileiro essa família de plantas possui aproximadamente 350 espécies distribuídas de forma ampla, com destaque para regiões da caatinga, cerrado e campos rupestres (Oliveira, 2013).

Classes químicas distintas foram relatadas em espécies de *Croton*, a exemplo de mono e sesquiterpenos, alcaloides, diterpenoides e substâncias fenólicas (flavanoides, lignoides e proantocinidinas). Variações químicas identificadas estão relacionadas a fatores ambientais, genéticos, bióticos e abióticos, como também à região de ocorrência e localização das plantas (Salatino *et al.*, 2007; Verma; Shukla, 2015).

De fato, diversos estudos mostram o potencial bioativo de plantas do gênero *Croton*, como atividade antibacteriana (Matias *et al.*, 2010), fungicida (Torrejón; Honores, 2016), inseticida (Silva *et al.*, 2019; Brito *et al.*, 2020), leishmanicida (Crentsil *et al.*, 2020) e uso reconhecido na medicina popular contra inflamações, problemas intestinais e gástricos (Trindade; Lameira, 2014).

Croton grewioides Baill é uma planta arbustiva (0,7-2m) conhecida popularmente como “canelinha” ou “canelinha-de-cheiro”. São plantas monoicas com látex ausente e apresentam aroma de canela notório até em material arborizado. É encontrada na região do semiárido do Brasil, ocorrendo nos estados de Alagoas, Bahia, Sergipe, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Minas Gerais. Sua ocorrência é frequente em afloramentos rochosos e em solos arenosos em altitude entre 600 – 800 m. Sua floração ocorre nos meses de fevereiro e março e sua frutificação entre abril e maio (Silva *et al.*, 2010).

Os acessos dos OEs de *C. grewioides* apresentam dentre os seus constituintes as substâncias eugenol e metil eugenol, pertencentes à classe de fenilpropanoides (Oliveira *et al.*, 2020). Esses compostos apresentam propriedades bioativas comprovadas, a exemplo de ação inseticida contra lagartas, besouros, cigarrinhas (Santos *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2002; Xu *et al.*, 2015), atividade acaricida (Castro *et al.*, 2019; Santana *et al.*, 2021) e atividade antibacteriana (Rodrigues *et al.*, 2023).

Dessa forma, tendo em vista a bioatividade dos OEs, nesse estudo avaliamos o potencial do óleo essencial de *C. grewioides* e seus compostos majoritários contra o cupim praga *N. corniger*.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFIT. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários (2003) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>. Acesso em: 20 jul.2023

ALBUQUERQUE, A. C.; MATIA, G. R. R. S.; COUTO, A. A. V. O.; OLIVEIRA, M. A. P.; VASCONCELLOS, A. Urban termites of Recife, Northeast Brazil (Isoptera). **Sociobiology**, v. 59, p. 183–188, 2012.

ALMEIDA, C. S.; CRISTALDO, P. F.; FLORENCIO, D. F.; RIBEIRO, E. J. M.; CRUZ, N. G.; SILVA, E. A.; COSTA, D. A.; ARAÚJO, A. P. A. The impact of edge effect on termite community (Blattodea: Isoptera) in fragments of Brazilian Atlantic Rainforest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, n. 3, p. 519-526, 2017.

BACCI, L.; LIMA, J. K. A.; ARAÚJO, A. P. A.; BLANK, A. F.; SILVA, I. M. A.; SANTOS, A. A.; SANTOS, A. C. C.; ALVES, P. B.; PICANÇO, M. C. Toxicity, behavior impairment, and repellence of essential oils from pepper-rosmarin and patchouli to termites. **Entomologia Experimentalis of Applicata**, v. 156, p. 66–76, 2015.

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

BECCALONI, G.; EGGLETON, P. Order Blattodea. **Zootaxa**, v. 3703, p.46-48, 2013.

BIGNELL, D. E. Termites as soil engineers and soil processors. In: KÖNIG, H.; VARMA, A. (Orgs.). **Intestinal microorganisms of termites and other invertebrates**. Springer, Berlin, p. 183–220, 2006.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p.588-594, 2009.

BRITO, F. A.; BACCI, L.; SANTANA, A. S.; SILVA, J. E.; NIZIO, D. A. C.; NOGUEIRA, P. C. L.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; MELO, C. R.; MELO, J. O.; BLANK, A. F. Toxicity and behavioral alterations caused by essential oils of *Croton tetradenius* and their major compounds on *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 137, p. 1-7, 2020.

CASTRO, K. N. C.; CHAGAS, A. C. S.; COSTA-JÚNIOR, L. M.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; RODRIGUES, T. H. S.; ANDRADE, I. M. A. Acaricidal potential of volatile oils from Croton species on *Rhipicephalus microplus*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, p. 811-815, 2019.

CAMPOLO, O.; CHERIF, A.; RICUPERO, M.; SISCARO, G.; GRISSA-LEBDI, K.; RUSSO, A.; CUCCI, L. M.; DI PIETRO, P.; SATRIANO, C.; DESNEUX, N.; BIONDI, A.; ZAPPALA, L.; PALMERI, V. Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta*: chemical properties and biological activity. **Scientific Reports**, v. 7, 2017.

CHENG, S-S.; LIN, C-Y.; CHEN, Y-J.; CHUNG, M-J.; CHANG, S-T. Insecticidal activities of *Cunninghamia konishii* Hayata against Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). **Pest Management Science**, v. 70, n. 8, p. 1215–1219, 2014.

CONSTANTINO, R. Chave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (insecta: isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 40, n. 25, p. 387-448, 1999.

CONSTANTINO, R. Online termite database, 2020. Disponível em: <http://termitologia.net/database.html>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**, v.126, p. 355–365, 2002.

COSTA-LEONARDO, A. M. **Cupins-praga: morfologia, biologia e controle**. Rio Claro: A.M.C.L., 2002.

COSTA-LEONARDO, A. M.; LARANJO, L. T.; JANEI, V. J.; HAIFIG, I. The fat body of termites: Functions and stored materials. **Journal of Insect Physiology**, v. 59, p. 577-587, 2013.

COSTA-LEONARDO, A. M.; SILVA, I. B.; LARANJO, L. T. Termite exocrine systems: a review of current knowledge. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 171, p. 325-342, 2023.

CRENTSIL, J. A.; YAMTHE, L R. T.; ANIBEA, B. Z.; BRONIS, E.; KWOFIES, S. K.; TETTEH, J. K. A.; OSEI-SAFO, D. Leishmanicidal potential of hardwickiic acid isolated from *Croton sylvaticus*. **Frontiers in Pharmacology**, v.11, p. 1-15, 2020.

CRISTALDO, P. F.; JANDAK, V.; KUTALOVÁ, K., RODRIGUES, V. B.; BROTHÁNEK, M.; JIRICEK, O., SOUZA, O.; SOBOTNIK, J. The nature of alarm communication in *Constrictotermes cyphergaster* (Blattodea: Termitoidea: Termitidae): the integration of chemical and vibroacoustic signals. **Biology Open**, v. 4, n. 12, p. 1649–1659, 2015.

EGGLETON, P. An Introduction to Termites: biology, taxonomy and functional Morphology. In: BIGNELL, D. E.; ROISIN, Y.; LO, N. (Eds). **Biology of Termites: A Modern Synthesis**, Springer, p.1-26, 2010.

ELANGO, G.; RAHUMAN, A. A.; KAMARAJ, C.; BAGAVAN, A.; ABDUZ ZAHIR, A.; SANTHOSHKUMAR, T.; MARIMUTHU, S.; VELAYUTHAM, K.; JAYASEELAN, C.; KIRTHI, A.V.; RAJAKUMAR, G. Efficacy of medicinal plant extracts against Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus*. **Ind. Crops Prod**, v. 36, p. 524–530, 2012.

EVANS, T. A.; INTA, R.; LAI, J. C. S.; PRUEGER, S.; FOO, N. W.; FU, E. W.; LENZ, M. Termites eavesdrop to avoid competitors. **Proceedings of the Royal Society**, v. 276, p. 4035-4041, 2009.

EVANS, T. A.; LAI, J. C. S.; TOLEDANO, E.; MCDOWALL, L.; RAKOTONARIVO, S.; LENZ M. Termites assess wood size by using vibration signals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, p. 3732- 3737, 2005.

HUANG, Y.; HO, S.H.; LEE, H.C.; YAP, Y.L. Insecticidal properties of eugenol, isoeugenol and methyleugenol and their effects on nutrition of *Sitophilus zeamais* Motsch.(Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 38, n. 5, p. 403-412, 2002.

- ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, v. 51, p. 45–66, 2006.
- ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, p. 603-608, 2000.
- KHAN, M. A.; AHMAD, W. Termites: An Overview. In: KHAN, M. A.; AHMAD, W.(eds). **Termites and Sustainable Management**. India, 2018. p. 1-25.
- KORB, J. Termites, hemimetabolous diploid white ants? **Frontiers in Zoology**, v. 5, n.15, 2008.
- KRISHNA, K.; GRIMALDI, D. A.; KRISHNA, V.; ENGEL, M. S. Treatise on the Isoptera of the World. **The Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 1, p. 1-200, 2013.
- LIMA, J. K. A.; ALBUQUERQUE, E. L. D.; SANTOS, A. C. C.; OLIVEIRA, A. P.; ARAÚJO, A. P. A.; BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. DE F.; ALVES, P. B.; SANTOS, D. DE A.; BACCI, L. Biototoxicity of some plant essential oils against the termite *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). **Industrial Crops and Products**, v. 47, p. 246–251, 2013.
- LIMA, J. T.; COSTA-LEONARDO, A. M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, 2007.
- MACIEL, M. A. M.; CORTEZ, J. K. P. C.; GOMES, F. E. S. O gênero *Croton* e aspectos relevantes de diterpenos clerodanos. **Revista Fitos**, v. 2, n. 3, p. 54-73, 2006.
- MARTIUS, C.; BANDEIRA, A. G.; MEDEIROS, L. G. S. Variation in térmite alate swarming in rain forests os central amazonia. **Ecotropica**, v. 2, p. 1-11, 1996.
- MATIAS, E. F. F.; SANTOS, K. K. A.; ALMEIDA, T. S.; COSTA, J. G. M.; COUTINHO, H. D. M. Atividade antibacteriana *In vitro* de *Croton campestris* A., *Ocimum gratissimum* L. e *Cordia verbenacea* DC. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 3, p. 294-298, 2010.
- MENDONÇA, T. H. C.; SILVA, C. R.; WATANABE, S. Y. M.; SILVA, A. N. F.; SANTOS, R. E. C.; CRISTALDO, P. F. How to perceive the insecticide? The Neotropical termite *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae) triggers alert behavior after exposure to imidacloprid. **Behavioural Processes**, v. 209, p.1-7, 2023.
- MILANO, S.; FONTES, L. R. Controle de cupins: Inteligência humana x sabedoria natural. In: **Cupim e cidade: implicações ecológicas e controle**. São Paulo, Brasil, p.21-32, 2002.
- MITAKA; Y.; AKINO, T. A review of termite pheromones:multifaceted, context-dependent,and rational Chemical communications. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 8, 2021.
- MOSSA, A. T. H. Green Pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 5, p. 354–378, 2016.
- NASIB, A.; ALI, K.; KHAN, S. In vitro propagation of croton (*Codiaeum variegatum*). **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 1, p. 99-104, 2008.

NOIROT, C.; DARLIGTON, J. P. E. C. Termites nest: architecture, regulation and defence. In: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. (Eds.). **Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology**. London: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 121–139.

OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, A. A.; SANTANA, A. S.; LIMA, A. P. S.; MELO, C. R.; SANTANA, E. D. R.; SAMPAIO, T. S.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, v.112, p. 33–38, 2018.

OLIVEIRA, D. G. A família Euphorbiaceae Juss. em um fragmento de Caatinga em Sergipe. **Scientia Plena**, v. 9, n. 4, 2013.

OLIVEIRA, S. D. D. S.; SILVA, A.M.O.; BLANK, A.F.; NOGUEIRA, P.C.L.; NIZIO, D.A.C.; PEREIRA, C.S.A. Radical scavenging activity of the essential oils from *Croton grewoides* Baill accessions and the major compounds eugenol, methyl eugenol and methyl chavicol. **Journal of Essential Oil Research**, v. 33, n. 1, p. 94-103, 2020.

PAVELA, R. Possibilities of botanical insecticides exploitation in plant protection. **Pesticide Technology**, v. 1, p. 47-52, 2007.

PAVELA, R.; STEPANYCHEVA, E.; SHCHENIKOVA, A.; CHERMENSKAYA, T.; PETROVA, M. Essential oils as prospective fumigants against *Tetranychus urticae* Koch. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 755–761, 2016.

RICHARD, F. J.; HUNT, J. H. Intracolony chemical communication in social insects. **Insectes Sociaux**, v. 60, p. 275-291, 2013.

RODRIGUES, T. C.; GOIS, I. B.; FERNANDES, R. P. M.; BLANK, A. F.; SANDES, R. D. D.; NETA, M. T. S. L.; ARRIGONI-BLANK, M. F. Chemical characterization and antimicrobial activity of essential oils from *Croton grewoides* Baill. accessions on the phytopathogen *Xanthomonas campestris* pv. *campestres*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 193, p. 1-11, 2023.

RUST, M. K.; SU, N.-Y. Managing Social Insects of Urban Importance. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 355–375, 2012.

SALATINO, A.; FARIA S, M. L.; NEGRI, G. Traditional uses, chemistry and pharmacology of *Croton* species (Euphorbiaceae). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, p. 11-33, 2007.

SALES, M. J. D.; MATOS, W. C.; REIS, Y. T.; RIBEIRO, G. T. Frequência e riqueza de cupins em áreas de plantio de eucalipto no litoral norte da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1351-1356, 2010.

SANTA'NA, L. P.; CRUZ, C. C.; SANTO, C. A. Local de produção e composição dos feromônios de trilha e sexual em cupins (blattodea: isoptera): uma revisão. **Revista Unimontes Científica**, v. 18, n.1, 2016.

SANTANA, M. F.; CÂMARA, C. A. G.; MONTEIRO, V. B.; MELO, J. P. R.; MORAES, M. M. Bioactivity of essential oils for the management of *Tetranychus urticae* Koch and selectivity on its natural enemy *Neoseiulus californicus* (McGregor): A promising combination for agroecological systems. **Acarologia**, v. 61, n. 3, p. 564-576, 2021.

SANTOS, A. A.; MELO, C. R.; OLIVEIRA, B. M. S.; SANTANA, A. S.; SANTOS, A. C. C.; SAMPAIO, T. S.; BLANK, A. F.; CRISTALDO, P. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Acute Toxicity and Sub-lethal Effects of the Essential Oil of *Aristolochia trilobata* and Its Major Constituents on *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae). **Neotropical Entomology**, p. 1-7, 2019.

SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, B. M. S.; MELO, C. R.; LIMA, A. P. S.; SANTANA, E. D. R.; BLANK, A. F.; PICANÇO, M. C.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 436-441, 2017.

SANTOS, N. C.; SILVA, J. E. da.; SANTOS, A. C. C.; DANTAS, J. O.; TAVARES, S. R. S. A.; ANDRADE, V. S.; OLIVEIRA, S. D. S.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Bioactivity of essential oils from *Croton grewoides* and its major compounds: toxicity to soybean looper *Chrysodeixis includens* and selectivity to the predatory stink bug *Podisus nigrispinus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 18798-18809, 2023.

SEO, S. M.; KIM, J.; KOH, S. H.; AHN, Y. J.; KANG, K. S.; PARK, I. K. Fumigant toxicity and acetylcholinesterase inhibitory activity of 4 Asteraceae plant essential oils and their constituents against Japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 113, n. 1, p. 55-61, 2014.

SILVA, C. G. V.; ZAGO, H. B.; JÚNIOR, H. J. G. S.; CAMARA, C. A. G.; OLIVEIRA, J. V.; BARROS, R.; SCHWARTZ, M. O. E.; LUCENA, M. F. A. Composition and insecticidal activity of the essential oil of *Croton grewoides* Baill. against mexican bean weevil (*Zabrotes subfasciatus* Boheman). **Journal of Essential oil Research**, v. 20, p. 179-182, 2008.

SILVA, J. S.; SALES, M.F.; GOMES, A.P.S.; CARNEIRO-TORRES, D.S. Sinopse das espécies de *Croton* L. (Euphorbiaceae) no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, p. 441-453, 2010.

SILVA, T. L. S.; OLIVEIRA, C. R. F.; MATOS, C. H. C.; BADJI, C. A.; MORATO, R. P. Leaf essential oil from *Croton Pulegiodoros* baill shows insecticidal activity against *Sitophilus Zeamais* Motschulsky. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 354-363, 2019.

SHULTS, P.; RICHARDSON, S.; EYER, P. A.; CHURA, M.; BARREDA, H.; DAVIS, R. W.; VARGO, E. L. Area-wide elimination of subterranean termite colonies using a novaluron bait. **Insects**, v. 12, p. 1-12, 2021.

SOBOTNIK, J.; JIROSOVÁ, A.; HANUS, R. Chemical warfare in termites. **Journal of Insect Physiology**, v. 56, p. 1012-1021, 2010.

SOUZA, C. R.; SARMENTO, R. A.; VENZON, M.; BARROS, E. C.; SANTOS, G. R.; CHAVES, C. C. Impact of insecticides on non-target arthropods in watermelon crop. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1789-1802, 2012.

TAK, J. H.; ISMAN, M. B. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 786-792, 2017.

THORNE, B. L.; HAVERTY, M. I. Nest growth and survivorship in three species of neotropical *Nasutitermes* (Isoptera: Termitidae). **Environmental Entomology**, v. 29, n. 2, p. 256-264, 2000.

TORREJÓN, E. M. V.; HONORES, M. J. C. Efecto antifúngico *in vitro* del látex de *Croton lechleri* (sangre de grado) frente a *Candida albicans* ATCC 10231. **Pueblo Cont**, v. 27, p. 89-94, 2016.

TRINDADE, M. T.; LAMEIRA, O. A. Espécies úteis da família Euphorbiaceae no Brasil. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 19, n. 4, p. 1-19, 2014.

VERMA, M.; SHARMA, S.; PRASAD, R. Biological alternatives for termite control: A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, p. 959–972, 2009.

VERMA, N.; SHUKLA, S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 2, n. 4, p. 105-113, 2015.

WOODROW, R. J.; GRACE, J. K. Efficacy of localized chemical treatments for *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae) in naturally infested lumber. **Proceedings of the Hawaiian Entomological Society**, v. 39, p. 149–152, 2007.

WOODROW, R. J.; GRACE, J. K.; OSHIRO, R. J. Comparison of localized injections of spinosad and selected insecticides for the control of *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae) in naturally infested structural mesocosms. **Journal of Economic Entomology**, v. 99, n. 4, p. 1354–62, 2006.

WU, L.; HUO, X.; ZHOU, X.; ZHAO, D.; HE, W.; LIU, S.; LIU, H.; FENG, T.; WANG, C. Acaricidal activity and synergistic effect of thyme oil constituents against carmine spider mite (*Tetranychus Cinnabarinus* (Boisduval)). **Molecules**, v. 22, n. 11, p. 1873, 2017.

XU, H.-X.; ZHENG, X. S.; YANG, Y. J.; TIAN, J. C.; LU, Y. H.; TAN, K. H.; LU, Z. X. Methyl eugenol bioactivities as a new potential botanical insecticide against major insect pests and their natural enemies on rice (*Oriza sativa*). **Crop Protection**, v. 72, p. 144-149, 2015.

ZHANG, X.; LIAO, X.; MAO, K.; ZHANG, K.; WAN, H.; LI, J. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis of insecticides in field populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (stål) in China 2012–2014. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.132, p.13-20, 2015.

4. ARTIGO 1

ÓLEOS ESSENCIAIS DE *CROTON GREWIOIDES* E SEUS COMPOSTOS MAJORITÁRIOS: EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS SOBRE O CUPIM *NASUTITERMES CORNIGER* (BLATTODEA: ISOPTERA)

Periódico a ser submetido: Crop Protection

RESUMO

Nasutitermes corniger (Termitidae: Nasutitermitinae) causa danos consideráveis em estruturas de madeira, sendo considerada importante praga em ambientes urbanos. O controle desse cupim por meio de inseticidas organossintéticos pode causar impactos negativos ao ambiente e aos aplicadores. Assim, inseticidas botânicos, como os óleos essenciais de plantas, podem ser uma alternativa viável para o controle deste inseto-praga. Aqui, avaliamos a toxicidade e os efeitos subletais dos óleos essenciais de *Croton grewioides* (acessos Cg112 e Cg126) e de seus compostos majoritários eugenol e metil eugenol, sobre o cupim *N. corniger*. Bioensaios de toxicidade foram conduzidos em laboratório com a exposição dos cupins aos tratamentos por contato e fumigação. Bioensaios comportamentais avaliaram os efeitos subletais dos tratamentos sobre as interações sociais, deslocamento e irritabilidade. Todos os tratamentos mostraram efeitos letais consideráveis. O óleo essencial do acesso Cg126 e seu composto majoritário eugenol foram os compostos mais tóxicos tanto pela via de exposição por contato ($DL_{50} = 1,94$ e $0,6 \mu\text{g/g}$) quanto por fumigação ($CL_{50} = 1,55$ e $1,21 \text{ mg/L}$). Por outro lado, o óleo essencial do acesso Cg112 e o metil eugenol reduziram mais rapidamente a sobrevivência dos insetos. Em geral, os tratamentos causaram redução das interações coletivas, da distância percorrida e da velocidade; e aumentaram a velocidade angular e o número de meandros quando comparados ao controle; além de promoverem ação repelente contra *N. corniger*. Desta forma, esses compostos representam um potencial para o manejo de *N. corniger*, apontando assim uma alternativa para síntese de novos cupinicidas.

Palavras-chave: Insecta, controle de pragas, inseticidas botânicos, ecotoxicologia, forrageamento, comportamento.

ABSTRACT**ESSENTIAL OILS OF CROTON GREWIOIDES AND ITS MAJOR COMPOUNDS: LETHAL AND SUBLETHAL EFFECTS ON THE TERMITE NASUTITERMES CORNIGER (BLATTODEA: ISOPTERA)**

Nasutitermes corniger (Termitidae: Nasutitermitinae) causes considerable damage to wooden structures and is considered an important pest in urban environments. Control of this termite through synthetic organic insecticides can have negative impacts on the environment and on those applying them. Thus, botanical insecticides, such as essential oils from plants, may be a viable alternative for controlling this insect pest. In this study, we evaluated the toxicity and sublethal effects of essential oils from *Croton grewioides* (accessions Cg112 and Cg126) and its major compounds (eugenol and methyl eugenol) on the termite *N. corniger*. Toxicity bioassays were conducted in the laboratory with exposure of termites to contact and fumigation treatments. Behavioral bioassays assessed the sublethal effects of treatments on social interactions, movement, and irritability. All treatments showed considerable lethal effects. The essential oil of accession Cg126 and its major compound eugenol were the most toxic compounds both by the contact ($LD_{50} = 1.94$ and $0.6 \mu\text{g/g}$) and the fumigation ($LC_{50} = 1.55$ and 1.21 mg/L) exposure routes. In contrast, the accession Cg112 essential oil and methyl eugenol reduced insect survival more quickly. In general, treatments caused a reduction in collective interactions, distance covered, and speed. They also increased the angular velocity and the number of meanders compared to the control, and had repellent action against *N. corniger*. These compounds represent potential for management of *N. corniger*, thus indicating an alternative for synthesis of new termiticides.

Keywords: Insecta, pest control, botanical insecticides, ecotoxicology, foraging, behavior.

4.1. Introdução

Os cupins são invertebrados detritívoros que apresentam grande importância ecológica na decomposição da matéria orgânica morta (Bignell and Eggleton, 2000) e auxiliam na estruturação físico-química do solo (Ahmad et al., 2018). Por outro lado, a atividade alimentar dos cupins ocasiona prejuízos tanto em ambientes urbanos quanto em sistemas florestais e agrícolas. Somente na América do Sul, 77 espécies de cupins são relatadas como pragas. As perdas econômicas ocasionadas por esses insetos nos Estados Unidos, China, Austrália, Índia e Malásia são de aproximadamente 2,32 bilhões de dólares/ano (Ghaly and Edwards, 2011).

Nasutitermes corniger (Termitidae) tem sido considerado o principal cupim praga de ambientes urbanos devido à sua alta adaptabilidade e rápida capacidade de ocasionar deterioração da madeira, o que provoca prejuízos diretos às residências e ao patrimônio histórico (Constantino, 2002). Uma vez que o hábito críptico destes organismos pode dificultar seu controle diretamente no ninho, substâncias que causem efeitos subletais podem ter uma grande contribuição neste processo (de Mendonça et al., 2023). Por serem insetos eussociais, os cupins possuem um elaborado sistema de comunicação. Neste sentido, substâncias de ação lenta podem ser carregadas por operários e disseminadas dentro do ninho antes que os indivíduos contaminados morram. Além disso, substâncias com ação repelente podem ocasionar mudanças comportamentais, como agressividade e não reconhecimento interindividual, contribuindo assim para a redução da coesão social e consequente declínio da colônia (Bacci et al., 2015).

Inseticidas sintéticos têm sido comumente aplicados diretamente em ninhos ou túneis para o controle de *N. corniger* (Scheffrahn et al., 2014). Apesar de não existirem inseticidas registrados, alguns ingredientes ativos têm sido comumente utilizados como termiticidas, por exemplo: bifentrina, clofernapir, fipronil, imidacloprido, permetrina e cipermetrina (Verma et al., 2009). Porém, a utilização exclusiva desses compostos pode resultar em contaminação do solo e da água, organismos não-alvo e ainda causar danos à saúde humana (Elango et al., 2012; Zhang et al., 2015). Desta forma, a busca por alternativas ambientalmente mais seguras e que sejam eficazes para o controle de cupins-praga torna-se necessária.

A utilização de produtos provenientes do metabolismo secundário de plantas aromáticas tem se mostrado uma opção promissora para o controle de insetos (Dhifi et al., 2016). Os óleos essenciais (OEs) de plantas consistem em complexas misturas de componentes voláteis que podem interagir entre si, promovendo diferentes funções nas plantas, como proteção contra patógenos e herbívoros (Bakkali et al., 2008). Assim, devido à sua bioatividade, os OEs podem ser uma alternativa aos inseticidas sintéticos, uma vez que além da sua eficácia contra insetos-praga, ainda apresentam alta volatilidade, rápida degradação e, consequentemente, baixa persistência no ambiente (Isman, 2006). Alguns estudos demonstraram, por exemplo, que os OEs de *Aristolochia trilobata* L. (Aristolochiaceae), *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae) e *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. (Lamiaceae) apresentam potencial promissor para o controle de *N. corniger* (Lima et al., 2013; Santos et al., 2019).

Dentre as espécies de plantas com propriedades bioativas, a família Euphorbiaceae é considerada um dos grupos com maior valor econômico em diversos setores, como farmacológico-medicinal, alimentício, ornamental, madeireiro e industrial (Oliveira, 2013). *Croton grewioides* Baill (Euphorbiaceae) é uma planta arbustiva encontrada na região semiárida brasileira, ocorrendo em solos arenosos e afloramentos rochosos (Silva et al., 2010). O OE de *C. grewioides* contém o metil eugenol e o eugenol como os principais componentes da mistura (Oliveira et al., 2021). Esses compostos apresentam atividades analgésica, antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória, antinociceptiva e inseticida (Kamatou et al., 2012; Tang et al., 2015). Alguns estudos já demonstram a atividade inseticida do OE de *C. grewioides* contra as pragas *Chrysodeixis includens* e *Zabrotes subfasciatus* (Santos et al., 2023; Silva et al., 2008).

No presente estudo, objetivamos avaliar a toxicidade e os efeitos subletais dos OEs de dois acessos de *C. grewioides* e seus compostos majoritários sobre indivíduos de *N. corniger*,

em duas vias de exposição (contato e fumigação). Para isso, testamos as hipóteses de que os acessos do OE de *C. grewioides* e seus compostos majoritários causam: i) toxicidade; e ii) alterações comportamentais em operários e soldados de *N. corniger*.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Obtenção dos insetos

Operários e soldados do cupim *N. corniger* foram coletados em fragmentos de ninhos ($N = 5$) localizados no campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil ($10^{\circ}55'48.2''S$; $37^{\circ}06'22.5''W$). Os fragmentos de ninho contendo cupins foram acondicionados em recipientes plásticos (20 cm x 15 cm) e mantidos em condições controladas ($25 \pm 2^{\circ}C$, $70 \pm 5\%$ UR) para aclimação por 24h até a realização dos bioensaios. Durante esse período apenas água destilada foi fornecida aos cupins.

4.2.2. Obtenção dos compostos e análise química dos óleos essenciais

Os OEs de *C. grewioides* foram obtidos dos acessos Cg112 e Cg126 mantidos no Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizado na fazenda experimental Campus Rural da UFS, São Cristóvão, SE, Brasil ($10^{\circ}55'28''S$, $37^{\circ}11'59''W$, 18 m de altitude).

As folhas recém-coletadas dos dois acessos de *C. grewioides* foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a $40^{\circ}C$ por cinco dias. Os OEs foram extraídos por hidrodestilação em aparelho Clevenger modificado. Amostras de 70g de folhas secas foram destiladas por 120 min a partir da ebulição a $100^{\circ}C$. Os OEs obtidos de cada amostra foram armazenados a temperatura de $-20^{\circ}C$ até a análise das composições químicas.

Análises químicas foram realizadas em CG-MS para identificação e quantificação dos compostos presentes nos OEs (para maiores detalhes veja (Oliveira et al., 2021)). Os compostos metil eugenol e eugenol, encontrados majoritariamente nos OEs dos acessos estudados, foram adquiridos da empresa SIGMA-ALDRICH.

4.2.3 Bioensaios

Todos os testes foram realizados em laboratório da Universidade Federal de Sergipe, em salas climatizadas com condições controladas ($25 \pm 2^{\circ}C$, $70 \pm 5\%$ UR). Os bioensaios foram realizados a fim de determinar a toxicidade via contato e fumigação, alterações comportamentais individuais e coletivas, mudanças no comportamento de caminamento e irritabilidade dos tratamentos sobre os indivíduos de *N. corniger*.

Os tratamentos utilizados foram: OEs dos acessos Cg112 e Cg126 de *C. grewioides* e os compostos majoritários eugenol e metil eugenol diluídos no solvente acetona (Panreac, UV-IR-HPLC-GPC PAI-ACS, 99,9% de pureza). No controle foi utilizada apenas a acetona. Testes preliminares mostraram que este solvente não interfere na sobrevivência e no comportamento dos cupins.

4.2.3.1 Toxicidade aguda

Bioensaios de toxicidade aguda foram realizados via contato (aplicação tópica) e fumigação. O delineamento foi inteiramente casualizado, com oito (curva dose- e concentração-mortalidade e DLs e CLs) e 15 (curvas de sobrevivência e TL_{50}) repetições. Cada unidade experimental foi composta por um grupo de dez indivíduos de *N. corniger*, sendo oito operários e dois soldados (Santos et al., 2019). Os indivíduos de cada grupo sempre foram provenientes de um mesmo ninho.

Os cupins foram considerados mortos quando não apresentaram nenhum movimento após serem estimulados com pincel.

4.2.3.1.1 Exposição via contato

A massa média dos insetos utilizada para determinação das doses (μg do composto/ mg do cupim) a serem aplicadas foi obtida pela medição individual da massa de 40 operários e dez soldados de *N. corniger* utilizando balança analítica de precisão (Shimadzu, AUW220D).

Os compostos foram aplicados topicamente (0,5 μL) na região protorácica dos cupins com o auxílio de uma microseringa Hamilton com capacidade para 10 μL (Hamilton®, Reno, NV, USA). Após aplicação dos tratamentos, os cupins foram colocados em placas de Petri (Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil) ($\varnothing$ 6 x 1,5 cm) forradas com disco de papel filtro (Unifil) umedecidos com 0,4 mL de água destilada, contendo 10g de fragmento do ninho e um pedaço de algodão úmido na tampa. As placas foram recobertas por filme pvc transparente (G-útil Guarufilme, Guarulhos, SP, Brasil). Testes preliminares indicaram que estas condições mantiveram os cupins vivos por todo o período experimental.

Na determinação das curvas de dose-mortalidade e DLs, inicialmente foram utilizadas três doses (1, 10 e 20 μg do composto/mg de inseto) de cada tratamento. Posteriormente, doses intermediárias foram empregadas para traçar as curvas e obter as doses necessárias para matar 30, 50 e 90% das populações (DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀) e seus respectivos intervalos de confiança a 95% (IC₉₅). As observações de mortalidade dos insetos foram realizadas 72h após a montagem dos bioensaios.

Para determinação das curvas de sobrevivência e TL₅₀, os cupins foram expostos às DLs₉₀ de cada tratamento determinadas nos bioensaios anteriores. Inicialmente, as avaliações de mortalidade foram realizadas a cada 10 min, até completar 2h; depois foram realizadas quatro avaliações a cada 30 min até completar 6h do início do experimento; seguido por avaliações de 1h durante as primeiras 12h e a cada 2h até atingir as primeiras 24h. Posteriormente, foram realizadas três avaliações com intervalos de 4h nas 12h seguintes e de 12 em 12h até a mortalidade de 20% do controle.

4.2.3.1.2 Exposição via fumigação

Os cupins foram expostos via fumigação aos compostos por meio de um dispersor de voláteis (papel filtro de 1 cm²) acondicionado dentro de um pote de acrílico cilíndrico ($\varnothing$ 2,5 x 4,5 cm) hermeticamente fechado.

Soluções padrão das substâncias utilizadas em cada tratamento foram aplicadas (1 μL) no dispersor de voláteis com o auxílio de uma microseringa de 10 μL (Hamilton, Reno, NV, USA). Cada papel tratado foi acondicionado no interior da tampa do pote de acrílico o qual foi coberto com tecido organza para evitar o contato direto dos cupins com o dispersor. O fundo do pote foi forrado com disco de papel filtro (Unifil) umedecido com 30 μL de água destilada e adicionado 10g de fragmento do ninho. Testes preliminares indicaram que esta metodologia não afetou a sobrevivência dos insetos.

Na determinação das curvas de concentração-mortalidade e CLs, inicialmente foram utilizadas três concentrações (1, 10 e 20 mg do composto/L do recipiente) de cada tratamento. Posteriormente, concentrações intermediárias foram empregadas para traçar as curvas e obter as concentrações necessárias para matar 30, 50 e 90% das populações (CL₃₀, CL₅₀ e CL₉₀) e seus respectivos intervalos de confiança a 95% (IC₉₅). As observações de mortalidade dos insetos foram realizadas 48h após a montagem dos bioensaios.

Para determinação das curvas de sobrevivência e TL₅₀, os cupins foram expostos às CLs₉₀ de cada tratamento determinadas nos bioensaios anteriores. As avaliações de mortalidade foram realizadas da mesma forma que nos bioensaios de exposição via contato.

4.2.3.2. Comportamento individual e coletivo

Os bioensaios foram conduzidos a fim de observar o comportamento individual de indivíduos de *N. corniger* tratados (comportamento individual) e a interação de um grupo de cupins não expostos aos compostos (10 cupins, sendo 8 operários e 2 soldados) com um cupim

tratado (comportamento coletivo). Os delineamentos experimentais foram inteiramente casualizados, com 80 repetições (64 operários e 16 soldados) por tratamento.

Os cupins (operários e soldados) foram expostos topicamente às DLs₃₀ dos compostos determinadas nos bioensaios de toxicidade aguda por contato e à acetona (controle). Os procedimentos experimentais foram os mesmos deste bioensaio. Antes da exposição aos tratamentos, os cupins foram colocados em placa de Petri ($\varnothing$ 6 x 1,5 cm) forradas com papel filtro umedecidos com 0,4 mL água destilada por 5 min para aclimação.

No experimento para avaliar o comportamento individual, após a aclimação, os cupins (operário e soldado) foram tratados e colocados nas placas de Petri individualmente, totalizando 400 indivíduos. Após 3 min da exposição, iniciou a contagem do comportamento de autolimpeza (Santos et al., 2017).

No experimento coletivo, 11 indivíduos foram colocados na placa de Petri, sendo um destes (operário ou soldado) retirado da placa, aleatoriamente, após 5 min de aclimação. Os indivíduos retirados foram marcados com tinta atóxica de coloração rosa (Acrilex Tintas Especiais S. A., São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil) e submetidos à aplicação dos tratamentos, sendo realocados junto ao grupo não-tratado após 3 min. Um minuto após a realocação do indivíduo tratado na placa, iniciou-se a contagem do número de comportamentos de antenação, limpeza (indivíduo não tratado limpando o indivíduo tratado), trofolaxia (estomatodeal e proctodeal), *butting* (movimentos acelerados para frente e para trás em sequência), agregação e evitação (quando os indivíduos não-tratados evitaram o contato com o indivíduo tratado) realizados pelo grupo (Santos et al., 2017). Testes preliminares indicaram que a tinta não afetou a sobrevivência e o comportamento dos cupins.

Em ambos os bioensaios, as observações foram realizadas por 1 min contínuo, com intervalos de 1 min, durante um período de 10 min, totalizando 5 min de observação/repetição. No geral, os comportamentos foram registrados por 4000 min [2 bioensaios x 5 tratamentos x 80 repetições x 5 min de observação].

4.2.3.3. Comportamento de caminhamento

O comportamento de caminhamento individual foi avaliado com operários e soldados tratados de *N. corniger* submetidos às DLs₃₀ dos compostos determinadas nos bioensaios de toxicidade aguda por contato e à acetona (controle). Os procedimentos experimentais foram os mesmos deste bioensaio.

Os bioensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com 80 repetições (64 operários e 16 soldados) por tratamento, totalizando 400 indivíduos. Os bioensaios foram realizados em arenas de placas de Petri ($\varnothing$ 6 x 1,5cm), forradas com papel filtro. Após 1 min da inserção dos indivíduos na arena iniciou-se a gravação por um período de 10 min utilizando-se uma câmera de vídeo (Panasonic SD5 Superdynamic - modelo WV-CP504), equipada com lente Spacecom (1/3" 3-8 mm) acoplada a um computador. A distância percorrida (mm), a velocidade (mm/s), o meandro (°/mm) e a velocidade angular (°/s) foram capturados através do software Ethovision XT (versão 8.5; Noldus Integration System, Sterling, VA). Os dados foram analisados utilizando o programa Studio 9 (Pinnacle Systems, Mountain View, CA).

4.2.3.4. Comportamento de irritabilidade

Os bioensaios de irritabilidade foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com 80 repetições (64 operários e 16 soldados) por tratamento, totalizando 400 indivíduos. Para tanto, foram utilizadas arenas de placas de Petri ($\varnothing$ 6 x 1,5cm) forradas com duas metades de papel filtro. Em uma das metades do papel foi aplicado um dos tratamentos (0,1 mL), na proporção de 0,1% com o auxílio de pipeta de volume 10-100 μ L (Labmate Pro, PZ HTL S.A., Poland). Na outra metade (não tratada) foi aplicado apenas 0,1mL do solvente acetona. As metades foram postas para secar por 3 min e em seguida fixadas no fundo da placa por uma fita dupla face. O experimento foi gravado durante dez minutos com câmera de vídeo,

da mesma forma que o bioensaio de caminhamento, onde foi computado o tempo que os insetos permaneceram em cada lado da arena.

4.2.4. Análise estatística

Os dados de toxicidade aguda foram submetidos à análise de Probit para determinação das curvas de dose e concentração-mortalidade utilizando o procedimento PROC PROBIT (SAS Institute, 2008). As curvas foram obtidas com probabilidade de aceitação da hipótese nula (de que os dados possuem distribuição Probit) maior que 0,05 pelo teste de χ^2 . A partir das curvas foram obtidas as DLs e CLs (30, 50 e 90) com seus respectivos intervalos de confiança a 95% (IC₉₅). As DLs e as CLs foram comparadas pelo critério da não-sobreposição dos intervalos de confiança (IC₉₅) com a origem do intervalo.

As análises de sobrevivência e seus respectivos tempos letais foram realizadas utilizando-se os estimadores de Kaplan-Meier usando o teste Log-Rank (SigmaPlot, versão 14.0). Por meio desta análise, foram obtidas curvas de sobrevivência e tempos letais capazes de ocasionar mortalidade em 50% dos indivíduos (TL₅₀), com seus respectivos intervalos de confiança a 95% (IC_{95%}). As curvas foram comparadas pelo método de comparação múltipla Holm-Sidak a 5% de probabilidade (SigmaPlot, versão 14.0). As TL₅₀ foram comparadas pelo critério da não-sobreposição dos intervalos de confiança (IC_{95%}) com a origem do intervalo.

Os dados dos bioensaios comportamentais (individual, coletivo, caminhamento e irritabilidade) ($N = 80$) foram inicialmente submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) e Brown-Forsythe ($P > 0,05$) para verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade de variância (SigmaPlot, versão 14.0). Como os dados de comportamento individual, coletivo e caminhamento não apresentaram normalidade, eles foram submetidos à análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida do método de comparação múltipla de Dunn's para comparar o efeito dos tratamentos com o controle (SigmaPlot, versão 14.0). Da mesma forma, os dados de irritabilidade foram submetidos à análise de variância não paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida pelo teste de Wilcoxon para verificar diferenças entre os tempos de permanência dos cupins entre as áreas tratadas e as não tratadas (SigmaPlot, versão 14.0).

4.3. Resultados

Foram identificados onze compostos nos OEs de *C. grewioides*. O OE do acesso Cg112 apresentou 85,6% de metil eugenol; enquanto o acesso Cg126, além do metil eugenol, também apresentou o eugenol como composto majoritário, representando 46 e 42,7% da mistura, respectivamente (Fig. 1).

4.3.1. Toxicidade aguda – DLs e CLs

Os OEs dos acessos Cg112 e Cg126 de *C. grewioides* e seus compostos majoritários eugenol e metil eugenol foram tóxicos ao cupim *N. corniger* por contato e fumigação. Os valores das DLs₅₀ e CLs₅₀ variaram de 0,67 a 4,05 µg/mg e 1,21 a 2,29 mg/L, respectivamente. O eugenol foi o composto mais tóxico à *N. corniger*, em ambas as vias de exposição (Tabela 1). A toxicidade deste composto não diferiu do metil eugenol e do OE do acesso Cg126 de *C. grewioides* quando expostos por fumigação. No entanto, a maior inclinação da curva de concentração-mortalidade observada para o eugenol, lhe conferiu maior toxicidade em doses mais altas, diferindo dos demais tratamentos na CL₉₀. Foram necessárias 3,53 mg/L para causar 90% de mortalidade dos cupins expostos por fumigação a este composto (Tabela 1).

4.3.2. Sobrevivência - TLs

Indivíduos de *N. corniger* submetidos por contato e fumigação às DLs₉₀ e CLs₉₀ dos tratamentos apresentaram acentuada redução na sobrevivência ao longo do tempo [contato: $X^2 = 677,09$; d.f. = 4; $P < 0,001$ (Fig. 2A) e fumigação: $X^2 = 631,49$; d.f. = 4; $P < 0,001$ (Fig. 2B)]. Não houve diferença entre as curvas do OE do acesso Cg126 com a curva do composto eugenol

para exposição por contato ($P=0,505$) e fumigação ($P=0,087$). O mesmo aconteceu para a curva deste OE com o composto metil eugenol quando expostos por fumigação ($P=0,058$).

Para as duas vias de exposição, o OE do acesso Cg112 foi o composto que reduziu mais rapidamente a sobrevivência dos insetos (*contato*: $TL_{50} = 2,95h$; $IC_{95\%} = 1,68 - 4,23$; *fumigação*: $TL_{50} = 13,32h$; $IC_{95\%} = 12,15 - 14,50$) (Fig. 2). O eugenol foi o composto que reduziu mais lentamente a sobrevivência dos insetos (*contato*: $TL_{50} = 13,19h$; $IC_{95\%} = 10,74 - 15,63$; e *fumigação*: $TL_{50} = 30,49h$; $IC_{95\%} = 27,76 - 33,22$) (Fig. 2).

4.3.3. Comportamentos individual e coletivo

Houve diferença significativa no comportamento individual de autolimpeza dos indivíduos de *N. corniger* submetidos aos diferentes tratamentos ($H = 46,83$; g.l. = 4; $P < 0,001$). Os cupins aumentaram o número de autolimpezas quando foram expostos às DLs₃₀ do OE do acesso Cg112 de *C. grewioides* e do composto eugenol (Fig. 3).

Para os comportamentos coletivos, houve diferença significativa no número de antenação ($H = 71,22$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 4A), limpeza ($H = 23,38$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 4B), evitação ($H = 88,61$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 4C), agregação ($H = 55,53$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 4D) e *butting* ($H = 64,83$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 4E) em relação ao controle. Apesar de reduzido, houve diferença significativa no número de trofalaxia entre os tratamentos e o controle ($H = 12,02$; g.l. = 4; $P = 0,017$).

Todos os tratamentos reduziram o número de antenações (Fig. 4A). O menor número de limpezas foi verificado para insetos tratados com o OE do acesso Cg112 de *C. grewioides* e seu composto majoritário metil eugenol (Fig. 4B). Os indivíduos não-tratados evitaram os insetos tratados com metil eugenol e com os OEs dos acessos Cg112 e Cg126 de *C. grewioides* (Fig. 4C). O mesmo aconteceu para o comportamento de *butting* quando os insetos foram expostos a estes compostos (Fig. 4E). O número de agregações foi reduzido em relação ao controle para os insetos tratados com OE do acesso Cg112, eugenol e metil eugenol (Fig. 4D).

4.3.4. Caminhamento

Indivíduos de *N. corniger* submetidos às doses subletais dos tratamentos apresentaram diferença no caminhamento em relação ao controle (Fig. 5 e 6). Foram observadas diferenças na velocidade ($H = 125,27$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 5A), distância percorrida ($H = 120,25$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 5B e Fig. 6), velocidade angular ($H = 101,95$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 5C), e meandro ($H = 90,92$; g.l. = 4; $P < 0,001$) (Fig. 5D).

Todos os tratamentos reduziram a velocidade (Fig. 5A) e a distância percorrida (Fig. 5B) pelos cupins em relação ao controle e tornaram o caminhamento mais errático, conforme observado pelas trilhas de deslocamento do cupim (Fig. 6). De fato, a velocidade angular (Fig. 5C) e o número de meandros (Fig. 5D) aumentou em todos os tratamentos em relação ao controle.

4.3.5. Bioensaio de irritabilidade

Todos os tratamentos causaram irritabilidade nos cupins. Os insetos permaneceram, em média, 62% do tempo no lado não tratado da arena (Fig. 7).

4.4. Discussão

Cupins causam perdas significativas por meio da degradação de estruturas de madeira em ambientes urbanos, o que impulsiona a busca por novas alternativas de manejo que sejam ao mesmo tempo eficientes e ambientalmente seguras. No presente estudo, demonstramos que OEs de dois acessos de *C. grewioides* e seus compostos majoritários eugenol e metil eugenol apresentaram efeitos letais e subletais relevantes, como redução da sobrevivência, das interações sociais e do deslocamento, e aumento da desorientação e irritabilidade dos indivíduos quando expostos aos compostos.

Os OEs de *C. grewioides* apresentaram variações significativas em sua constituição. As variações na composição química entre plantas da mesma espécie podem ocorrer devido a diferentes fatores, principalmente genéticos e ambientais (Brito et al., 2020). A composição e proporção de compostos majoritários podem gerar OEs com diferentes propriedades bioativas, devido às diferentes interações entre os componentes (Bakkali et al., 2008; Nerio et al., 2010). Aqui verificamos que o OE do acesso Cg126 de *C. grewioides*, que apresenta não só o metil eugenol mas também o eugenol como majoritário, foi mais tóxico por contato ($DL_{50} = 1,94 \mu\text{g}/\text{mg}$) e fumigação ($CL_{50} = 1,55 \text{ mg}/\text{L}$) do que o OE do acesso Cg112 ($DL_{50} = 4,04 \mu\text{g}/\text{mg}$ e $CL_{50} = 2,29 \text{ mg}/\text{L}$). Desta forma, a maior toxicidade do OE do acesso Cg126 de *C. grewioides* pode ser explicada pela presença do eugenol, composto que foi o mais tóxico dentre todos os tratamentos analisados, tanto por contato quanto por fumigação.

A bioatividade do eugenol pode estar relacionada a seu mecanismo de ação, que possui como principal alvo os receptores de octopamina, capazes de modificar o funcionamento do sistema nervoso dos insetos (Price and Berry, 2006). Outros estudos também têm demonstrado a ação inseticida do eugenol sobre uma ampla variedade de pragas, como: *Chrysodeixis includens*, *Spodoptera frugiperda* e *Callosobruchus maculatus* (Armijos et al., 2019; Dayan et al., 2009; Santos et al., 2023; Ulanowska and Olas, 2021), inclusive contra o cupim *Reticulitermes chinensis* e fungos que promovem biodegradação da madeira (Xie et al., 2015).

Apesar de ser mais tóxico, o eugenol resultou em mortalidade mais lenta ($TL_{50} = 13,19\text{h}$ por contato e $TL_{50} = 30,49\text{h}$ por fumigação), enquanto o OE do acesso Cg112 de *C. grewioides* causou rápida mortalidade dos cupins ($TL_{50} = 2,95$ e $13,32\text{h}$, por contato e fumigação, respectivamente) (Fig. 2). Esta diferença pode estar relacionada não apenas à toxicidade dos compostos em si, como também às interações com os efeitos subletais. Compostos oriundos dos OEs têm sua atuação relatada em distintos sítios de ação como receptores de acetilcolina, receptores de octopamina, receptores de GABA e canais de sódio (Tong and Coats, 2012). A velocidade na qual os indivíduos contaminados morrem pode ter importante implicação no tipo de manejo aplicado. Compostos que causam rápida mortalidade (ex. OE do acesso Cg112 e metil eugenol) poderiam ser eficientes quando aplicados diretamente sobre os ninhos, enquanto compostos que demoram mais a causar mortalidade (ex. OE do acesso Cg126 e eugenol) poderiam promover maiores chances do contaminante se dispersar entre os indivíduos, o que pode ser útil em situações em que os ninhos são crípticos. No entanto, para que a transferência horizontal de contaminantes ocorra, é essencial que o produto não altere as interações sociais entre os membros da colônia. Por outro lado, mesmo quando há menor contato social, o baixo número de interações entre os companheiros de ninho pode reduzir a coesão social, comprometendo assim a viabilidade da colônia.

Os bioensaios de comportamento indicaram que os indivíduos contaminados (ex. DL_{30} do acesso Cg112 e eugenol) foram capazes de perceber os contaminantes aumentando o número de autolimpezas (Fig. 3). Este comportamento pode contribuir tanto para a contenção quanto para a disseminação de patógenos dentro dos ninhos (Theis et al., 2015). Por outro lado, o OE do acesso Cg112 causou redução na limpeza, provavelmente porque os indivíduos não-contaminados evitaram o contato com indivíduos contaminados (Fig. 4B, C). Outra forma de disseminação dos compostos ocorre por meio de contatos físicos, por exemplo, o comportamento de antenação, meio de comunicação onde os cupins reconhecem companheiros de ninho através de hidrocarbonetos cuticulares (Howard and Blomquist, 2005). Todos os tratamentos testados nas DL_{30} reduziram a antenação em relação ao controle (Fig. 4A), corroborando com os resultados encontrados por Santos et al. (2017), com a espécie *Cryptotermes brevis*. De forma geral, os tratamentos também promoveram maior evitação entre os companheiros de ninho (Fig. 4C) e um menor número de agregação em relação ao grupo controle (Fig. 4D). Isto pode estar relacionado ao fato de os compostos indicarem algum risco, visto que os cupins tratados (ex. com os acessos Cg112 e Cg126 e metil eugenol) aumentaram a quantidade de *butting*, ou seja, desencadearam comportamento de alerta após a exposição aos compostos (Fig. 4E).

De acordo com Mendonça et al. (2023), uma comunicação efetiva de alarme entre os cupins de um mesmo ninho é uma característica imprescindível para a vida em grupos eussociais. Apesar destas alterações comportamentais diminuírem o contato entre os cupins, esses resultados demonstram uma perspectiva de utilização do OE de *C. grewioides* como repelente para *N. corniger*. De fato, observamos que todos os compostos tiveram ação de irritabilidade (repelente + deterrente), uma vez que os indivíduos de *N. corniger* passaram mais tempo do lado não-tratado da arena (Fig. 7). Este resultado sugere uma possível utilização desses compostos no tratamento de estruturas, a fim de evitar a colonização pelos cupins (Hwang et al., 2007; Rust and Su, 2012).

Além de reduzir as interações sociais, todos os compostos testados também alteraram o caminhamento dos cupins, causando redução de deslocamento e desorientação (maior velocidade angular e número de meandros) (Fig. 5 e Fig. 6). Tais alterações podem interferir na eficiência de forrageio desses insetos, comprometendo a busca por recursos ou mesmo aumentando a vulnerabilidade aos riscos ambientais.

Concluindo, nossos resultados mostram que baixas doses dos acessos do OE de *C. grewioides* e seus compostos majoritários podem causar efeitos letais pelas vias de exposição por contato e fumigação; além de efeitos subletais, como irritabilidade e redução das interações e da capacidade de deslocamento de indivíduos de *N. corniger*. Somado a esses efeitos desejáveis para o manejo, os OEs de plantas e seus derivados ainda possuem baixa persistência no ambiente e são considerados mais seguros que os inseticidas sintéticos (Regnault-Roger et al., 2012). Desta forma, nosso estudo indica o potencial destes compostos para a síntese de novos produtos para o manejo de cupins da espécie *N. corniger*.

4.5. Referências Bibliográficas

- Ahmad, S.K., Dawah, H.A., Khan, Md.A., 2018. Ecology of Termites. Termites and Sustainable Management. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72110-1_3
- Armijos, M.J.G., Jumbo, L.V., Faroni, L.R., Oliveira, E.E., Flores, A.F., Heleno, F., Haddi, K., 2019. Fumigant toxicity of eugenol and its negative effects on biological development of *Callosobruchus maculatus* L. Revista de Ciencias Agrícolas 36, 5–15. <https://doi.org/10.22267/rcia.193601.94>
- Bacci, L., Lima, J.K.A., Araújo, A.P.A., Blank, A.F., Silva, I.M.A., Santos, A.A., Santos, A.C.C., Alves, P.B., Picanço, M.C., 2015. Toxicity, behavior impairment, and repellence of essential oils from pepper-rosmarin and patchouli to termites. Entomol Exp Appl 156, 66–76. <https://doi.org/10.1111/eea.12317>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils - A review. Food and Chemical Toxicology. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Bignell, Id.E., Eggleton, P., 2000. Chapter 17 TERMITES IN ECOSYSTEMS.
- Brito, F. de A., Bacci, L., Santana, A. da S., Silva, J.E. da, Nizio, D.A. de C., Nogueira, P.C. de L., Arrigoni-Blank, M. de F., Melo, C.R., Melo, J.O. de, Blank, A.F., 2020. Toxicity and behavioral alterations caused by essential oils of *Croton tetradenius* and their major compounds on *Acromyrmex balzani*. Crop Protection 137, 105259. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105259>
- Constantino, R., 2002. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. Journal of Applied Entomology 126, 355–365. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00670.x>

- Dayan, F.E., Cantrell, C.L., Duke, S.O., 2009. Natural products in crop protection. *Bioorg Med Chem* 17, 4022–4034. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>
- de Mendonça, T.H.C., Silva, C.R., Watanabe, S.Y.M., Silva, A.N.F., Santos, R.E.C., Cristaldo, P.F., 2023. How to perceive the insecticide? The Neotropical termite *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae) triggers alert behavior after exposure to imidacloprid. *Behavioural Processes* 209. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2023.104887>
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., Mnif, W., 2016. Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines* 3, 25. <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>
- Elango, G., Rahuman, A.A., Kamaraj, C., Bagavan, A., Zahir, A.A., Santhoshkumar, T., Marimuthu, S., Velayutham, K., Jayaseelan, C., Kirthi, A.V., Rajakumar, G., 2012. Efficacy of medicinal plant extracts against Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus*. *Ind Crops Prod* 36, 524–530. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.10.032>
- Ghaly, A., Edwards, S., 2011. Termite Damage to Buildings: Nature of Attacks and Preventive Construction Methods. *American J. of Engineering and Applied Sciences* 4, 187–200.
- Howard, R.W., Blomquist, G.J., 2005. Ecological, behavioral, and biochemical aspects of insect hydrocarbons. *Annu Rev Entomol.* <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130359>
- Hwang, W.J., Kartal, S.N., Yoshimura, T., Imamura, Y., 2007. Synergistic effect of heartwood extractives and quaternary ammonium compounds on termite resistance of treated wood. *Pest Manag Sci* 63, 90–95. <https://doi.org/10.1002/ps.1294>
- Isman, M.B., 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol.* <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>
- Kamatou, G.P., Vermaak, I., Viljoen, A.M., 2012. Eugenol - From the remote Maluku Islands to the international market place: A review of a remarkable and versatile molecule. *Molecules.* <https://doi.org/10.3390/molecules17066953>
- Lima, J.K.A., Albuquerque, E.L.D., Santos, A.C.C., Oliveira, A.P., Araújo, A.P.A., Blank, A.F., de Fátima Arrigoni-Blank, M., Alves, P.B., de A. Santos, D., Bacci, L., 2013. Biototoxicity of some plant essential oils against the termite *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). *Ind Crops Prod* 47, 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.018>
- Nerio, L.S., Olivero-Verbel, J., Stashenko, E., 2010. Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresour Technol* 101, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>
- Oliveira, D.G., 2013. A família Euphorbiaceae Juss. em um fragmento de Caatinga em Sergipe The family Euphorbiaceae Juss. in a fragment of Caatinga in Sergipe. *SCIENTIA PLENA.*
- Oliveira, S.D.D.S., Silva, A.M.D.O.E., Blank, A.F., Nogueira, P.C.D.L., Nizio, D.A.D.C., Almeida-Pereira, C.S., Pereira, R.O., Menezes-Sá, T.S.A., Santana, M.H.D.S., Arrigoni-Blank, M.D.F., 2021. Radical scavenging activity of the essential oils from *Croton grewoides* Baill accessions and the major compounds eugenol, methyl eugenol and methyl chavicol. *Journal of Essential Oil Research* 33, 94–103. <https://doi.org/10.1080/10412905.2020.1779139>

Price, D.N., Berry, M.S., 2006. Comparison of effects of octopamine and insecticidal essential oils on activity in the nerve cord, foregut, and dorsal unpaired median neurons of cockroaches. *J Insect Physiol* 52, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2005.11.010>

Regnault-Roger, C., Vincent, C., Arnason, J.T., 2012. Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annu Rev Entomol* 57, 405–424. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

Rust, M.K., Su, N.Y., 2012. Managing social insects of urban importance. *Annu Rev Entomol* 57, 355–375. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100634>

Santos, A.A., de Oliveira, B.M.S., Melo, C.R., Lima, A.P.S., Santana, E.D.R., Blank, A.F., Picanço, M.C., Araújo, A.P.A., Cristaldo, P.F., Bacci, L., 2017. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). *Ecotoxicol Environ Saf* 145, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.057>

Santos, A.A., Melo, C.R., Oliveira, B.M.S., Santana, A.S., Santos, A.C.C., Sampaio, T.S., Blank, A.F., Cristaldo, P.F., Araújo, A.P.A., Bacci, L., 2019. Acute Toxicity and Sub-lethal Effects of the Essential Oil of *Aristolochia trilobata* and Its Major Constituents on *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae). *Neotrop Entomol* 48, 515–521. <https://doi.org/10.1007/s13744-018-0665-9>

Santos, N.C., da Silva, J.E., Santos, A.C.C., de Oliveira Dantas, J., Tavares, S.R.S.A., Andrade, V.S., da Silva Oliveira, S.D., Blank, A.F., Araújo, A.P.A., Bacci, L., 2023. Bioactivity of essential oils from *Croton grewioides* and its major compounds: toxicity to soybean looper *Chrysodeixis includens* and selectivity to the predatory stink bug *Podisus nigrispinus*. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 18798–18809. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23414-w>

Scheffrahn, R.H., Hochmair, H.H.; Kern Jr, W.H.; Warner, J., Krecek, J., Maharajh, B., Cabrera, B. J., Hickman, R.B., 2014. Targeted elimination of the exotic termite, *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae), from infested tracts in southeastern Florida. *International Journal of Pest Management* 60, 9–21. <http://dx.doi.org/10.1080/09670874.2014.882528>

Silva, J.S., de Sales, M.F., de Souza Gomes, A.P., Carneiro-Torres, D.S., 2010. Sinopse das espécies de *Croton* L. (Euphorbiaceae) no estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Bot Brasilica* 24, 441–453. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000200015>

Silva, C.G.V., Zago, H.B., Júnior, H.J.G.S., Camara, C.A.G., Da, Oliveira, J.V. De, Barros, R., Schwartz, M.O.E., Lucena, M.F.A., 2008. Composition and insecticidal activity of the essential oil of *Croton grewioides* baill. against Mexican Bean Weevil (*Zabrotes subfasciatus* Boheman). *Journal of Essential Oil Research* 20, 179–182. <https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9699985>

Tang, F., Chen, F., Ling, X., Huang, Y., Zheng, X., Tang, Q., Tan, X., 2015. Inhibitory effect of methyleugenol on IgE-mediated allergic inflammation in RBL-2H3 cells. *Mediators Inflamm* 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/463530>

Theis, F.J., Ugelvig, L. V, Marr, C., Cremer, S., 2015. Opposing effects of allogrooming on disease transmission in ant societies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0108>

- Tong, F., Coats, J.R., 2012. Quantitative structure-activity relationships of monoterpenoid binding activities to the housefly GABA receptor. *Pest Manag Sci* 68, 1122–1129. <https://doi.org/10.1002/ps.3280>
- Ulanowska, M., Olas, B., 2021. Biological properties and prospects for the application of eugenol—a review. *Int J Mol Sci*. <https://doi.org/10.3390/ijms22073671>
- Verma, M., Sharma, S., Prasad, R., 2009. Biological alternatives for termite control: A review. *Int Biodeterior Biodegradation*. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.05.009>
- Xie, Y., Yang, Z., Cao, D., Rong, F., Ding, H., Zhang, D., 2015. Antitermitic and antifungal activities of eugenol and its congeners from the flower buds of *Syzygium aromaticum* (clove). *Ind Crops Prod* 77, 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.044>
- Zhang, M., Zeiss, M.R., Geng, S., 2015. Agricultural pesticide use and food safety: California's model. *J Integr Agric*. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61126-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61126-1)

5. ANEXOS

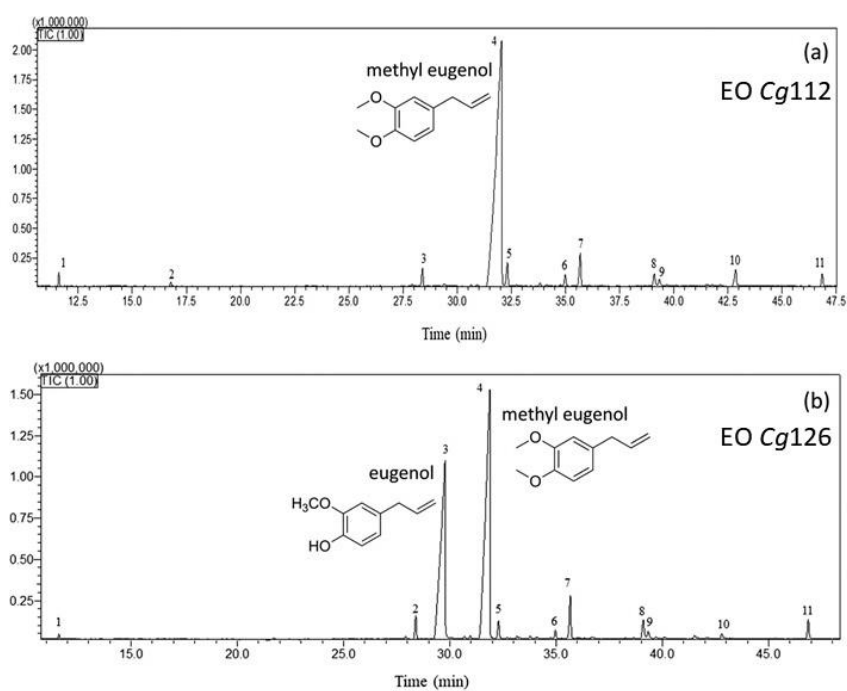


Fig. 1. Cromatograma dos óleos essenciais dos acessos Cg112 e Cg126 de *Croton grewoides* (Santos et al. 2022).

Tabela 1. Toxicidade aguda após 72h de exposição por contato e 48h de exposição por fumigação do cupim *Nasutitermes corniger* expostos aos óleos essenciais dos acessos *Cg112* e *Cg126* de *Croton grewoides* (EO *Cg112* e EO *Cg126*) e seus compostos majoritários eugenol (*Eg*) e metil eugenol (*ME*).

Tratamento	<i>n</i> ^a	Dose ou concentração letal (IC ₉₅) ^b			Slope (± EP)	χ^2	<i>P</i>
		30	50	90			
<i>Contato (µg/ mg)</i>							
EO <i>Cg112</i>	398	2,35 (1,27-3,39)	4,05 (2,71-5,88)	15,3 (9,52-40,8)	2,22±0,29	6,37	0,09
EO <i>Cg126</i>	399	1,07 (0,751-1,37)	1,94 (1,54-2,34)	8,31 (6,63-11,4)	2,03±0,22	4,43	0,22
<i>Eg</i>	386	0,424 (0,329-0,517)	0,668 (0,552-0,790)	2,03 (1,68-2,59)	2,65±0,24	2,98	0,56
<i>ME</i>	400	2,06 (1,72-2,39)	3,19 (2,78-3,63)	9,33 (7,77-11,84)	2,75±0,24	1,89	0,60
<i>Fumigação (mg/ L)</i>							
EO <i>Cg112</i>	360	0,986 (0,363-1,65)	2,29 (1,30-3,68)	18,0 (9,09-85,4)	1,43±0,22	7,92	0,09
EO <i>Cg126</i>	474	0,788 (0,354-1,24)	1,55 (0,93-2,25)	8,18 (5,23-18,1)	1,78±0,23	8,53	0,07
<i>Eg</i>	479	0,781 (0,634-0,919)	1,21 (1,04-1,38)	3,53 (3,02-4,28)	2,76±0,23	6,08	0,19
<i>ME</i>	480	0,900 (0,352-1,49)	2,04 (1,16-3,10)	15,1 (8,52-46,5)	1,47±0,20	8,99	0,06

^a número de insetos testados.

^b doses ou concentrações letais necessárias para matar 30, 50 e 90 % das populações e seus respectivos intervalos de confiança a 95%.

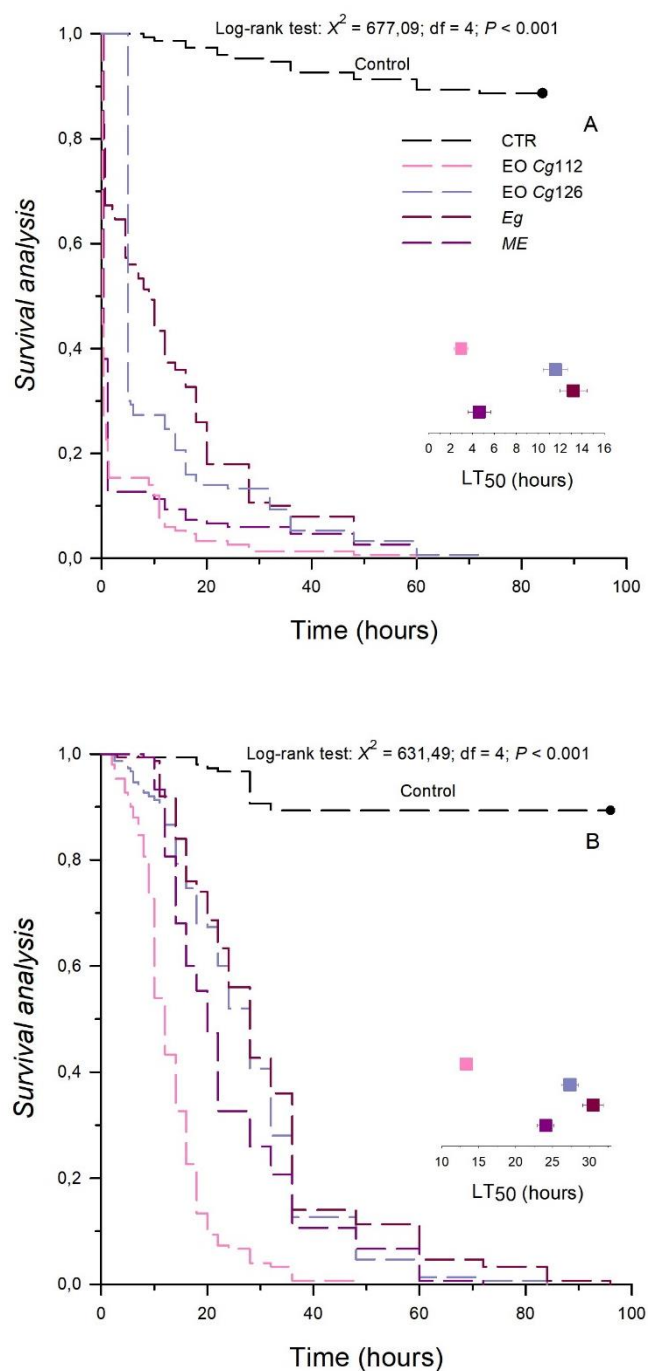


Fig. 2. Curvas de sobrevivência e tempos letais (TL₅₀) do cupim *Nasutitermes corniger* expostos às DL₅₀ e CL₅₀ dos óleos essenciais dos acessos *Cg112* e *Cg126* de *Croton grewoides* (EO *Cg112* e EO *Cg126*) e seus compostos majoritários eugenol (*Eg*) e metil eugenol (*ME*) por contato (A) e fumigação (B). TL₅₀ = tempo letal necessário para matar 50% da população.

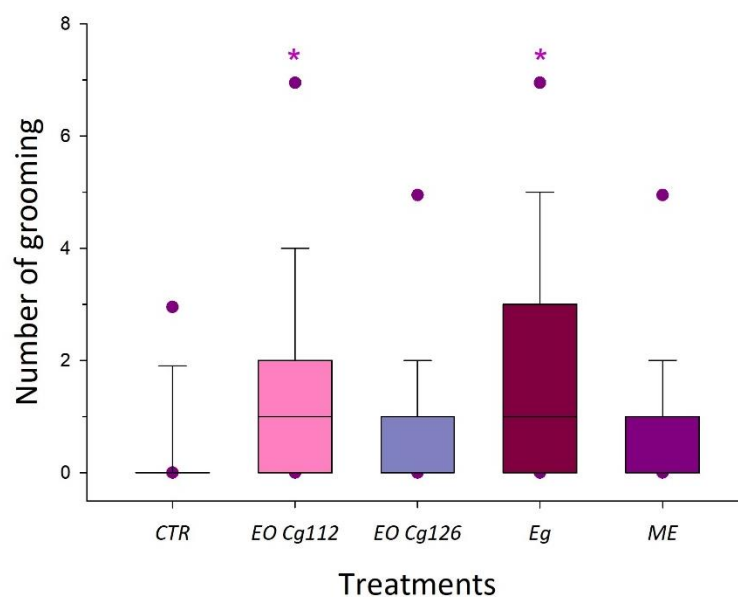


Fig. 3. Comportamento individual de autolimpeza do cupim *Nasutitermes corniger* expostos às DLs₃₀ dos óleos essenciais dos acessos *Cg112* e *Cg126* de *Croton grewoides* (EO *Cg112* e EO *Cg126*) e seus compostos majoritários eugenol (*Eg*) e metil eugenol (*ME*). CTR = controle. Os círculos representam os percentis 5° e 95°, as linhas do erro os percentis 10° e 90° e as extremidades da caixa os percentis 25° e 75°. As medianas (linhas roxas dentro do boxplots) seguidas por asterisco, diferem do controle pelo teste de Dunn's a $P < 0,05$.

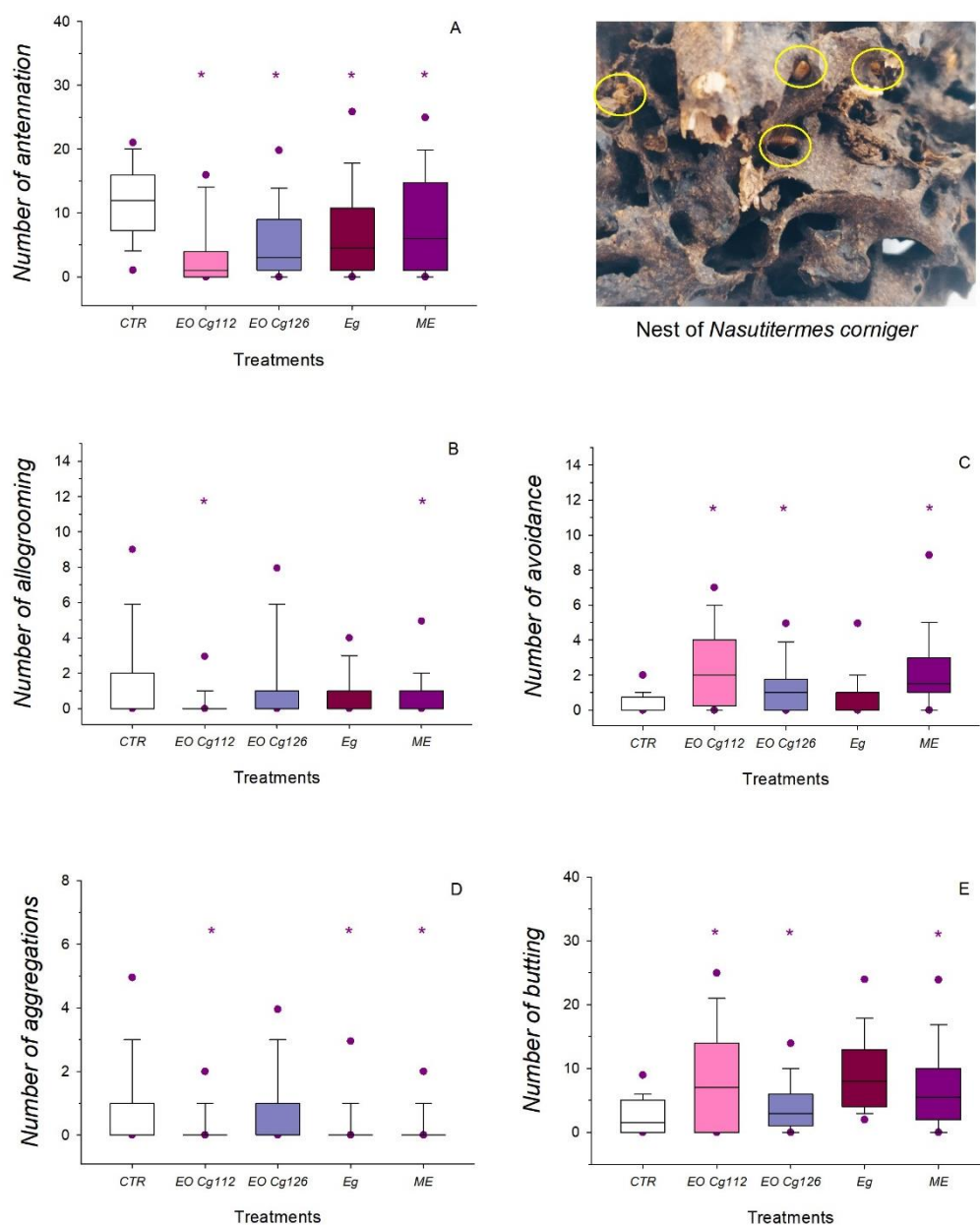


Fig. 4. Comportamentos coletivos de antenação (A), limpeza (B), evitação (C), agregação (D) e butting (E) do cupim *Nasutitermes corniger* expostos às DL₅₀ dos óleos essenciais dos acessos Cg112 e Cg126 de *Croton grewoides* (EO Cg112 e EO Cg126) e seus compostos majoritários eugenol (Eg) e metil eugenol (ME) por contato. CTR = controle. Os círculos representam os percentis 5° e 95°, as linhas do erro os percentis 10° e 90° e as extremidades da caixa os percentis 25° e 75°. As medianas seguidas por asterisco, diferem do controle pelo teste de Dunn's a $P < 0,05$.

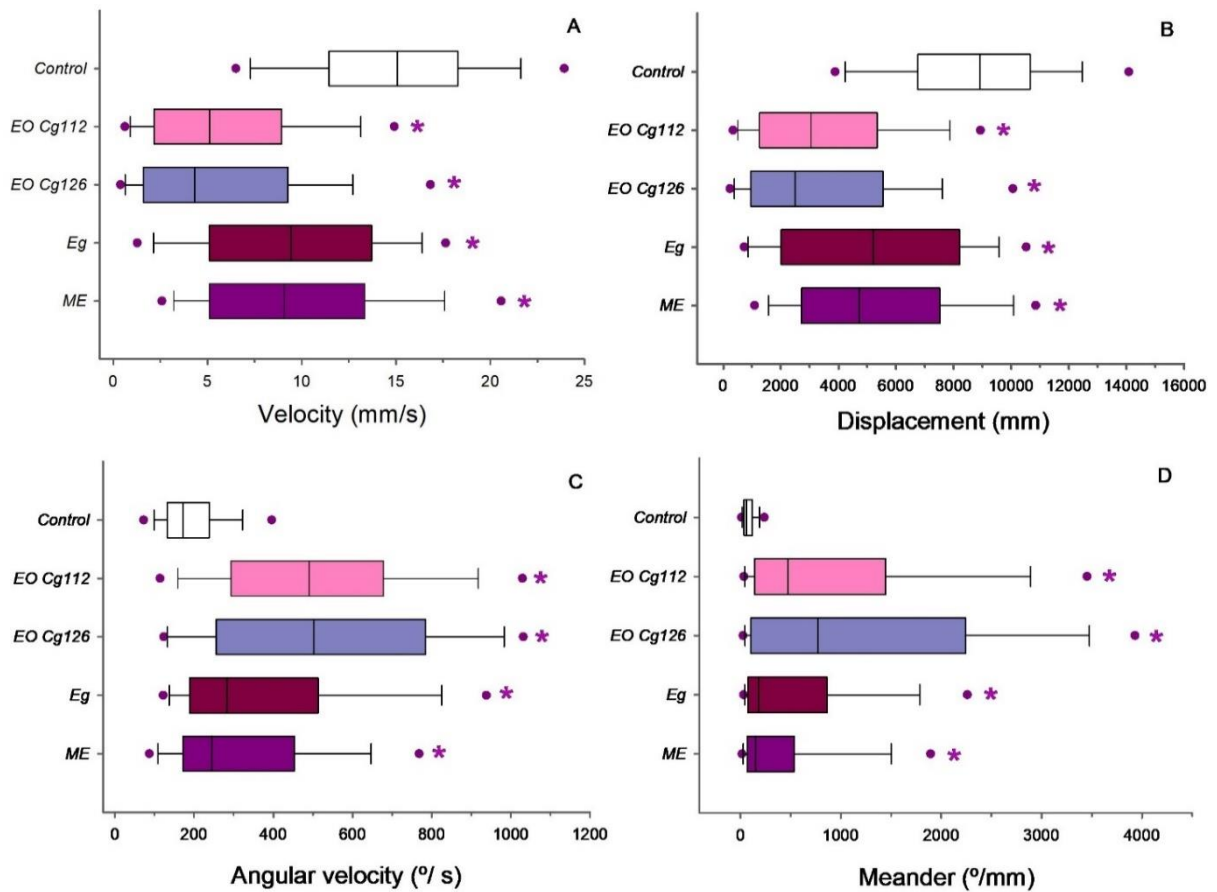


Fig. 5. Comportamentos de deslocamento [velocidade (A), distância (B), velocidade angular (C) e meandro (D)] do cupim *Nasutitermes corniger* expostos às DLs₃₀ dos óleos essenciais dos acessos Cg112 e Cg126 de *Croton grewoides* e seus compostos majoritários eugenol (Eg) e metil eugenol (ME) por contato. CTR = controle. Os círculos no gráfico representam 5° e 95° percentis. As linhas de erro representam os 10° 90° percentis, e as bordas da caixa são os 25° e 75° percentis. As medianas seguidas por asterisco, diferem do controle pelo teste de Dunn's a $P < 0,05$.

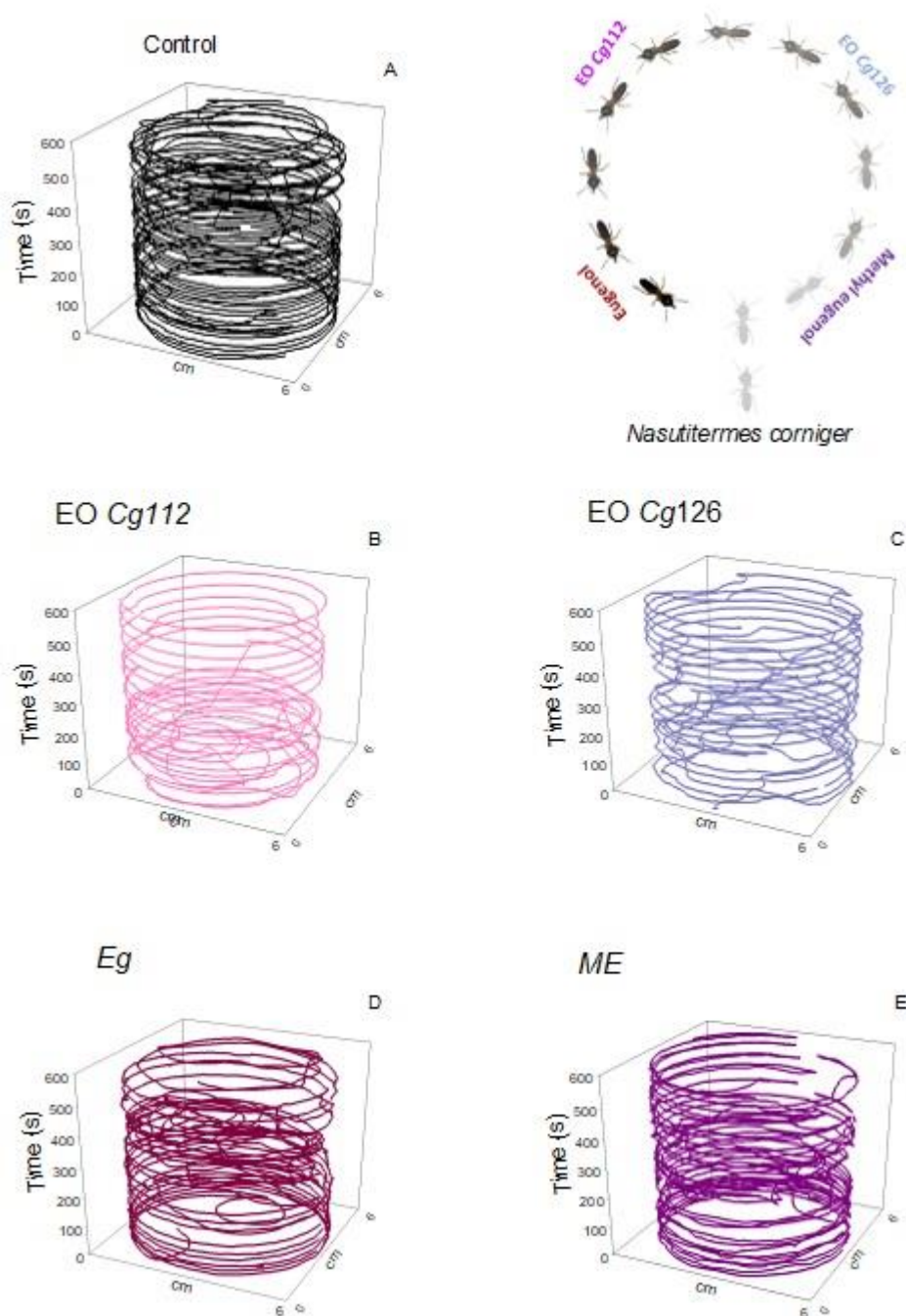


Fig. 6. Trilhas representativas (gráfico 3D) do deslocamento do cupim *Nasutitermes corniger* expostos às DLs₃₀ dos óleos essenciais dos acessos Cg112 e Cg126 de *Croton grewoides* e seus compostos majoritários eugenol (Eg) e metil eugenol (ME) por contato.

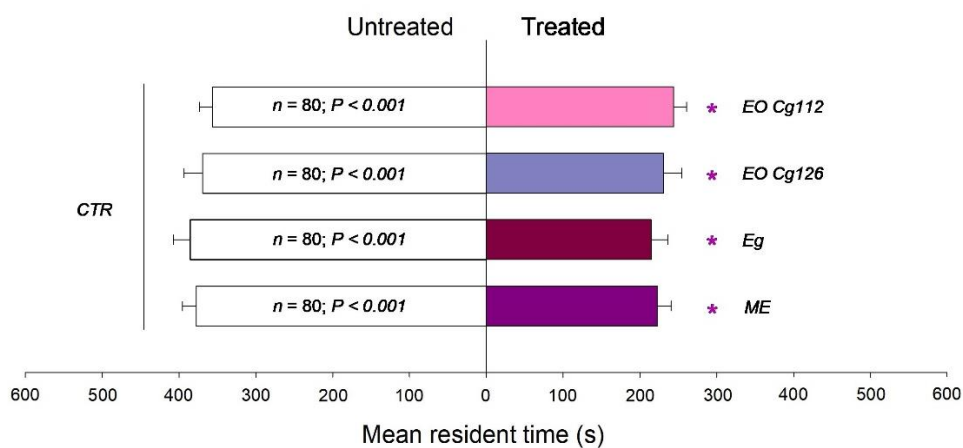


Fig. 7. Comportamento de irritabilidade dos cupins *Nasutitermes corniger* expostos em arenas parcialmente tratadas com óleos essenciais dos acessos Cg112 e Cg126 de *Croton grewoides* e seus compostos majoritários eugenol (Eg) e metil eugenol (ME) por contato. Histogramas seguidos por asterisco indicam que houve diferença entre os tempos de permanência do cupim entre o lado tratado e não-tratado pelo teste de Wilcoxon ($P < 0,05$). CTR = controle.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os acessos do óleo essencial de *C. grewioides* Cg112, Cg126, bem como seus compostos majoritários, apresentaram toxicidade e mostraram efeito repelente ao cupim *N. corniger*. Dessa forma, esses compostos consistem em alternativas promissoras para o desenvolvimento de novos inseticidas destinados ao manejo de cupins-praga.