



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

**ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE
Cymbopogon spp. (POACEAE) EM OPERÁRIAS E COLÔNIAS
DE *Atta sexdens* (FORMICIDAE: ATTINI)**

HELOISA SAFIRA SANTOS PINHEIRO



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

HELOISA SAFIRA SANTOS PINHEIRO

**ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon* spp.
(POACEAE) EM OPERÁRIAS E COLÔNIAS DE *Atta sexdens* (FORMICIDAE:
ATTINI)**

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. Genésio Tâmara Ribeiro

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2021

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

P654a Pinheiro, Heloisa Safira Santos
Atividade inseticida do óleo essencial de *Cymbopogon* spp. (Poaceae) em operárias e colônias de *Atta sexdens* (Formicidae: Attini) / Heloisa Safira Santos Pinheiro; orientador Genésio Tâmara Ribeiro – São Cristóvão, SE, 2021.
60 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agricultura e Biodiversidade) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, Universidade Federal de Sergipe, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Genésio Tâmara Ribeiro

1. Bioinseticida. 2. Criação massal. 3. Controle alternativo. 4. Formigas cortadeiras. I. Ribeiro, Genésio Tâmara, orient. II. Atividade inseticida do óleo essencial de *Cymbopogon* spp. (Poaceae) em operárias e colônias de *Atta sexdens* (Formicidae: Attini).

CDU: 632.951:665.52/.54

HELOISA SAFIRA SANTOS PINHEIRO

**ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon* spp.
(POACEAE) EM OPERÁRIAS E COLÔNIAS DE *Atta sexdens* (FORMICIDAE:
ATTINI)**

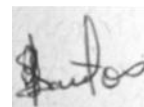
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 27 de julho de 2021.



Prof. Dr. Júlio César Melo Poderoso

JUSTIÇA FEDERAL/SE



Prof. Dra. Maria de Fátima Souza dos Santos
de Oliveira

INEMA/BA



Documento assinado digitalmente

Genesio Tamara Ribeiro

Data: 05/08/2021 14:20:26-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Genésio Tâmara Ribeiro
UFS
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

A minha família
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir chegar até aqui e concluir mais essa etapa.

À Universidade Federal de Sergipe e ao programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade pela oportunidade de realização do curso.

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

A minha família por todo o amor e suporte.

Ao meu orientador Dr. Genésio Tâmara Ribeiro por todos os ensinamentos nesses anos de convívio e por ser um excelente profissional. Cada dia com o senhor é uma oportunidade de aprender algo novo. Obrigada por tudo.

A Gabriela, Júlio e Fátima por despertarem o desejo e a curiosidade pela pesquisa. Obrigada por acreditarem em mim.

Aos professores Cidália Marinho, Leandro Bacci, Paulo Gagliardi e Paulo Nogueira.

Aos meus amigos, Vancleber, Edson, Lucas e Ítala por me auxiliarem nos inúmeros testes dessa dissertação e por fazerem os dias difíceis mais fáceis. Com vocês a risada da desgraça é garantida.

A Ane e Jefferson, pelo auxílio.

A todos que fazem ou já fizeram parte do Laboratório de Entomologia Florestal.

Aos amigos da graduação que permaneceram perto mesmo distantes, Natali e Frances, obrigada pela amizade de vocês.

A Ani, Vanessa, Valquíria e Ana.

Às amigas de sempre e para sempre, Jacy, Angélica, Amanda e Bia.

A Veri, Chico e Jota, vocês são incríveis.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente com esse processo de formação, meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

HELOISA SAFIRA SANTOS PINHEIRO, filha de José Pinheiro de Moura e Maria de Fátima Santos, nasceu em 4 de abril de 1994, na cidade de Aracaju, Sergipe. Morou até o ano de 2013 na cidade de Traipu, Alagoas.

No ano de 2013 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Sergipe, concluindo em outubro 2018. Durante toda a graduação foi estagiária do Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO) e bolsista de iniciação científica na área de Entomologia, sob orientação do professor Dr. Genésio Tâmara Ribeiro.

Em março de 2019, iniciou o curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade da Universidade Federal de Sergipe, trabalhando com formigas cortadeiras, sob orientação do professor Dr. Genésio Tâmara Ribeiro, defendendo a dissertação em julho de 2021.

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	8
4. ARTIGO 1: ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Cymbopogon</i> spp. (POACEAE) EM OPERÁRIAS DE <i>Atta sexdens</i> (FORMICIDAE: ATTINI)	17
Resumo	17
Abstract.....	18
4.1. Introdução	18
4.2. Material e Métodos.....	19
4.3. Resultados.....	22
4.4. Discussão.....	23
4.5. Conclusões.....	25
4.6. Agradecimentos	25
4.7. Referências Bibliográficas.....	25
Figuras e Tabelas	30
5. ARTIGO 2: ATIVIDADE INSETICIDA E FUNGICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Cymbopogon citratus</i> (POACEAE) EM COLÔNIAS DE <i>Atta sexdens</i>	34
Resumo	34
Abstract.....	35
5.1. Introdução	35
5.2. Material e Métodos	36
5.3. Resultados	37
5.4. Discussão.....	38
5.5. Conclusões.....	39
5.6. Agradecimentos	40
5.7. Referências Bibliográficas.....	40
Figuras e Tabelas	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Curvas de sobrevivência de operárias de <i>Atta sexdens</i> expostas por fumigação à CL ₉₀ dos bioensaios de toxicidade aos óleos essenciais de <i>Cymbopogon citratus</i> e <i>C. martinii</i>	32
2	Trilhas representativas do comportamento de caminhamento de operárias de <i>Atta sexdens</i> em arenas totalmente e parcialmente tratadas com o óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>C. martinii</i> e <i>C. nardus</i>	33
3	Distância total percorrida (a) e velocidade (b) ($\pm$ erro padrão) de operárias de <i>Atta sexdens</i> expostas por contato em arenas totalmente tratadas a 0,1% com óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>C. martinii</i> e <i>C. nardus</i> . Os tratamentos seguidos pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)	33
4	Distância total percorrida (a) e velocidade (b) ($\pm$ erro padrão) de operárias de <i>Atta sexdens</i> expostas por contato em arenas parcialmente tratadas a 0,1% com o óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>C. martinii</i> e <i>C. nardus</i> . Os tratamentos seguidos pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)	33

ARTIGO 2

Figura		Página
1	Cromatograma de íons totais (CIT) representativo do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	46
2	Variação do peso (g) das colônias de <i>Atta sexdens</i> (Hymenoptera: Formicidae) mantidas em laboratório após a aplicação do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> em diferentes concentrações durante o período de avaliação.	47
3	Colônias de <i>Atta sexdens</i> (Hymenoptera: Formicidae) submetidas à nebulização com o óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> , 1 e 60 dias após a nebulização	47

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela	Página
1 Constituintes químicos do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	30
2 Constituintes químicos do óleo essencial de <i>Cymbopogon martinii</i>	30
3 Constituintes químicos do óleo essencial de <i>Cymbopogon nardus</i>	31
4 Toxicidade do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> , <i>C. martinii</i> e <i>C. nardus</i> sobre operárias de <i>Atta sexdens</i> por aplicação tópica e fumigação após 48 horas de exposição	32

ARTIGO 2

Tabela	Página
1 Constituintes químicos do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	46
2 Pesos das colônias de <i>Atta sexdens</i> (Hymenoptera: Formicidae) mantidas em laboratório antes e depois da aplicação do óleo essencial de <i>Cymbopogon</i> <i>citratus</i> em diferentes concentrações.	46
3 Atividade inseticida e fungicida do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i> em diferentes concentrações em colônias de <i>Atta sexdens</i> mantidas em laboratório	47

RESUMO

PINHEIRO, Heloisa Safira Santos. **Atividade inseticida do óleo essencial de *Cymbopogon* spp. (Poaceae) em operárias e colônias de *Atta sexdens* (Formicidae: Attini)**. São Cristóvão: UFS, 2021. 60p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade).*

As formigas cortadeiras (Formicidae: Attini) são insetos desfolhadores que se destacam como um dos mais importantes insetos-praga na região Neotropical, pois causam danos às culturas agrícolas e florestais. Além da sua abundância e ampla distribuição, as formigas cortam partes frescas das plantas para servirem de substrato para o fungo simbiote que elas cultivam. O método de controle mais utilizado são as iscas tóxicas granuladas que representa, atualmente, o principal método de controle destes insetos-praga, porém a busca por novos compostos formicidas tem aumentado constantemente, incluindo nos vegetais com atividade inseticida, principalmente devido à segurança presumida desses compostos para o homem e o ambiente. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a atividade inseticida e os efeitos subletais do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon martinii* e *Cymbopogon nardus*, em operárias de *Atta sexdens*, expostas à aplicação tópica por contato e fumigação; e a atividade inseticida e fungicida do óleo essencial de *C. citratus*, via nebulização, em colônias de *Atta sexdens* mantidas em condições de laboratório. O trabalho foi realizado no Laboratório de Entomologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão, estado de Sergipe. O óleo essencial de *C. citratus* apresentou atividade inseticida enquanto os óleos essenciais de *C. martinii* e *C. nardus* apresentaram uma atividade inseticida menor, mas todas as espécies afetaram o comportamento de caminamento das operárias de *A. sexdens*. O óleo essencial de *C. citratus* apresentou atividade inseticida para o controle de formigas cortadeiras e fungicida para o controle do fungo simbiote. Esse óleo essencial causou perdas significativas no peso da massa fúngica das colônias e mortalidade das rainhas e operárias, evidenciando ser promissor para o desenvolvimento de novos inseticidas para o manejo dessa espécie-praga.

Palavras-chave: Bioinseticida, Controle alternativo, Criação massal, Formigas cortadeiras, Plantações florestais.

* Comitê Orientador: Genésio Tâmara Ribeiro – UFS (Orientador).

ABSTRACT

PINHEIRO, Heloisa Safira Santos. **Insecticidal activity of *Cymbopogon* spp. (Poaceae) essential oil on worker ants and colonies of *Atta sexdens* (Formicidae: Attini).** São Cristóvão: UFS, 2021. 60p. (Master of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Leafcutter ants (Formicidae: Attini) are defoliating insects; they are one of the most prominent pests in the Neotropical region, due the damage they may cause in both agricultural and forest crops. They are abundant and widely distributed and cut fresh parts of plants to use as a substrate for the symbiotic fungi they grow inside their nests. Currently, the main method for controlling these insect pests is through the use of toxic baits. However, the search for new anticide compounds has steadily increased, including plant compounds with insecticidal activity, mostly due to the presumed safety of these compounds for human beings and the environment. Therefore, the aim of this study was to evaluate the insecticidal activity and the sublethal effects of *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon martinii*, and *Cymbopogon nardus* essential oils on *Atta sexdens* worker ants exposed to topical application through contact and through fumigation, and to evaluate the insecticidal activity of *C. citratus* essential oil through nebulization on *Atta sexdens* colonies under laboratory conditions. The study was performed in the Forest Entomology Laboratory of the Department of Forestry Sciences at the Universidade Federal de Sergipe in São Cristóvão, Sergipe, Brazil. The *C. citratus* essential oil showed significant insecticidal activity, whereas the insecticidal activity of *C. martinii* and *C. nardus* was less. However, all the species (essential oils) affected *Atta sexdens* worker ant behavior and movement. The *C. citratus* essential oil showed insecticidal activity for control of leafcutter ants, as well as fungicidal activity against the symbiotic fungi. This essential oil caused considerable loss in the weight of fungal mass in the colonies, along with mortality of the queen and worker ants, which proves to be promising for development of new insecticides for management of this insect pest.

Key-words: Bioinsecticide, Alternative control, Mass rearing, Leafcutter ants, Forest crops.

* Supervising Committee: Genésio Tâmara Ribeiro – UFS (Orientador).

1. INTRODUÇÃO GERAL

As formigas cortadeiras (Formicidae: Attini) são insetos desfolhadores que se destacam como uma das mais importantes pragas na região Neotropical, pois causam danos às culturas agrícolas e florestais. Além da sua abundância e ampla distribuição, as formigas cortam partes frescas das plantas para servirem de substrato para o fungo simbiote que elas cultivam (BRITTO et al., 2016; DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014; ZANETTI et al., 2014).

Segundo estimativas globais, os danos econômicos causados pelas formigas cortadeiras podem atingir bilhões de dólares anualmente (MONTROYA-LERMA et al., 2012). Esses dados são fortalecidos pela observação de que a desfolha sucessiva compromete o crescimento, a estrutura e o rendimento das espécies cultivadas (MATRANGOLO et al., 2010), cerca de 30% dos custos de manejo da plantação até o terceiro ciclo são gastos no controle de formigas cortadeiras (ALÍPIO, 1989).

Anjos et al. (1998) descreveram que o desfolhamento provocado pelas formigas causa prejuízos de 13% da colheita e que, em ecossistemas tropicais, elas consomem cerca de 15% da produção florestal. Segundo Zanetti et al. (2003) as formigas cortadeiras são consideradas as principais pragas de reflorestamentos no Brasil.

Atualmente o uso de iscas tóxicas granuladas é o principal método de controle destes insetos-praga. Além de apresentarem excelente controle, as iscas formicidas granuladas são consideradas como o único método que apresenta viabilidade técnica, econômica e operacional no controle de formigas cortadeiras (BRITTO et al., 2016), porém o número reduzido de ingredientes ativos recomendados e os requisitos das certificadoras florestais têm dificultado o manejo das formigas cortadeiras (JUNG et al., 2013).

Por outro lado, a busca por novos compostos vegetais com atividade inseticida aumentou nos últimos anos, principalmente devido à segurança presumida desses compostos para o homem e o meio ambiente (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014). Por isso, inseticidas eficientes e ambientalmente mais seguros têm sido o foco de estudos envolvendo produtos de origem vegetal com atividades biológicas, como o efeito formicida (FEITOSA-ALCANTARA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017; ROCHA et al., 2018; SILVA et al., 2019).

As espécies de plantas não atacadas por insetos-praga geralmente apresentam metabólitos secundários tóxicos. Esses compostos são promissores como alternativa aos inseticidas organossintéticos e podem ser utilizados no manejo de formigas cortadeiras, possibilitando reduzir os problemas econômicos, sociais e ambientais causados pelos inseticidas convencionais, além de aumentar o número de ingredientes ativos utilizados no manejo de formigas cortadeiras (FEITOSA-ALCANTARA et al., 2017).

Nesse contexto, está inserido o *Cymbopogon*, um gênero de plantas com muitas espécies conhecidas por seu alto teor de óleo essencial, amplamente distribuído nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América. Estudos *in vivo* e *in vitro* revelaram efeitos farmacológicos benéficos de *Cymbopogon* spp., incluindo propriedades anticâncer, cardioprotetoras, anti-inflamatórias, antioxidantes, antidiabéticas, anticolinesterásicas, antibacterianas e antifúngicas (AVOSEH et al., 2015).

Assim, a busca por novos ingredientes ativos para o manejo de formigas cortadeiras é importante para o desenvolvimento de métodos alternativos de controle. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a atividade inseticida e os efeitos subletais do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon martinii* e *Cymbopogon nardus*, em operárias de *Atta sexdens*, expostas à aplicação tópica por contato e fumigação; e a atividade inseticida e fungicida do óleo essencial de *C. citratus*, via nebulização, em colônias de *Atta sexdens* mantidas em condições de laboratório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O setor florestal e sua importância econômica

As florestas plantadas no Brasil representam 2,67% das plantadas no mundo, colocando o país em nono em termos de área plantada (FAO, 2015). A área total de árvores plantadas em 2019 totalizou 9,0 milhões de hectares. Desse total, as plantações de eucalipto ocupam 6,97 milhões de hectares enquanto as áreas com pinus somam 1,64 milhão de hectares. Além desses cultivos, existem 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2020).

A adoção de boas práticas de manejo, o melhoramento genético e as condições edafoclimáticas do país levaram a um reconhecimento mundial da alta produtividade brasileira, considerando o volume de madeira produzido por área ao ano; e uma das rotações mais curtas, considerando o tempo decorrido entre o plantio e a colheita das árvores, quando comparado aos demais países produtores de madeira no mundo. Em 2019, o Brasil apresentou uma produtividade média de 35,3 m³/ha.ano nos plantios de eucalipto, uma ligeira queda em relação a 2018 (36,0 m³/ha.ano), que pode estar associada ao efeito das mudanças climáticas, expansão para novas áreas, fatores bióticos e abióticos. Já no plantio de pinus, houve um aumento de produtividade para 31,3 m³/ha.ano, que pode estar relacionado a alguns fatores: programas de melhoramento genético e fertilidade do solo, manejo de plantas em viveiro e a mecanização de plantios que antes eram semimecanizados (IBÁ, 2020).

O setor brasileiro de árvores plantadas impulsionou a economia nacional com uma receita bruta de R\$ 97,4 bilhões em 2019, um crescimento de 12,6% em relação ao ano anterior, representando 1,2% do PIB brasileiro e 6% do PIB setorial. A contribuição do setor na balança comercial permaneceu significativa em relação a 2018, o saldo foi de US\$ 10,3 bilhões em 2019, o segundo melhor resultado dos últimos 10 anos (IBÁ, 2020).

Porém as formigas cortadeiras afetam o estabelecimento das plantações florestais e, portanto, o desempenho desse setor (ZANUNCIO et al., 2016). A magnitude geral das perdas causadas pela atividade de forrageamento das formigas cortadeiras apoia seu status de praga na agricultura e nas florestas plantadas. Estimativas globais aproximadas de perdas econômicas causadas pelas formigas cortadeiras atingem bilhões de dólares, e essas estimativas são consideradas conservadoras (MONTROYA-LERMA et al., 2012). Cerca de 30% dos custos de manejo das florestas plantadas são gastos no controle de formigas cortadeiras (ALÍPIO, 1989).

Eventos de desfolha em eucalipto podem reduzir o diâmetro das árvores em 11 mm e 0,7 m em altura, causando uma perda de 13% no volume de madeira no final de um ciclo de sete anos (OLIVEIRA et al., 2011). Além disso, sucessivas desfolhas podem comprometer o crescimento e a forma das árvores e, conseqüentemente, o rendimento de espécies arbóreas como eucalipto e pinus (HERNANDEZ; JAFFÉ, 1995; MATRANGOLO et al., 2010), e a alta frequência de desfolhamento por formigas cortadeiras compromete a produção e a receita florestal (MATRANGOLO et al., 2010).

2.2. Biologia das formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras são insetos sociais verdadeiramente e são caracterizados por três características: (1) cuidados cooperativos com a prole, (2) divisão produtiva do trabalho e (3) gerações sobrepostas em estágios, que contribuem para o trabalho das colônias (WILSON, 1971; WILSON; HÖLLDOBLER, 2005). Polimorfismo e polietismo existem nas formigas cortadeiras, ilustrando a complexidade da organização social de sua colônia. Uma colônia é formada pela rainha (que não tem asas), machos e fêmeas alados (ocorrendo em períodos reprodutivos discretos) e trabalhadores (WILSON, 1980). Essa estrutura permite uma divisão eficiente do trabalho dentro da colônia, incluindo cuidados e higiene, além do cultivo de fungos, entre outros comportamentos, e exige complexidade estrutural e interação social para permitir a coexistência de até milhões de indivíduos em uma única colônia (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014).

As formigas cortadeiras são insetos abundantes na maioria dos ecossistemas terrestres (WILSON, 1971). Pertencem à ordem Hymenoptera, assim como as vespas e abelhas, que se distribuem em várias famílias, enquanto que as formigas estão todas agrupadas em uma única família, Formicidae (HÖLLDOBLER, WILSON, 1990). Essa família contém 21 subfamílias, sendo a de maior agrupamento a subfamília Myrmicinae, onde se encontra a tribo Attini (BOLTON, 2003).

A taxonomia da tribo Attini (Hymenoptera: Formicidae) está distribuída em 15 gêneros e 297 espécies já registradas (BOLTON et al., 2006), apresentando ampla distribuição na região Neotropical (WEBER, 1972). A existência de diferenças consideráveis entre os gêneros, dividem os Attini em dois grupos, Attini basais e Attini derivadas (SCHULTZ; BRADY, 2008).

Os Attini basais (*Apterostigma*, *Cyphomyrmex*, *Mycetarotes*, *Mcetagroicus*, *Mycetophylax*, *Mycetosoritis*, *Mycocepurus* e *Myrmicocrypta*) são representados por formigas inconspícuas, de hábitos crípticos e que não cortam partes vivas das plantas, de maneira geral, possuem pequenas colônias, com baixa longevidade e seu fungo é menos especializado (Lepioteceae) (DELLA LUCIA; SOUZA, 2011). Existem evidências crescentes de que todos os fungos cultivados pelas Attini basais tenham parentes próximos de vida livre (VO et al., 2009).

Os gêneros *Atta*, *Acromyrmex*, *Sericomyrmex* e *Trachymyrmex* compreendem os Attini derivadas, assim considerados por apresentarem as maiores colônias, maior tamanho dos indivíduos e maior complexidade social (DELLA LUCIA; SOUZA, 2011).

As formigas-cortadeiras, bem como os demais táxons de Attini, cultivam o fungo simbiote do qual se alimentam e asseguram a sua reprodução clonal (AUTUORI, 1956). A dependência de fungos como fonte alimentar exclusiva surgiu apenas uma vez em formigas, nos Myrmicinae Attini, que incluem espécies dependentes obrigatórias da cultura de fungos mutualísticos para alimentar os adultos e larvas (MUELLER et al., 2001). Em sua quase totalidade, o fungo cultivado pelas Attini pertence a dois gêneros – *Leucoagaricus* e *Leucocoprinus* – pertencentes à tribo Leucocoprineae, da família Lepiotaceae (Agaricales: Basidiomycota). Essa relação simbiótica surgiu há 50 milhões de anos (WILSON, 1971; SCHULTZ; BRADY, 2008). No entanto, o surgimento dos gêneros especializados no corte de partes vivas de plantas para o cultivo do fungo simbiote, *Atta* Fabricius e *Acromyrmex* Mayr, ocorreu muito tempo depois, entre 5-15 milhões de anos atrás, um período que coincide com a expansão de pastagens na América do Sul. Apenas os gêneros *Atta* e *Acromyrmex* são considerados as verdadeiras formigas cortadeiras, pois todas as espécies dos gêneros utilizam partes verdes de plantas para o cultivo do fungo simbiote (BRANDÃO; MAYHÉ-NUNES; SANHUDO, 2011; DELLA LUCIA; SOUZA, 2011).

Das várias espécies encontradas no Brasil – nove pertencentes ao gênero *Atta* e 24 ao gênero *Acromyrmex* (BACCARO et al., 2015) – apenas algumas são pragas importantes, mas causam consideráveis perdas econômicas para a agricultura, especialmente para *Eucalyptus*, *Citrus*, cana-de-açúcar e pastagens, e são consideradas pragas graves das plantas cultivadas (DELLA LUCIA, 2003).

2.3. Gênero *Atta*

As espécies de *Atta*, popularmente denominadas formigas saúvas, pertencem à tribo Attini, da família Formicidae. As saúvas distinguem-se por possuírem três pares de espinhos dorsais e são geralmente maiores (12 a 15 mm).

Os sistemas de castas e padrões de divisão de trabalho do gênero *Atta* são um dos mais complexos dentre as sociedades das formigas (WILSON, 1980). Na casta operária distinguem-se: jardineiras (largura da cápsula cefálica de 0,8 a 1,0 mm) que cuidam do jardim de fungo e da prole; generalistas (cerca de 1,4 mm de cápsula cefálica) que desenvolvem atividades diversas; forrageadoras e escavadoras (largura da cápsula cefálica de 2,0 a 2,2 mm) que são responsáveis pelas atividades de forrageamento e escavação da colônia; e soldados (cápsula

cefálica de cerca de 3,0 mm) que atuam na defesa da colônia juntamente com as operárias (WILSON, 1980; SOUZA; SANTOS, DELLA LUCIA, 2011).

As colônias construídas pelos insetos sociais são consideradas as mais sofisticadas da natureza (THERAULAZ et al., 1998; HANSELL, 2007), nas formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, além dos mecanismos de proteção, existe ainda grande especialização na construção dessas colônias, atingindo maior complexidade estrutural nas espécies do gênero *Atta*, dentre os Attini (FORTI et al., 2011).

Depois do acasalamento, tanto as fêmeas de *Atta* quanto as de *Acromyrmex* caminham na superfície do solo, perdem suas asas e procuram um lugar para iniciarem a escavação de uma nova colônia. Uma colônia de *Atta* se constitui da parte externamente visível, murundu ou monte de terra solta, que se caracteriza por possuir grande quantidade de orifícios que levam à parte interna, sendo essa formada por túneis de diversos diâmetros e formas, que permitem o trânsito das formigas e interligam os orifícios com as câmaras (FORTI et al., 2011). As colônias de *Atta sexdens* são construídas somente em locais sombreados (MARICONI, 1970), e a deposição de terra sobre essas colônias é bastante irregular (SILVA, 1981).

A distribuição geográfica das saúvas está restrita ao continente americano, ocorrendo desde o sul dos Estados Unidos até o norte da Argentina (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990). No Brasil, as espécies economicamente mais importantes do gênero *Atta* são: *Atta capiguara*, *A. cephalotes*, *A. laevigata*, *A. opaciceps* e *A. sexdens*, incluindo suas subespécies (DELLA LUCIA, 2003).

2.4. Controle químico de formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras apresentam uma série de características que tornam as técnicas de controle desses insetos totalmente diferentes de outras pragas. Essas características incluem o comportamento social, atividades de forrageamento, cultivo de fungos, altos níveis de higiene de indivíduos e das colônias e alta complexidade estrutural dessas colônias (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014).

O controle químico de formigas cortadeiras é a técnica mais importante no manejo de pragas florestais das empresas certificadas e a mais utilizada para o controle de formigas cortadeiras em plantações florestais (ZANETTI et al., 2014), não por simples escolha, mas porque é a única com resultados satisfatórios para o controle dessa praga devido às estratégias comportamentais desses indivíduos (MONTROYA-LERMA et al., 2012; DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014). Os inseticidas mais utilizados para o controle de formigas cortadeiras são a sulfluramida, fipronil, deltametrina e o fenitrothion (ZANETTI et al., 2014), todos proibidos e em processo de derrogação pelo FSC (Forest Stewardship Council).

O controle químico das formigas cortadeiras pode ser aplicado na forma de pós secos, gases liquefeitos, nebulização térmica ou iscas granuladas.

As formulações em pó seco apresentam limitações, como baixa capacidade de penetração nas câmaras mais profundas que abrigam a rainha e o fungo (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014) e, no caso de solos úmidos, aderência do produto às paredes dos canais das colônias, prejudicando a sua eficiência. A utilização de gases liquefeitos no controle de formigas cortadeiras, como o brometo de metila, foi proibido devido à sua alta toxicidade ao homem e ao ambiente. Líquidos termonebulizáveis e iscas granuladas são atualmente as formas mais empregadas no controle das cortadeiras, em razão de sua eficiência e operacionalidade, porém formicidas de formulação líquida apresentam algumas limitações, como o elevado custo de aquisição dos termonebulizadores, manutenção do equipamento, além da necessidade de pessoal treinado para operá-lo (OLIVEIRA et al., 2011).

O uso de iscas tóxicas é mais seguro, prático, econômico (ZANETTI et al., 2014) e supera os desafios da arquitetura da colônia, visto que a isca é transportada e uniformemente distribuída nas câmaras pelas próprias formigas (BRITTO et al., 2016). O principal ingrediente ativo nas iscas é geralmente fipronil ou sulfluramida (OLIVEIRA et al., 2011). O uso desses compostos é restrito pelo Forest Stewardship Council (FSC), que define padrões de segurança

e sustentabilidade ambiental para a certificação internacional de manejo florestal. Empresas florestais enfrentam restrições de certificação, falta de agentes de controle e técnicas para manterem essas pragas abaixo do nível de dano econômico (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014).

O Forest Stewardship Council (FSC), incluiu na lista de produtos com restrição de uso, alguns muito conhecidos e tradicionalmente utilizados no setor de florestas plantadas, para o controle de pragas e doenças, como, por exemplo, a sulfluramida e o fipronil, os dois principais ingredientes ativos utilizados na forma de iscas granuladas, para o controle de formigas cortadeiras (MENEGETTI; REBELO; VITORINO, 2015).

Devido à falta de alternativas eficazes para o controle de formigas cortadeiras, empresas certificadas recorreram a processos de derrogação, para continuarem utilizando esses inseticidas (ZANUNCIO et al., 2016).

As derrogações normalmente são emitidas para um período de cinco anos, não sendo permitida extensão da derrogação depois do vencimento deste prazo. Portanto, as empresas florestais brasileiras, que são certificadas pelo FSC, terão que abandonar ou diminuir drasticamente o uso da sulfluramida e do fipronil e/ou encontrar soluções e produtos alternativos para o controle de formigas cortadeiras, substituindo estes dois ingredientes ativos por outros que não sejam prejudiciais ao meio ambiente, para que não percam as suas certificações deste que é um importante selo verde do mundo (LOPES, 2009).

2.5. Compostos botânicos no controle de formigas cortadeiras

Para desenvolver formicidas eficientes, as pesquisas devem se voltar para substâncias que inibam ou matem rainha e/ou fungo simbiote dessas formigas, matando-as por inanição e assim controlando-as adequadamente. Também é imprescindível para a eficiência no controle que essas substâncias ajam por ingestão, não sejam repelentes, apresentem ação tóxica retardada, sejam letais em baixas concentrações e paralise a atividade de corte logo nos primeiros dias após a aplicação (LEMES et al., 2016).

Os esforços para o desenvolvimento de produtos alternativos aos inseticidas convencionais parecem mal direcionados por procurarem substâncias que matam as operárias e soldados, e não os formigueiros. Agentes de controle biológico e químico que visam a própria rainha ou impactam substancialmente uma casta associada ao cuidado da prole e à presença de rainhas (ou fungos) são mais propensos a ter sucesso, e esses agentes são mais difíceis de obter (ALVES, 2015).

Um dos objetivos dos estudos com as plantas que apresentam potencial inseticida é a obtenção de derivados vegetais naturais para uso direto no controle de pragas. A descoberta de novos compostos aumenta a diversidade de moléculas empregadas no controle de pragas, diminuindo, consequentemente, a probabilidade de ocorrer acúmulo no ambiente e de provocar resistência nos insetos (BUENO, 2005).

Extratos vegetais têm sido testados para o controle das formigas cortadeiras, sendo que várias espécies de plantas, incluindo algumas pertencentes à família Rutaceae, são ativas contra *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae), incluindo *Spiranthera odoratissima* (TEREZAN et al., 2010), *Helietta puberula* (ALMEIDA et al., 2007), *Raulinoa echinata* (BIAVATTI et al., 2005) e *Citrus limon* (FERNANDES et al., 2002), além de *Esenbeckia grandiflora* ativa contra *Atta sexdens sexdens* (GOMES et al., 2016).

Diversas espécies vegetais já foram analisadas visando o controle de *Atta sexdens rubropilosa* (BUENO, 2005), e entre aquelas que apresentaram efeitos satisfatórios encontram-se *Sesamum indicum* (BUENO et al., 2004; MORINI et al., 2005), *Ricinus communis* (BIGI et al., 2004) e *Cedrela fissilis* (BUENO, 2005).

Extratos vegetais de *Carapa guianensis* (Meliaceae), *Elaeis guineenses* (Arecaceae), *Sesamum indicum* (Pedaliaceae), *Ricinus communis* (Euphorbiaceae), *Anacardium occidentale* (Anacardiaceae) e de *Azadirachta indica* (Meliaceae) foram tóxicos a operárias de *A. sexdens rubropilosa*, mas não controlaram formigueiros no campo quando aplicados em nebulização

(SANTOS-OLIVEIRA et al., 2006). Óleos essenciais de sementes de *Citrus* spp. apresentaram baixa toxicidade ao fungo cultivado pelas formigas cortadeiras (FERNANDES et al., 2002). Por isso, a importância de testes em operárias, colônias e no fungo simbiote.

A busca por novos compostos com efeito formicida têm sido o foco de estudos envolvendo produtos de origem vegetal *Eugenia uniflora* (Myrtaceae) e *Melia azedarach* (Meliaceae) (JUNG et al., 2013), *Aristolochia trilobata* (Aristolochiaceae) (OLIVEIRA et al., 2017), *Hyptis pectinata* (Lamiaceae) (FEITOSA-ALCANTARA et al., 2017), *Pogostemon cablin* (Lamiaceae) (ROCHA et al., 2018), *Esenbeckia pumila* (Rutaceae) (DUARTE et al., 2019), se mostram eficientes no controle de espécies de *Atta*.

Os principais comportamentos que promovem a transmissão de inseticidas de uma formiga para outra são autolimpeza, aliciamento e interação direta entre companheiros de colônia. É através desses atos que as formigas são expostas ao ingrediente ativo, tanto tópicamente quanto oralmente. Há a necessidade de avaliar os meios de ação de potenciais compostos inseticidas para o controle de formigas (CAMARGO et al., 2017).

Assim, a busca por moléculas ativas em plantas que são naturalmente evitadas pelas formigas cortadeiras é uma estratégia racional para o desenvolvimento de novos agentes de controle, pois sabe-se que as formigas possuem mecanismos comportamentais e fisiológicos que permitem selecionar materiais adequados para o cultivo do fungo simbiote (HUBBELL; WIEMER, 1983; SANTANA; COUTO, 1990; DELLA LUCIA et al., 1995; VENDRAMIN et al., 1995). Espécies já relatadas na literatura com potencial inseticida e compostos naturais presentes nessas espécies vegetais constituem fontes para novas pesquisas.

Nesse contexto, está inserido o gênero *Cymbopogon* que pertence à família Poaceae e é amplamente distribuído nas regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia e América. Composto por 144 espécies, esse gênero é famoso por seu alto teor de óleos essenciais que têm sido usados em aplicações cosméticas, farmacêuticas e de perfumaria (KHANUJA et al., 2005). Algumas das espécies de *Cymbopogon* são altamente aromáticas e os óleos essenciais extraídos de suas partes aéreas têm o perfil industrial bem conhecido (AKHILA, 2010), contendo constituintes químicos, como citral, geraniol, acetato de geranila, limoneno, neral, elemicina e sequiterpenos (BHATTACHARYA et al., 2010). As gramíneas aromáticas com potencial comercial para a extração de óleos essenciais são *C. flexuosus*, *C. nardus*, *C. citratus*, *C. pendulus*, *C. khasianus*, *C. winterianus* e *C. martini* (CHAUHAN et al., 2009; PADALIA et al., 2011; VERMA et al., 2019).

Cymbopogon citratus (DC.) Stapf (Poaceae) é uma planta perene aromática tropical, conhecida como capim-limão, nativa da Índia e vem sendo atualmente cultivada mundialmente em zonas tropicais e subtropicais da Ásia, África, América Central e do Sul (SHAH et al., 2011; BAYALA et al., 2018). Atividades antifúngicas, antibacterianas, inseticidas, nematocidas e acaricidas usando *C. citratus* foram relatadas (BOUKHATEM et al., 2014; EKPENYONG et al., 2015; AMINI et al., 2016; BONFERONI et al., 2017; ORTEGA-RAMIREZ et al., 2017; EBANI et al., 2018, 2019; SILVA et al., 2020).

Óleos essenciais de *C. citratus* têm sido aplicados no controle de patógenos e insetos, em vários estudos o potencial inseticida desse óleo essencial foi relatado contra várias pragas como *Trogoderma granarium* (FEROZ, 2020), *Sitophilus granarius* (PLATA-RUEDA et al., 2020a), *Uromyces dermatitidis* (PLATA-RUEDA et al., 2020b), *Anticarsia gemmatilis* (lagarta da soja) (PLATA-RUEDA et al., 2021), *Trichoplusia ni* (lagarta do repolho) (TAK; JOVEL; ISMAN, 2016), *Aphis citricola* (pulgão) (ZHANG et al., 2016), *Bemisia tabaci* (mosca branca) (DELETRE et al., 2016) e *Rhipicephalus microplus* (ácaro) (SILVA et al., 2020).

Cymbopogon martinii (Roxb.) Var. *motia* pertence à família Poaceae e é comumente chamada de palmarosa (KAUR et al., 2019), amplamente utilizada em uma variedade de aplicações devido às suas propriedades antioxidante (LAWRENCE et al., 2012; SINHA et al., 2011), antimicrobiana (PRASHAR et al., 2003), antifúngica (ROCHA NETO et al., 2019) e repelente (CHEN; VIJOEN, 2010). O óleo essencial de *C. martinii* apresentou atividade inseticida contra *Callosobruchus maculatus* (PEREIRA et al., 2008) e *Nasutitermes corniger*

(LIMA et al., 2013) e repelência contra *Tribolium castaneum* (CABALLERO-GALLARDO; OLIVERO-VERBEL; STASHENKO, 2012).

Cymbopogon nardus (citronela) é outra espécie importante deste gênero; seu óleo essencial foi recentemente revisado em termos de sua eficácia contra infecções fúngicas causadas por *Candida* spp. (DE TOLEDO et al., 2016) e fungos fitopatogênicos, como *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii* (ALI et al., 2017). Seu óleo essencial é bem conhecido por seu aroma cítrico e bioatividades, como atividade repelente contra mosquitos (TRONGTOKIT et al., 2005), antimicrobiano (OUSSALAH et al., 2006; TURGIS et al., 2012), antifúngico (AGUIAR et al., 2014) e efeitos inseticidas (REGNAULT-ROGER et al., 1993).

O óleo essencial de *C. nardus* apresentou ação ovicida em *Bemisia tabaci* (TAVARES; SALLES; OBRZUT, 2010), toxicidade à broca do café *Hypothenemus hampei* (MENDESIL; TADESSE; NEGASH, 2011) e ao gorgulho do milho *Sitophilus zeamais* (OOTANI et al., 2011), além de apresentar repelência ao caruncho do feijão *Zabrotes subfasciatus* (GIRÃO FILHO et al., 2014).

A busca por novos compostos para controlar ou eliminar formigas cortadeiras é nítida. Até o momento não existem outros ingredientes ativos para o controle das formigas cortadeiras tão eficientes como o fipronil e sulfluramida e, por isso, a necessidade de se avaliar produtos alternativos. Sendo assim, os compostos de plantas podem ser uma fonte de pesquisa para a elaboração de novas tecnologias de controle.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R. W. D. S.; OOTANI, M. A.; ASCENCIO, S. D.; FERREIRA, T. P. S.; SANTOS, M. M.; SANTOS, G. R. Fumigant antifungal activity of *Corymbia citriodora* and *Cymbopogon nardus* essential oils and citronellal against three fungal species. **The Scientific World Journal**, v. 30, p. 1-8, 2014.
- AKHILA, R. P. **Essential Oil-Bearing Grasses - The genus Cymbopogon**. CRC Press, Boca Raton, FL. 2010. p. 262.
- ALI, E. O. M.; SHAKIL, N. A.; RANA, V. S.; SARKAR, D. J.; MAJUMDER, S.; KAUSHIK, P.; SINGH, B. B.; KUMAR, J. Antifungal activity of nano emulsions of neem and citronella oils against phytopathogenic fungi, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii*. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 379-387, 2017.
- ALÍPIO, A. S. 1989. Controle de formigas-cortadeiras. **Normas técnicas da Pains Florestal**. 8p.
- ALMEIDA, R. N. A.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; SIMOTE, S.Y.; BUENO, O. C.; HEBLING, M. J. A.; PAGNOCCA, F. C.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; SILVA, M. F. G. F. Toxicity of substances isolated from *Helietta puberula* Re Fr. (Rutaceae) to the leaf-cutting ant *Atta sexdens* L. (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Singer) Möller. **Bioassay**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2007.
- ALVES, P. G. L. **Certificação florestal do Forest Stewardship Council (FSC) e o Manejo Integrado de Pragas florestais em empreendimentos certificados**. 2015. 144f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais-MG, 2015.
- AMINI, J.; FARHANG, V.; JAVADI, T.; NAZEMI, J. Antifungal effect of plant essential oils on controlling phytophthora species. **The Plant Pathology Journal**, v. 32, n. 1, p. 16-24, 2016.
- ANJOS, N.; DELLA LUCIA, T. M. C.; MAYHÉ-NUNES, A. J. **Guia prático sobre formigas cortadeiras em reflorestamento**, Ponte Nova, MG: Graff Cor, 1998. 100p.
- AUTUORI, M. La fondation des sociétés chez les fourmis champignonnistes du genre 'Atta' (Hym. Formicidae). In: AUTUORI, M. (Ed.). **L'instinct dans le comportement des animaux et de l'homme**. Paris: Masson et Cie, 1956. p. 77-104.
- AVOSEH, O.; OYEDEJI, O.; RUNGQU, P.; NKEH-CHUNGAG, B.; OYEDEJI, A. *Cymbopogon* species; ethnopharmacology, phytochemistry and the pharmacological importance. **Molecules**, v. 20, p. 7438-7453, 2015.
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. **Guias para gênero de formigas do Brasil**. Editora Inpa, 2015. 288p.
- BAYALA, B.; BASSOLE, I. H. N.; MAQDASY, S.; BARON, S.; SIMPORE, J.; LOBACCARO, J. M. A. *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils have cytotoxic effects on tumor cell cultures. Identification of citral as a new putative anti-proliferative molecule. **Biochimie**, v. 153, p. 162-170, 2018.

BIAVATTI, M. W.; WESTERLONA, R.; VIEIRA, P. C.; SILVA, M. F. G. F.; FERNANDES, J. B.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; BUENO, O. C.; ELLENA, J. Leaf-Cutting Ants Toxicity of Limonexic Acid and Degraded Limonoids from *Raulinoa echinata*. X-Ray Structure of Epoxy-fraxinellone. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 16, n. 6B, p. 1443-1447, 2005.

BIGI, M. F. M. A.; TORKOMIAN, V. L. V.; GROOTE, S. T. C. S.; HEBLING, M. J. A.; BUENO, O. C.; PAGNOCCA, F. C.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; SILVA, M. F. G. F. Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) and ricinine against the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus*. **Pest Management Science**, v. 60, p. 933-938, 2004.

BOLTON, B. Synopsis and classification of Formicidae. **Memoirs of the American Entomological Institute**, 71, p. 1-370, 2003.

BOLTON, B.; ALPERT, G.; WARD, P. S.; NASKRECKI, P. (Eds.). **Bolton's catalogue of ants of the world**. 1758-2005. Cambridge: Harvard University Press, 2006. CD-ROM.

BONFERONI, M.C.; SANDRI, G.; ROSSI, S.; USAI, D.; LIAKOS, I.; GARZONI, A.; FIAMMA, M.; ZANETTI, S.; ATHANASSIOU, A.; CAMELLA, C.; FERRARI, F. A novel ionic amphiphilic chitosan derivative as a stabilizer of nanoemulsions: Improvement of antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* essential oil. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 152, p. 385-392, 2017.

BOUKHATEM, M. N.; FERHAT, M. A.; KAMELI, A.; SAIDI, F.; KEBIR, H. T. Lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as a potent anti-inflammatory and antifungal drugs. **Libyan Journal of Medicine**, v. 9, n. 1, p. 58-62, 2014.

BRANDÃO, C. R. F.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; SANHUDO, C. E. D. Taxonomia e filogenia das formigas-cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011. p. 27-48.

BRITTO, J. S.; FORTI, L. C.; OLIVEIRA, M. A.; ZANETTI, R.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C.; LOECK, A. E.; CALDATO, N.; NAGAMOTO, N. S.; LEMES, P. G.; CAMARGO, R. S. Use of alternatives to PFOS, its salts and PFOSF for the control of leaf-cutting ants *Atta* and *Acromyrmex*. **International Journal of Research in Environmental Studies**, v. 3, p. 11-92, 2016.

BUENO, O. C.; BUENO, F. C.; BROCHINI, J.; SINHORI, K.; MORINI, M. S. C.; HEBLING, M. A.; PAGNOCCA, F. C.; LEITE, A. C.; VIEIRA, P. C.; FERNANDES, J. B. Activity of sesame leaf extracts to the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 44, n. 3, p. 511-518, 2004.

BUENO, O. C. Plantas inseticidas no controle de formigas cortadeiras. **Agroecologia-Hoje**, v. 4, n. 28, p. 20-22, 2005.

CABALLERO-GALLARDO, K.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. E. Repellency and toxicity of essential oils from *Cymbopogon martinii*, *Cymbopogon flexuosus* and *Lippia organoides* cultivated in Colombia against *Tribolium castaneum*. **Journal of Stored Products Research**, v. 50, p. 62-65, 2012.

CAMARGO, R. S.; PUCCINI, C.; FORTI, L. C.; MATOS C. A. O. Behaviors in fungus garden cultivation: routes of contamination of leaf cutting ant workers with fat-soluble tracer dye. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 5, n. 4, p. 555-560, 2017.

CHAUHAN, A.; RAHMAN, L.; VERMA, R. S.; SINGH, A.; VERMA, R. K.; YADAV, A. K.; MISHRA, S.; KUKREJA, A. K.; KHANUJA, S. P. S. Improved varietal development of medicinal and aromatic plants – a review. **Journal of Medicinal and Aromatic Plants**, v. 31, p. 246-255, 2009.

CHEN, W.; VIJOEN, A. M. Geraniol - a review of a commercially important fragrance material. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 4, p. 643–651, 2010.

DE TOLEDO, L. G.; RAMOS, M. A. S.; SPÓSITO, L.; CASTILHO, E. M.; PAVAN, F. R.; LOPES, E. O.; ZOCCOLO, G. J.; SILVA, F. A. N.; SOARES, T. H.; SANTOS, A. G.; BAUAB, T. M.; ALMEIDA, M. T. G. Essential Oil of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle: A Strategy to Combat Fungal Infections Caused by *Candida* Species. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 8, 2016.

DELETRE, E.; CHANDRE, F.; BARKMAN, B.; MENUT, C.; MARTIN, T. Naturally occurring bioactive compounds from four repellent essential oils against *Bemisia tabaci* whiteflies. **Pest Management Science**, v. 72, n. 1, p. 179-189, 2016.

DELLA LUCIA, T. M. C.; OLIVEIRA, M. A.; ARAÚJO, M. S.; VILELA, E. F. Avaliação da não preferência da formiga cortadeira *Acromyrmex subterraneus subterraneus* Forel ao corte de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 19, n. 1, p. 92-99, 1995.

DELLA LUCIA, T. M. C. Hormigas de importancia económica em la región Neotropical. In: Fernandez, F. Introducción a las hormigas de la región Neotropical. **Acta Noturna**, v. 24, p. 337-349, 2003.

DELLA LUCIA, T. M. C.; SOUZA, D. J. Importância e história de vida das formigas-cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011. p. 13-26.

DELLA LUCIA, T. M.; GANDRA, L. C.; GUEDES, R. N. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. **Pest Management Science**, v. 70, p. 14-23, 2014.

DUARTE, G. K. G. F.; MENEZES, A. C. S.; NAVES, P. L.; BUENO, O. C.; SANTOS, R. G.; SILVA-JUNIOR, W. M. Toxicidade de *Esenbeckia pumila* Pohl (Rutaceae) sobre *Artemia salina* e *Atta sexdens rubropilosa*. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, 2019.

EBANI, V.; NAJAR, B.; BERTELLONI, F.; PISTELLI, L.; MANCIANTI, F.; NARDONI, S. Chemical composition and in vitro antimicrobial efficacy of sixteen essential oils against *Escherichia coli* and *Aspergillus fumigatus* isolated from poultry. **Veterinary Sciences**, v. 5, n. 3, p. 62-75, 2018.

EBANI, V. V.; NARDONI, S.; BERTELLONI, F.; TOSI, G.; MASSI, P.; PISTELLI, L.; MANCIANTI, F. In vitro antimicrobial activity of essential oils against *Salmonella enterica* serotypes enteritidis and typhimurium strains isolated from poultry. **Molecules**, v. 24, n. 5, p. 900-909, 2019.

EKPENYONG, C. E.; AKPAN, E.; NYOH, A. Ethnopharmacology, phytochemistry, and biological activities of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf extracts. **Chinese Journal of Natural Medicines**, v. 13, n. 5, p. 321-337, 2015.

FAO (Food And Agriculture Organization). 2015. Guide for country reporting for FRA 2015. Working Paper 184. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-au190e.pdf>>. Acesso em: 7 de nov. de 2020.

FEITOSA-ALCANTARA, R. B.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; ALVES, P. B.; SILVA, I. M. A.; SOARES, C. A.; SAMPAIO, T. S.; NOGUEIRA, P. C. L.; ARRIGONI-BLANK, M. F. Essential oils of *Hyptis pectinata* chemotypes: isolation, binary mixtures and acute toxicity on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, 2017.

FERNANDES, J. B.; DAVID, V.; FACCHINI, P. H.; SILVA, M. F. G. F.; RODRIGUES-FILHO, E.; VIEIRA, P. C. Extrações de óleos de sementes de citros e suas atividades sobre a formiga cortadeira *Atta sexdens* e seu fungo simbiote. **Química Nova**, v. 25, n. 6B, p. 1091-1095, 2002.

FEROZ, A. Efficacy and cytotoxic potential of deltamethrin, essential oils of *Cymbopogon citratus* and *Cinnamomum camphora* and their synergistic combinations against stored product pest, *Trogoderma granarium* (Everts). **Journal of Stored Products Research**, v. 87, p. 101614, 2020.

FORTI, L. C.; MOREIRA, A. A.; ANDRADE, A. P. P.; CASTELLANI, M. A.; CALDATO, N. Nidificação e arquitetura de ninhos de formigas-cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011. p. 102-125.

GIRÃO FILHO, J. E.; ALCÂNTARA NETO, F.; PÁDUA, L. E. M.; PESSOA, E. F. Repelência e atividade inseticida de pós vegetais sobre *Zabrotes subfasciatus* Boheman em feijão-fava armazenado. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, p. 499-504, 2014.

GOMES, M. C. A. R.; DE PAULA, V. F.; MOREIRA, A. A.; CASTELLANI, M. A.; DE MACEDO, G. E. L. Toxicity of plant extracts from Bahia, Brazil, to *Atta sexdens sexdens* workers (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 63, n. 2, 2016.

HANSELL, M. H. **Built b animals: the natural history of animal architecture**. 1st. ed. New York: Oxford University Press Inc., 2007. 268p.

HERNANDEZ, J. V.; JAFFÉ, K. Dano econômico causado por populações de formigas *Atta laevigata* (F. Smith) em plantações de *Pinus caribaea* Mor. e elementos para o manejo da praga. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 24, n. 2, p. 287-298, 1995.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The ants**. The Belknap Press of Harvard University, Cambridge, Massachusetts. 1990. 732p.

HUBBELL, S. P.; WIEMER, D. F. Host plant selection by an attine ant. In: **Proceedings of the first international symposium on social insects in the tropics**. p. 133-154, 1983.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual 2019**. 80f. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 14 de out. de 2020.

JUNG, P. H.; SILVEIRA, A. C.; NIERI, E. M.; POTRICH, M.; SILVA, E. R. L.; REFATTI, M. Atividade inseticida de *Eugenia uniflora* L. e *Melia azedarach* L. Sobre *Atta laevigata* Smith. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 191-196, 2013.

KAUR, G.; ARYA, S. K.; SINGH, B.; SINGH, S.; DHAR, Y. V.; VERMA, P. C.; GANJEWALA, D. Transcriptome analysis of the palmarosa *Cymbopogon martinii* inflorescence with emphasis on genes involved in essential oil biosynthesis. **Industrial Crops and Products**, v. 140, 111602, 2019.

KHANUJA, S. P. S.; SHASANY, A. K.; PAWAR, A.; LAL, R. K.; DAROKAR, M. P.; NAQVI, A. A.; RAJKUMAR, S.; SUNDARESAN, V.; LAL, N.; KUMAR, S. Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon* Spreng. (Poaceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 33, p. 171–186, 2005.

LAWRENCE, K.; LAWRENCE, R.; PARIHAR, D.; SRIVASTAVA, R.; CHARAN, A. Antioxidant activity of Palmarosa essential oil (*Cymbopogon martinii*) grown in north Indian plains. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 2, p. 888-891, 2012.

LEMES, P. G.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E.; LAWSON, S. A. Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy and integrated pest management in certified tropical plantations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 2, p. 1283-1295, 2016.

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. F.; ALVES, P. B.; SANTOS, D. 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.

LOPES, G. A. **Política de uso de agroquímicos adotada pelo FSC**. (Revista Opiniões, 2009). Disponível em: <<http://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/revistas/32/#page/39>>. Acesso em: 3 de dez. de 2020.

MARICONI, F. A. M. **As saúvas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1970. 167p.

MATRANGOLO, C. A. R.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, T. M. C.; DELLA LUCIA, R. M.; MENDES, A. F. N.; COSTA, J. M. F. N.; LEITE, H. G. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 952-957, 2010.

MENDESIL, E.; TADESSE, M.; NEGASH, M. Efficacy of plant essential oils against two major insect pests of coffee (Coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, and antestia bug, *Antestiopsis intricata*) and maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 45, n. 3, p. 366-372, 2011.

MENEGHETTI, C.; REBELO, R. A.; VITORINO, M. D. Efeito do óleo essencial das folhas de *Drimys angustifolia* em colônias de *Acromyrmex* spp. em plantio de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 755-768, 2015.

MONTOYA-LERMA, J.; GIRALDO-ECHEVERRI, C.; ARMBRECHT, I.; FARJI-BRENER, A.; CALLE, Z. Leaf-cutting ants revisited: towards rational management and control. **International Journal of Pest Management**, v. 58, p. 225–247, 2012.

MORINI, M. S. C.; BUENO, O. C.; BUENO, F. C.; LEITE, A. C.; HEBLING, M. J. A.; PAGNOCCA, F. C.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; SILVA, M. F. G. F. Toxicity of sesame seed to leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 45, n. 1, p. 195-204, 2005.

MUELLER, U. G.; SCHULTZ, T. R.; CURRIE, C. R.; ADAMS, R. M.; MALLOCH, D. The origin of the attine ant-fungus mutualism. **The Quarterly Review of Biology**, v. 76, n. 2, p. 169-197, 2001.

OLIVEIRA, M. A.; ARAÚJO, M.S.; MARINHO, C. G. S.; RIBEIRO, M. M. R.; DELLA LUCIA, T. M. C. Manejo de formigas-cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (ed) **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011. p. 400-419.

OLIVEIRA, B. M. S.; MELO, C. R.; ALVES, P. B.; SANTOS, A. A.; SANTOS, A. C. C.; SANTANA, A. S.; ARAÚJO, A. P. A.; NASCIMENTO, P. E. S.; BLANK, A. F.; BACCI, L. Essential oil of *Aristolochia trilobata*: synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, 2017.

OOTANI, M. A.; AGUIAR, R. W. S.; MELLO, A. V.; DIDONET, J.; PORTELLA, A. C. F.; NASCIMENTO, I. R. Toxicidade de óleos essenciais de eucalipto e citronela sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **Bioscience Journal**, v. 27, n. 4, p. 609-618, 2011.

ORTEGA-RAMIREZ, L. A.; SILVA-ESPINOSA, B. A.; VARGAS-ARISPURO, I.; GONZALES-AGUILAR, G. A.; CRUZ-VALENZUELA, M. R.; NAZZARO, F.; AYALA-ZAVALA, J. F. Combination of *Cymbopogon citratus* with *Allium cepa* essential oils increased antibacterial activity in leafy vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 7, p. 2166–2173, 2017.

OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; SAUCIER, L.; LACROIX, M. Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. **Meat Science**, v. 73, n. 2, p. 236-244, 2006.

PADALIA, R. C.; VERMA, R. S.; CHANOTIA, C. S.; YADAV, A. Chemical fingerprinting of the fragrant volatiles of nineteen Indian cultivars of *Cymbopogon* Spreng. (Poaceae). **Records of Natural Products**, v. 5, n. 4, p. 290-299, 2011.

PEREIRA, A. C. R. L.; OLIVEIRA, J. V.; GONDIM JUNIOR, M. G. C.; CÂMARA, C. A. G. Atividade inseticida de óleos essenciais e fixos sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) em grãos de Caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 717-724, 2008.

PLATA-RUEDA, A.; ROLIM, G. S.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E.; MARTINEZ, L. C. Acute toxicity and sublethal effects of lemongrass essential oil and their components Against the granary weevil, *Sitophilus granarius*. **Insects**, v. 11, 379, 2020a.

PLATA-RUEDA, A.; MARTINEZ, L. C.; ROLIM, G. S.; COELHO, R. P.; SANTOS, M. H.; TAVARES, W. S.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Insecticidal and repelente activities of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoids (citral and geranyl acetate) against *Ulomoides dermestoides*. **Crop Protection**, v. 137, 105299, 2020b.

PLATA-RUEDA, A.; FIAZ, M.; BRUGGER, B. P.; CANAS, V.; COELHO, R. P.; ZANUNCIO, J. C.; MARTÍNEZ, L. C.; SERRÃO, J. E. Lemongrass essential oil and its components cause effects on survival, locomotion, ingestion, and histological changes of the midgut in *Anticarsia gemmatilis* caterpillars. **Toxin Reviews**, 2021.

PRASHAR, A.; HILI, P.; VENESS, R. G.; EVANS, C. S. Antimicrobial action of palmarosa oil (*Cymbopogon martinii*) on *Saccharomyces cerevisiae*. **Phytochemistry**, v. 63, n. 5, p. 569–575, 2003.

REGNAULT-ROGER, C.; HAMRAOUI, A.; HOLEMAN, M.; THERON, E.; PINEL, R. Insecticidal effect of essential oils from Mediterranean plants upon *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera, Bruchidae), a pest of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, n. 6, p. 1233-1244, 1993.

ROCHA, A. G.; OLIVEIRA, B. M. S.; MELO, C. R.; SAMPAIO, T. S.; BLANK, A. F.; LIMA, A. D.; NUNES, R. S.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Lethal effect and behavioral responses of leaf-cutting ants to essential oil of *Pogostemon cablin* (Lamiaceae) and its nanoformulation. **Neotropical Entomology**, v. 47, p. 769–779, 2018.

ROCHA NETO, A. C.; NAVARRO, B. B.; CANTON, L.; MARASCHIN, M.; PIERO, R.M. Antifungal activity of palmarosa (*Cymbopogon martinii*), tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and star anise (*Illicium verum*) essential oils against *Penicillium expansum* and their mechanisms of action. **LWT - Food Science and Technology**, v. 105, p. 385-392, 2019.

SANTANA, D. L. Q.; COUTO, L. Resistência intra-específica de eucaliptos a formigas-cortadeiras. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 20, p. 13-21, 1990.

SANTOS-OLIVEIRA, M. F. S.; BUENO, O. C.; MARINI, T.; REISS, I. C. Toxicity of *Azadirachta indica* to leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 47, n. 2, p. 1-9, 2006.

SCHULTZ, T. R.; BRADY, S. G. Major evolutionary transitions in ant agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 105, n. 5435-5440, 2008.

SHAH, G.; SHRI, R.; PANCHAL, V.; SHARMA, N.; SINGH, B.; MANN, A. S. Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, Stapf (Lemon grass). **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research**, v. 2, n. 1, p. 3-8, 2011.

SILVA, L. M. S. R. **Análise da arquitetura externa de saúveiros de *Atta opaciceps* Borgmeier, 1939 (Hymenoptera: Formicidae)**. 1981. 93f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 1981.

SILVA, D. C.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; FARO, R. R. N.; PINTO, J. A. O.; PEREIRA, K. L. G. Toxicity and behavioral alterations of essential oils of *Eplingiella fruticosa* genotypes and their major compounds to *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 116, p. 181-187, 2019.

SILVA, L. C.; PERINOTTO, M. S.; SÁ, F. A.; SOUZA, M. A. A.; BITENCOURT, R. O. B.; SANAVRIA, A.; SANTOS, H. A.; MARIE-MAGDELEINE, C.; ANGELO, I. C. In vitro acaricidal activity of *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus* and *Mentha arvensis* against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Experimental Parasitology**, v. 2016, 107937, 2020.

SINHA, S.; BISWAS, D.; MUKHERJEE, A. Antigenotoxic and antioxidant activities of palmarosa and citronella essential oils. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 137, n. 3, p. 1521-1527, 2011.

SOUZA, D. J.; SANTOS, J. F. L.; DELLA LUCIA, T. M. C. Organização social das formigas-cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2011. p. 126-140.

TAK, J.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Contact, fumigant, and cytotoxic activities of thyme and lemongrass essential oils against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 183-193, 2016.

TAVARES, A. P.; SALLES, R. F. M.; OBRZUT, V. V. Efeito ovicida de nim, citronela e sassafrás sobre a mosca branca *Bemisia* spp. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 8, n. 2, p. 153-159, 2010.

TEREZAN, A. P.; ROSSI, R. A.; ALMEIDA, R. N. A.; FREITAS, T. G.; FERNANDES, J. B.; SILVA, M. F. G. F.; VIEIRA, P. C.; BUENO, O. C.; PAGNOCCA, F. C.; PIRANIC, J. R. Activities of Extracts and Compounds from *Spiranthera odoratissima* St. Hil. (Rutaceae) in Leaf-cutting Ants and their Symbiotic Fungus. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, n. 5, p. 882-886, 2010.

THERAULAZ, G.; BONABEAU, E.; DENEUBOURG, J. L. The origin of nest complexity in social insects. **Complexity**, New York, v. 3, p. 15-25, 1998.

TRONGTOKIT, Y.; RONGSRIYAM, Y.; KOMALAMISRA, N.; APIWATHNASORN, C. Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites. **Phytotherapy Research**, v. 19, n. 4, p. 303-309, 2005.

TURGIS, M.; KHANH D. V.; DUPONT, C.; LACROIX, M. Combined antimicrobial effect of essential oils and bacteriocins against foodborne pathogens and food spoilage bacteria. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 696-702, 2012.

VENDRAMIN, J. D.; SILVEIRA NETO, S.; CERIGNONI, J. A. Não-preferência de *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae) por espécies de *Eucalyptus*. **Ecossistema**, v. 20, p. 87-92, 1995.

VERMA, R. S.; SINGH, S.; PADALIA, R. C.; TANDON, S.; VENKATESH, K. T.; CHAUHAN, A. Essential oil composition of the sub-aerial parts of eight species of *Cymbopogon* (Poaceae). **Industrial Crops and Products**, v. 142, 111839, 2019.

VO, T. L.; MUELLER, U. G.; MIKHEYEV, A. S. Free-living fungal symbionts (Lepiotaceae) of fungus-growing ants (Attini: Formicidae). **Mycologia**, v. 101, n. 2, p. 206-210, 2009.

WEBER, N. Gardening Ants, the Attines. **Memoirs of the American Philosophical Society**, v. 92, p. 1-146, 1972.

WILSON, E. O. **The insects societies**. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 1971. 548p.

WILSON, E. O. Caste and division of labor in leaf-cutter ants (Hymenoptera: Formicidae: *Atta*) - I. The overall pattern in *A. sexdens*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 7, p. 143-156, 1980.

WILSON, E. O.; HÖLLDOBLER, B. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 21, p. 7411-7414, 2005.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; VILELA, E. F.; LEITE, H. G.; JAFFE, K.; OLIVEIRA, A. C. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* Plantations in Brazil. **Sociobiology**, v. 42, n. 2, p. 433- 442, 2003.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; SANTOS, J. C.; SILVA, W. L. P.; RIBEIRO, G. T.; LEMES, P. G. An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. **Forests**, v. 5, n. 1, p. 439–454, 2014.

ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G.; ANTUNES, L. R.; MAIA, J. L. S.; MENDES, J. E. P.; TANGANELLI, K. M.; SALVADOR, J. F.; SERRÃO, J. E. The impact of the Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy on the management of leaf-cutting ants and termites in certified forests in Brazil. **Annals of Forest Science**, v. 73, n. 2, p. 205-14, 2016.

ZHANG, C.; LIU, R.; HE, J.; MA, Z.; ZHANG, X. Chemical compositions of *Ligusticum chuanxiong* oil and lemongrass oil and their joint action against *Aphis citricola* van der Goot (Hemiptera: Aphididae). **Molecules**, v. 21, n. 10, 1359, 2016.

4. ARTIGO 1

ATIVIDADE INSETICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon* spp. (POACEAE) EM OPERÁRIAS DE *Atta sexdens* (FORMICIDAE: ATTINI)

RESUMO

As formigas cortadeiras, principalmente as espécies de *Atta*, são consideradas as principais pragas, causando perdas econômicas significativas em diversas culturas agrícolas e florestais. Evidências etnofarmacológicas mostram que óleos essenciais possuem ampla gama de propriedades que justificam seu uso em diversos campos, como cosméticos, agentes anti-inflamatórios e também no controle de insetos pragas. Dentre as alternativas para o controle de insetos pragas, as espécies de *Cymbopogon* são conhecidas por seu elevado teor de óleos essenciais. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a atividade inseticida e os efeitos subletais do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon martinii* e *Cymbopogon nardus* em operárias de *Atta sexdens*, expostas à aplicação tópica por contato e fumigação. Os tratamentos apresentaram concentrações letais para matar 50% das operárias que variaram de 1,48 a 15,79 μL^{-1} quando as operárias foram expostas à aplicação tópica por contato e 3,08 a 9,35 μL^{-1} quando expostas à fumigação. O óleo essencial de *C. citratus* apresentou atividade inseticida, enquanto os óleos essenciais de *C. martinii* e *C. nardus* apresentaram menor atividade inseticida, afetando o comportamento de caminhamento das operárias de *A. sexdens*. Os resultados evidenciaram que os óleos essenciais avaliados são promissores para o desenvolvimento de novos inseticidas para o controle de *Atta sexdens*.

Palavras-chave: Bioinseticida; Controle alternativo; Formigas cortadeiras; Plantações florestais.

ABSTRACT

Insecticidal activity of *Cymbopogon* spp. (Poaceae) essential oil on *Atta sexdens* (Formicidae: Attini) worker ants

Leafcutter ants, mostly of *Atta* species, are considered to be major pests, causing considerable economic losses in many agricultural and forest crops. Ethnopharmacological evidence has shown that essential oils have a wide range of properties that validate their use in different fields, such as cosmetics, pharmacology (as anti-inflammatory agents), and insect pest control. Among the alternative sources for insect pest control, the *Cymbopogon* species are well known for their high concentration of essential oils. The purpose of this study was to evaluate the insecticidal activity and the sub-lethal effects of *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon martinii*, and *Cymbopogon nardus* essential oils on *Atta sexdens* worker ants exposed to topical application through contact and fumigation. The treatments showed lethal concentrations for killing 50% of the worker ants ranging from 1.48 to 15.79 μL^{-1} when the worker ants were exposed to topical application through contact, and from 3.08 to 9.35 μL^{-1} when exposed through fumigation. The *C. citratus* essential oil showed significant insecticidal activity, while *C. martinii* and *C. nardus* essential oils showed less insecticidal activity, affecting the behavior and movement of *Atta sexdens* worker ants. The results showed that the essential oils evaluated are promising for the development of new insecticides for *Atta sexdens* control.

Key-words: Bioinsecticide, Alternative control, Leafcutter ants, Forest crops.

4.1. Introdução

As formigas cortadeiras (Formicidae: Attini) são insetos desfolhadores que se destacam como uma das mais importantes pragas na região Neotropical, pois causam danos às culturas agrícolas e florestais. Além da sua abundância e ampla distribuição, as formigas cortam partes frescas das plantas para servirem de substrato para o fungo simbiótico que elas cultivam (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014; ZANETTI et al., 2014; BRITTO et al., 2016).

Devido à sua voracidade e à grande quantidade de material vegetal que coletam, as formigas cortadeiras causam perdas substanciais nas produções de culturas agrícolas e florestais (BOULOGNE et al., 2012), perdas essas estimadas em vários milhões de dólares por ano (ZANETTI et al., 2014), sendo, portanto, em regiões neotropicais, imprescindível o seu controle para o sucesso do empreendimento agrícola e/ou florestal.

Atta sexdens, uma das principais espécies de formigas cortadeiras, é encontrada em muitos países da América do Sul, sendo que no Brasil, está distribuída em vários estados, principalmente aqueles em que estão associados às plantações de eucalipto (AMARAL et al., 2019).

As estratégias para controle de formigas cortadeiras utilizam essencialmente inseticidas à base de Sulfluramida e Fipronil, para eliminação de colônias, em formulações que incluem concentrados para nebulização, pós secos, fumigantes, mas, principalmente, iscas formicidas granuladas (BOULOGNE et al., 2011).

A busca por novos compostos formicidas tem aumentado constantemente, incluindo nos vegetais com atividade inseticida, principalmente devido à segurança presumida desses compostos para o homem e o meio ambiente (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014).

Espécies de plantas não atacadas por insetos pragas geralmente apresentam metabólitos secundários tóxicos. Esses compostos são promissores como alternativa aos inseticidas organossintéticos e podem ser utilizados no manejo de formigas cortadeiras, possibilitando reduzir os problemas econômicos, sociais e ambientais causados pelos inseticidas

convencionais, além de aumentar o número de ingredientes ativos utilizados no manejo de formigas cortadeiras (FEITOSA-ALCANTARA et al., 2017).

Espécies de *Cymbopogon* são amplamente distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais da África, Ásia e América. Composto por 144 espécies, este gênero é famoso por seu alto teor de óleos essenciais que têm sido usados em aplicações cosméticas, farmacêuticas, de perfumaria, sabores, aromaterapia e fragrâncias (KHANUJA et al., 2005; MEENA et al., 2016), e representam um grupo único de plantas que produzem uma composição diversa de óleos essenciais ricos em monoterpenos (AVOSEH et al., 2015; MEENA et al., 2016).

Evidências etnofarmacológicas evidenciam que eles possuem uma ampla gama de propriedades que justificam seu uso em diversos campos, incluindo no controle de pragas (AVOSEH et al., 2015). Seus efeitos sobre insetos pragas são atribuídos aos monoterpenos, os principais componentes químicos desses óleos essenciais (LU et al., 2018).

O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial inseticida dos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus*, *C. martinii* e *C. nardus* aplicados em operárias de *A. sexdens*, incluindo suas alterações comportamentais.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Óleo essencial

O óleo essencial de *C. citratus* (capim-limão), *C. martinii* (palmarosa) e *C. nardus* (citronela) foram adquiridos da empresa Destilaria Bauru Ltda. (Catanduva, São Paulo, Brasil), extraído por hidrodestilação em escala industrial (EHLERT et al., 2006).

4.2.2. Análise do óleo essencial

A análise dos constituintes químicos dos óleos essenciais foi realizada no Laboratório de Pesquisas em Química Orgânica de Sergipe (LABORGANICS) do Departamento de Química (DQI) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

A análise dos constituintes químicos dos óleos essenciais obtidos foi realizada utilizando CG/EM/DIC (GCMSQP2010 Ultra, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com um amostrador com injeção automática AOC-20i (Shimadzu). As separações foram realizadas em uma coluna capilar de sílica fundida Rtx®-5MS Restek (5%-difenil-95%-dimetilpolisiloxano), 30 m x 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25 µm de espessura de filme, em um fluxo constante de Hélio 5.0 com taxa de 1,2 mL.min⁻¹. As amostras (1,0 µL da solução em acetato de etila) foram injetadas com razão do *split* de 1:10. A temperatura do forno iniciou a partir de 60 °C (permanecendo por 4 min) com taxa de aquecimento de 3 °C.min⁻¹ até 220 °C, e então aquecida até 280 °C a 20 °C.min⁻¹. As temperaturas do injetor e interface foram ambas 280 °C.

Os dados de espectrometria de massas (EM) (cromatograma de íons totais, CIT) foram adquiridos no modo full scan (m/z 40–550) com velocidade de varredura de 0,3 scan/s usando ionização por elétrons (EI) a 70 eV. A temperatura da fonte de íons foi 200 °C. A composição percentual de cada constituinte foi estimada pela área de cada componente dividida pela área total de todos os componentes da amostra. O percentual dos compostos foi calculado através das áreas dos picos do CG-EM e dispostos em ordem de eluição do CG.

Os índices de retenção foram obtidos injetando-se uma mistura de hidrocarbonetos lineares (C₇-C₃₀) e a identificação dos compostos foi realizada com base na comparação dos índices de retenção (VAN DEN DOOL; KRATZ, 1963) e na comparação computadorizada dos espectros de massas adquiridos com aqueles armazenados no banco de dados de espectros de massas das três bibliotecas do equipamento WILEY8, NIST107 e NIST21, juntamente com espectros de massas da literatura (ADAMS, 2007).

4.2.3. Insetos

Foram utilizadas operárias de *Atta sexdens* provenientes da criação massal do Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO), que são mantidas em temperatura e umidade

relativa controladas (25 ± 10 °C e U.R acima de 70%), em colônias artificiais constituídas de três painéis: jardim de fungo (1000 mL), lixo (500 mL) e alimentação (500 mL), sendo flocos de milho e flores de *Hibiscus* sp. os alimentos ofertados comumente. Amostras dos soldados da espécie foram armazenados em álcool 70%, identificados pela pesquisadora e professora Dra. Gabriela Cidália Santos Marinho e depositados na entomoteca do Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO) da UFS.

4.2.4. Bioensaios

Os bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO) do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), em São Cristóvão, estado de Sergipe. Todos os tratamentos foram diluídos no solvente acetona e testes preliminares mostraram que esse solvente não afeta a sobrevivência das formigas. Também foram realizados pré-testes para a determinar as concentrações utilizadas.

4.2.5. Vias de exposição

A toxicidade do óleo essencial foi avaliada por duas vias de exposição: aplicação tópica por contato e por fumigação. Inicialmente foi utilizada a dose de $10 \mu\text{g mg}^{-1}$ no bioensaio de contato e a concentração de $10 \mu\text{L L}^{-1}$ no bioensaio de fumigação para determinar a eficiência dos tratamentos por estas vias de exposição. Testes preliminares com outras espécies de formigas indicam ser esta dose e concentração boas indicadoras de eficiência (OLIVEIRA et al., 2017). Testes posteriores foram realizados com a via de exposição mais eficiente.

Nos dois bioensaios o delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. As unidades experimentais foram acondicionadas em estufa tipo B.O.D. com temperatura de 25 ± 1 °C, umidade relativa >70% e fotoperíodo de 12 horas. Os indivíduos utilizados foram padronizados por tamanho. Avaliações de mortalidade foram realizadas 48 horas após a montagem dos bioensaios e foram considerados mortos os indivíduos que se mantiveram imóveis e não responderam a nenhum estímulo.

4.2.6. Aplicação tópica

No bioensaio de aplicação tópica por contato, cada unidade experimental foi constituída por uma placa de Petri de vidro (9 x 2cm) forrada no fundo por papel filtro umedecido com 0,5 mL de água destilada contendo sete operárias (OLIVEIRA et al., 2017). As placas com as formigas foram mantidas em freezer a -4 °C por 1 min para reduzir a atividade das mesmas e permitir a aplicação tópica dos tratamentos. Testes prévios indicam que esta temperatura e tempo de exposição não afetaram a sobrevivência das formigas. Em cada indivíduo foi aplicado 1 μL do óleo essencial na região protorácica com o auxílio de uma micropipeta de 10 μL , sendo que nas formigas do tratamento controle foi aplicado somente a acetona. As placas contendo os insetos tratados foram cobertas com plástico filme de PVC e acondicionadas em estufa tipo B.O.D.

Para a determinação das concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) foram utilizadas até 10 concentrações do óleo essencial das espécies analisadas para se determinar as curvas de concentração-mortalidade de *A. sexdens*.

4.2.7. Fumigação

No bioensaio de fumigação cada repetição foi constituída por um pote de vidro (250 mL) forrado no fundo por papel filtro umedecido com 0,5 mL de água destilada contendo sete operárias. Testes prévios indicam que este número de formigas por pote e a condição de umidade garantem maior tempo de sobrevivência dos indivíduos (OLIVEIRA et al., 2017). Os tratamentos (óleo essencial) e o controle foram aplicados com o auxílio de uma micropipeta de 10 μL sobre papel filtro de 1 cm^2 (Unifil, cod. 501.009), fixado por uma linha de tecido na parte inferior da tampa do pote. O pedaço de papel filtro de (1 cm^2) foi o veículo de dispersão dos voláteis que recebeu os tratamentos, uma linha manteve esse papel no centro do pote, fora do

alcance das formigas, evitando assim o contato. Foram utilizados 10 μL da solução do óleo essencial das espécies analisadas e de acetona (controle). Os potes foram fechados hermeticamente com tampa plástica e filme de PVC e, posteriormente, colocados em estufa incubadora tipo B.O.D.

Para a determinação das concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) foram utilizadas 10 concentrações do óleo essencial das espécies analisadas para se determinar as curvas de concentração-mortalidade de *A. sexdens*.

4.2.8. Toxicidade aguda por fumigação

A toxicidade aguda por fumigação foi avaliada utilizando as concentrações e tempos letais do óleo essencial das três espécies de *Cymbopogon* em operárias de *A. sexdens*.

Para determinação dos tempos letais (curvas de sobrevivência e TL_{50}) os procedimentos empregados foram semelhantes aos utilizados no bioensaio de fumigação. No entanto, foi utilizada apenas uma concentração (CL_{90} determinada no bioensaio anterior para cada tratamento) com 10 repetições. As avaliações de mortalidade foram realizadas a cada 30 minutos nas duas primeiras horas após a montagem do experimento, a cada 60 minutos até 7 horas, a cada 120 minutos até 23 horas, a cada 240 minutos até 60 horas e, posteriormente, a cada 360 minutos até 123 horas.

4.2.9. Bioensaios comportamentais

Os efeitos comportamentais do óleo essencial de *C. citratus*, *C. martinii* e *C. nardus* em operárias de *A. sexdens* foram divididos em dois bioensaios: arena totalmente tratada e arena parcialmente tratada.

Os bioensaios foram realizados em arenas formadas por placas de Petri (9 cm de diâmetro) forradas com papel filtro na parte inferior, após a aplicação dos tratamentos: acetona (controle) e óleo essencial das espécies (0,1%), os papéis foram colocados em capela de exaustão por 5 minutos para evaporação do solvente (ROCHA, 2018).

No centro de cada arena foi inserida uma operária de *A. sexdens*. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 40 arenas (repetições independentes) para cada tratamento, totalizando 280 arenas nos dois bioensaios. Durante o período experimental não foi observada mortalidade dos insetos.

O movimento de cada inseto dentro da arena foi registrado usando uma câmera de vídeo (modelo WV-CP504, Panasonic SD5 SuperDynamic) equipada com uma lente (Spacecom 1/3'' 3-8mm) e transferido para um computador para análise. Seu movimento foi registrado por 10 minutos ininterruptamente usando o software EthoVision® XT versão 8.5 (Noldus Integration System, Sterling, VA, EUA) (BRITO et al., 2020; MELO et al., 2021).

Nos bioensaios com arena totalmente tratada, os papéis foram completamente tratados com uma alíquota de 0,4 mL da solução dos tratamentos ou com o solvente acetona (controle) e foram avaliados os seguintes parâmetros: distância média percorrida (mm) e a velocidade (mm s^{-1}).

Já nos bioensaios com arena parcialmente tratada, o papel filtro foi cortado em duas partes iguais, no lado tratado foi aplicado 0,2 mL da solução do tratamento (0,1%) e o lado não tratado recebeu 0,2 mL de acetona. Cada lado do papel filtro foi então fixado no fundo da placa de Petri com fita dupla-face, as imagens de vídeo das arenas foram divididas em duas zonas simétricas e foram avaliados os seguintes parâmetros: distância média percorrida (mm) e a velocidade (mm s^{-1}).

4.2.10. Análises estatísticas

Os resultados de mortalidade dos bioensaios de vias de exposição, toxicidade aguda por fumigação para determinação das CLs, foram corrigidos em relação à mortalidade ocorrida na testemunha usando-se a fórmula de Abbott (1925).

Análises de Próbit foram realizadas para determinar as curvas concentração-mortalidade do óleo essencial das espécies analisadas para as operárias de *Atta sexdens*. Foram aceitas curvas com probabilidade maior que 0,05 de aceitação da hipótese de nulidade pelo teste χ^2 . Por meio destas curvas foram obtidas as concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) com seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade usando o software SAEG. As CLs foram comparadas pelo critério da não-sobreposição dos intervalos de confiança (IC_{95}) com a origem do intervalo.

Os resultados dos bioensaios de tempo letal foram submetidos à análise de sobrevivência usando o software Graph Pad-Prism. Este procedimento não-paramétrico permite a estimativa de curvas de sobrevivência obtidas através de estimadores de Kaplan-Meier gerados a partir da proporção de insetos sobreviventes do início até o fim do experimento. Foram determinados os tempos necessários para causar mortalidade em 50% das populações das espécies de formigas para cada tratamento.

A análise de variância foi aplicada aos resultados dos bioensaios comportamentais. Os dados das arenas totalmente e parcialmente tratadas foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

4.3. Resultados

4.3.1. Caracterização do óleo essencial

Um total de 23 componentes foram identificados no óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, correspondendo a 100% da composição total. Os constituintes majoritários foram os monoterpenos: geranial (52,6%) e o neral (41,3%) (Tabela 1). No óleo essencial de *C. martinii* foram identificados 12 componentes, correspondendo a 100% da composição total desse óleo e os constituintes majoritários foram: geraniol (83,3%) e acetato de geranila (11,8%) (Tabela 2). No óleo essencial de *C. nardus* foram encontrados 40 componentes, correspondendo a 100% da composição total e os constituintes majoritários foram: citronelal (34,5%), geraniol (22,4%), citronelol (14,2%) e acetato de geranila (5,0%) (Tabela 3).

4.3.2. Bioensaios de toxicidade

O óleo essencial de *C. citratus* apresentou toxicidade às operárias de *Atta sexdens* quando a via de exposição foi a fumigação, com mortalidade superior a 80% após 48 horas de exposição. As espécies de *C. martinii* e *C. nardus* apresentaram mortalidade de 51 e 60%, respectivamente, por fumigação.

As concentrações desses óleos necessárias para causar mortalidade de 50% das operárias após 48 horas de exposição variam de 1,48 a 15,79 μL^{-1} quando expostas à aplicação tópica por contato e 3,08 a 9,35 μL^{-1} quando expostas à fumigação. Para causar a mortalidade de 90% das operárias de *A. sexdens*, as concentrações variaram de 33,78 a 74,31 μL^{-1} quando expostas à aplicação tópica por contato e 10,95 a 1145,54 μL^{-1} quando expostas à fumigação (Tabela 4).

As concentrações mais baixas comparando a forma de aplicação dentro das espécies foram obtidas quando as substâncias foram aplicadas por fumigação, exceto para *C. citratus* que apresentou a concentração mais baixa na aplicação tópica por contato para matar 50% da população (1,48 μL^{-1}) e *C. nardus* para matar 90% da população (74,31 μL^{-1}) (Tabela 4).

4.3.3. Toxicidade aguda por fumigação

O óleo essencial de *C. nardus* apresentou concentração letal para matar 90% das operárias de *A. sexdens* (1145,54 μL^{-1}). A alta concentração impossibilitou a realização do teste de toxicidade aguda por fumigação.

A sobrevivência das operárias de *A. sexdens* expostas às CL_{90} diminuiu significativamente ao longo do tempo (Teste de Log-rank: $\chi^2 = 124,2$; gl = 1; $P < 0,001$). As

curvas de sobrevivência dos tratamentos diferiram do controle, mas não diferiram entre si, apresentando tempo letal (TL₅₀) semelhantes (Figura 1).

4.3.4. Bioensaios comportamentais

Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para distância total percorrida ($F = 3,713$, $gl = 3$, $P < 0,05$) e velocidade média de caminharmento ($F = 4,082$, $gl = 3$, $P < 0,05$) de operárias de *A. sexdens* expostas aos tratamentos (Figura 2).

As maiores distâncias de caminharmento foram percorridas por operárias de *A. sexdens* expostas ao controle e distâncias mais curtas foram observadas em operárias de *A. sexdens* expostas ao óleo essencial das três espécies utilizadas (Figura 3A). A maior velocidade média de caminharmento foi no controle e em *C. martinii*, enquanto a menor velocidade média foi em *C. citratus* e *C. nardus* (Figura 3B).

Verificou-se diferenças significativas entre os lados tratado e não tratado para todos os tratamentos, diminuindo a distância total percorrida e aumentando a velocidade média de caminharmento de operárias de *A. sexdens* (Figura 4A e 4B). O tratamento que mais influenciou na distância total percorrida por operárias de *A. sexdens* foi o óleo essencial de *C. nardus* ($F = 48,099$, $gl = 2$, $P < 0,05$), seguido do *C. citratus* ($F = 35,356$, $gl = 2$, $P < 0,05$) e *C. martinii* ($F = 36,573$, $gl = 2$, $P < 0,05$) (Figura 4A). A velocidade média também foi impactada, aumentando no lado tratado. O tratamento que mais aumentou essa velocidade das operárias de *A. sexdens* foi *C. nardus* ($F = 10,905$, $gl = 2$, $P < 0,05$), *C. martinii* ($F = 19,978$, $gl = 2$, $P < 0,05$) e *C. citratus* ($F = 16,327$, $gl = 2$, $P < 0,05$) (Figura 4B), mas esses não diferiram entre si significativamente.

4.4. Discussão

Cymbopogon é considerado o mais importante gênero produtor de óleo essencial e compreende 145 espécies, todas aromáticas, as quais fornecem óleos essenciais de alto valor comercial (KAUR et al., 2019). Os principais compostos encontrados nos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus*, *C. martinii* e *C. nardus* coincidem com aqueles relatados na literatura, mesmo em plantas de regiões diferentes (ZHANG et al., 2016; BAYALA et al., 2018; ALVES et al., 2019; SILVA et al., 2020; JUMMES et al., 2020). É bem conhecido que a composição do óleo essencial de espécies botânicas, mesmo pertencendo à mesma espécie de planta, depende de vários fatores, incluindo o tipo de cultivar, sua origem, condições de cultivo, época de colheita, fatores genéticos, climáticos, idade do material utilizado, bem como os métodos utilizados na extração e análise do óleo essencial (SCHOONHOVEN; VAN LOON; DICKE, 2005; CLAIN et al., 2018).

Nos bioensaios de toxicidade, a via de exposição por fumigação foi a mais eficiente, pois aumentou a porcentagem de mortalidade das operárias de *Atta sexdens* (82%), à semelhança do óleo essencial de *Aristolochia trilobata* em operárias de *Acromyrmex balzani* e *A. sexdens*, também superior a 80% quando a via de exposição foi fumigação. Comparado com a aplicação tópica, a fumigação em ambos os estudos foi mais eficiente, possivelmente esse resultado indica que tais compostos não conseguiram atravessar o exoesqueleto em quantidades letais quando aplicados pela via de exposição tópica por contato (OLIVEIRA et al., 2017).

O efeito de fumigação dos óleos essenciais tem sido atribuído à penetração de seus constituintes pelos espiráculos dos insetos devido à ausência de barreiras contra a penetração gasosa em tais estruturas (HADDI et al., 2015). Os compostos dos óleos essenciais podem exercer suas atividades em insetos por meio de efeitos neurotóxicos envolvendo diversos mecanismos, notadamente por meio de GABA, sinapses de octopamina e inibição da acetilcolinesterase (PAVELA; BENELLI, 2016).

Operárias de *A. sexdens* expostas a doses letais do óleo essencial de *C. citratus* tiveram contrações musculares e locomoção alterada, seguidas de paralisia irrecuperável, indicativa de efeitos neurotóxicos, efeito também observado em adultos de *Ulomoides dermestoides*

(PLATA-RUEDA et al., 2020a). Já foram relatados diversos resultados que apontam para efeitos no sistema nervoso de insetos-praga como *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) (KIM et al., 2011), *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae) (ALVES et al., 2019), *Trichoplusia ni* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) (TAK; JOVEL; ISMAN, 2017), *Sitophilus granarius* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae) (PLATA-RUEDA et al., 2020b) e *U. dermestoides* Fairmaire (Coleoptera: Tenebrionidae) (PLATA-RUEDA et al., 2020a) após exposição ao óleo essencial de *C. citratus* (por contato ou fumigação).

As iscas formicidas são os meios mais usuais no controle de formigas cortadeiras, sendo que uma das características ideais das iscas formicidas, é que não mate ou altere o comportamento das formigas durante o carregamento e distribuição na colônia. Lemes et al. (2016) comentam que no desenvolvimento de formicidas eficientes é imprescindível que as substâncias tóxicas não sejam repelentes, que apresentem ação tóxica retardada, que sejam letais em baixas concentrações e que paralise a atividade de corte logo nos primeiros dias após a aplicação. Sendo assim, o maior tempo observado para causar a morte das operárias de *A. sexdens* quando expostas aos óleos essenciais de *C. citratus* e *C. martinii* evidenciam o potencial desses óleos na formulação de iscas granuladas, considerando que haveria mais tempo para as formigas carregarem as iscas tóxicas para o interior da colônia.

Nos bioensaios comportamentais, os tratamentos causaram redução da distância percorrida e velocidade das operárias de *A. sexdens*, quando as arenas eram totalmente tratadas. Esse comportamento pode ser porque as operárias, ao perceberem os compostos e como não existe a possibilidade de fuga, diminuem a atividade, evitando assim maior contato com os compostos. Quando há a possibilidade de escolha (arena parcialmente tratada), as operárias migram para o lado não tratado, e quando caminham na área tratada, aumentam a velocidade na tentativa de evitar os compostos.

Também foram observadas alterações no comportamento das operárias de *A. sexdens* expostas a uma concentração subletal (0,1%), diminuindo a distância total percorrida e aumentando a velocidade média quando a arena foi parcialmente tratada. Mudanças nos padrões de caminhada ocorrem como resultado de efeitos tóxicos no sistema nervoso, que podem estimular ou reduzir a mobilidade dos insetos (PLATA-RUEDA et al., 2020b).

Outra hipótese é que a hiperatividade causada pelo óleo essencial de *C. citratus* seja causada pelo componente citral (geranial + neral), um dos compostos majoritários dessa espécie, que é produzido junto com a 4-metil-3-heptanona, na glândula mandibular nas operárias maiores, que é o feromônio de alarme (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990).

Durante os testes de fumigação foram observados que a partir de concentrações maiores (6 e 9%) para *C. martinii* e *C. nardus*, respectivamente, as operárias apresentaram comportamento de agressão, perdendo a capacidade de reconhecimento e se atacando mutuamente. Marinho et al. (2007) e Ribeiro et al. (2007) verificaram que o β -eudesmol age sinergicamente com o feromônio de alarme, desencadeando a agressão em colônias de *Atta sexdens rubropilosa*, evidenciando que esse produto age no sistema de alarme promovendo a agressão (MARINHO et al., 2006), sendo assim, os compostos presentes nessas espécies podem agir de maneira semelhante quando expostos em concentrações mais altas.

Em contrapartida, em formigas da espécie *Pristomyrmex punctatus* a diminuição dos níveis de dopamina no cérebro foi considerada a causa responsável pelo aumento das respostas agressivas em operárias (HOJO; PIERCE; TSUJI, 2015). Esse neurotransmissor é conhecido como importante sinalizador para mediação de várias mudanças comportamentais em insetos, incluindo os papéis desempenhados na organização de himenópteros sociais (YAGUCHI et al., 2016).

Os óleos essenciais de *C. martinii* e *C. nardus* apresentaram menor atividade inseticida em operárias de *A. sexdens*, mas causaram efeitos subletais. Na literatura essas espécies são relatadas apresentando baixa atividade inseticida, como nesse estudo, mas apresentam atividade repelente a *Tribolium castaneum* (CABALLERO-GALLARDO; OLIVERO-VERBEL;

STASHENKO, 2012) e ao caruncho do feijão *Zabrotes subfasciatus* (GIRÃO FILHO et al., 2014), possivelmente sendo essa atividade repelente o potencial dessas espécies.

4.5. Conclusões

Os óleos essenciais de *Cymbopogon martinii* e *C. nardus* apresentaram menor atividade inseticida em operárias de *Atta sexdens*, mas causaram efeitos subletais. Já o óleo essencial de *C. citratus*, apresentou atividade inseticida em operárias de *A. sexdens*, além de apresentar também alteração do comportamento das operárias, evidenciando ser promissor para o desenvolvimento de novos inseticidas para o manejo de *A. sexdens*.

4.6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE) - Brasil, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES – Código financeiro 001) e à Financiadora de Estudos e Projetos - Brasil (FINEP) pelo apoio financeiro.

4.7. Referências Bibliográficas

ABBOTT, W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-266, 1925. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy**, 4th Edition. Illinois USA: Allured Publishing Corporation, Carol Stream. 2007, 804.

ALVES, M. S.; CAMPOS, I. M.; BRITO, D. D. M. C.; CARDOSO, C. M.; PONTES, E. G.; SOUZA, M. A. A. Efficacy of lemongrass essential oil and citral in controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae), a post-harvest cowpea insect pest. **Crop Protection**, v. 119, p. 191-196, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.02.007>

AMARAL, K. D.; GANDRA, L. C.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA, D. J.; DELLA LUCIA, T. M. C. Effect of azadirachtin on mortality and immune response of leaf-cutting ants. **Ecotoxicology**, v. 28, p. 1190-1197, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02124-z>

AVOSEH, O.; OYEDEJI, O.; RUNGQU, P.; NKEH-CHUNGAG, B.; OYEDEJI, A. *Cymbopogon* species; ethnopharmacology, phytochemistry and the pharmacological importance. **Molecules**, v. 20, p. 7438-7453, 2015. <https://doi.org/10.3390/molecules20057438>

BAYALA, B.; BASSOLE, I. H. N.; MAQDASY, S.; BARON, S.; SIMPORE, J.; LOBACCARO, J. M. A. *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils have cytotoxic effects on tumor cell cultures. Identification of citral as a new putative anti proliferative molecule. **Biochimie**, v. 153, p. 162-170, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2018.02.013>

BOULOGNE, I.; GERMOSEN-ROBINEAU, L.; OZIER-LAFONTAINE, H.; JACOBY-KOALY, C.; AURELA, L.; LORANGER-MERCIRIS, G. *Acromyrmex octospinosus* (Hymenoptera: Formicidae) management. Part1: Effects of TRAMIL's insecticidal plant extracts. **Pest Management Science**, v. 68, p. 313-320, 2011. <https://doi.org/10.1002/ps.2267>

BOULOGNE, I.; PETIT, P.; OZIER-LAFONTAINE, H.; DESFONTAINES, L.; LORANGER-MERCIRIS, G. Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 10, p. 325-347, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10311-012-0359-1>

BRITTO, J. S.; FORTI, L. C.; OLIVEIRA, M. A.; ZANETTI, R.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C.; LOECK, A. E.; CALDATO, N.; NAGAMOTO, N. S.; LEMES, P. G.; CAMARGO, R. S. Use of alternatives to PFOS, its salts and PFOSF for the control of leaf-cutting ants *Atta* and *Acromyrmex*. **International Journal of Research in Environmental Studies**, v. 3, p. 11-92, 2016.

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, 105259, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105259>

CABALLERO-GALLARDO, K.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. E. Repellency and toxicity of essential oils from *Cymbopogon martinii*, *Cymbopogon flexuosus* and *Lippia organoides* cultivated in Colombia against *Tribolium castaneum*. **Journal of Stored Products Research**, v. 50, p. 62-65, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.05.002>

CLAIN, E.; BARANAUSKIENE, R.; KRAUJALIS, P.; SIPAILIENE, A.; MAZDZIERIENE, R.; KAZERNAVICIUTE, R.; KALAMOUNI, C. E.; VENSKUTONIS, P. R. Biorefining of *Cymbopogon nardus* from Reunion Island into essential oil and antioxidant fractions by conventional and high pressure extraction methods. **Industrial Crops and Products**, v. 126, p. 158-167, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.015>

DELLA LUCIA, T. M.; GANDRA, L. C.; GUEDES, R. N. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. **Pest Management Science**, v. 70, p. 14-23, 2014. <https://doi.org/10.1002/ps.3660>

EHLERT, P. A. D.; BLANK, A. F.; ARRIOGONI-BLANK, M. F.; PAULA, J. W. A.; CAMPOS, D. A.; ALVIANO, C. S. Tempo de hidrodestilação na extração de óleo essencial de sete espécies de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, p. 79-80, 2006.

FEITOSA-ALCANTARA, R. B.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; ALVES, P. B.; SILVA, I. M. A.; SOARES, C. A.; SAMPAIO, T. S.; NOGUEIRA, P. C. L.; ARRIGONI-BLANK, M. F. Essential oils of *Hyptis pectinata* chemotypes: isolation, binary mixtures and acute toxicity on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, 2017. <https://doi.org/10.3390/molecules22040621>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

GIRÃO FILHO, J. E.; ALCÂNTARA NETO, F.; PÁDUA, L. E. M.; PESSOA, E. F. Repelência e atividade inseticida de pós vegetais sobre *Zabrotes subfasciatus* Boheman em feijão-fava armazenado. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, p. 499-504, 2014. https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_087

- HADDI, K.; OLIVEIRA, E. E.; FARONI, L. R. A.; GUEDES, D. C.; MIRANDA, N. N. S. Sublethal exposure to clove and cinnamon essential oils induces hormetic-like responses and disturbs behavioral and respiratory responses in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 2815-2822, 2015. <https://doi.org/10.1093/jee/tov255>
- HOJO, M. K.; PIERCE, N. E.; TSUJI, K. Lycaenid caterpillar secretions manipulate attendant and behavior. **Current Biology**, v. 25, p. 2260-2264, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.07.016>
- HOLLDÖBLER, B.; WILSON, E. O. **The ants**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1990. 732p. <https://doi.org/10.1126/science.248.4957.897>
- JUMMES, B.; SGANZERLA, W. G.; ROSA, C. G.; NORONHA, C. M.; NUNES, M. R.; BERTOLDI, F. C.; BARRETO, P. L. M. Antioxidant and antimicrobial poly- ϵ -caprolactone nanoparticles loaded with *Cymbopogon martinii* essential oil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 23, 101499, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101499>
- KAUR, G.; ARYA, S. K.; SINGH, B.; SINGH, S.; DHAR, Y. V.; VERMA, P. C.; GANJEWALA, D. Transcriptome analysis of the palmarosa *Cymbopogon martinii* inflorescence with emphasis on genes involved in essential oil biosynthesis. **Industrial Crops and Products**, v. 140, 111602, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111602>
- KHANUJA, S. P. S.; SHASANY, A. K.; PAWAR, A.; LAL, R. K.; DAROKAR, M. P.; NAQVI, A. A.; RAJKUMAR, S.; SUNDARESAN, V.; LAL, N.; KUMAR, S. Essential oil constituents and RAPD markers to establish species relationship in *Cymbopogon* Spreng. (Poaceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 33, p. 171-186, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2004.06.011>
- KIM, S. I.; CHAE, S. H.; YOUN, H. S.; YEON, S. H.; AHN, Y. J. Contact and fumigant toxicity of plant essential oils and efficacy of spray formulations containing the oils against B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci*. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1093-1099, 2011. <https://doi.org/10.1002/ps.2152>
- LEMES, P. G.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E.; LAWSON, S. A. Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy and integrated pest management in certified tropical plantations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 1283-1295, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7729-3>
- LU, X. J.; GUO, C.; OU, S. W.; JING, Y.; NIU, F. H.; SONG, P.; LI, Z. Q.; LIU, Z.; XU, J.; LI, P.; ZHU, L. M.; YIN, L. Y. Citronellal prevents endothelial dysfunction and atherosclerosis in rats. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 120, p. 3790-3800, 2018. <https://doi.org/10.1002/jcb.27660>
- MARINHO, C. G. S.; RIBEIRO, M. M. R.; DELLA LUCIA, T. M. C.; GUEDES, R. N. C. Aggressive response of pest ant species to β -eudesmol (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 47, n. 2, p. 445-454, 2006.
- MARINHO, C. G. S.; DELLA LUCIA, T. M. C.; RIBEIRO, M. M. R. Aplicação do β -eudesmol em colônias de *Atta sexdens rubropilosa*. **Biológico**, v. 69, suplemento 2, p. 253-255, 2007.

MEENA, S.; KUMAR, S. R.; VENKATA-RAO, D. K.; DWIVEDI, V.; SHILPASHREE, H. B.; RASTOGI, S.; SHASANY, A. K.; NAGEGOWDA, D. A. *De Novo* sequencing and analysis of lemongrass transcriptome provide first insights into the essential oil biosynthesis of aromatic grasses. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 1129, 2016.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01129>

MELO, C. R.; BLANK, A. F.; OLIVEIRA, B. M. S.; SANTOS, A. C. C.; CRISTALDO, P. F.; ARAÚJO, A. P. A.; BACCI, L. Formicidal activity of essential oils of *Myrcia lundiana* chemotypes on *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 139, 105343, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105343>

OLIVEIRA, B. M. S.; MELO, C. R.; ALVES, P. B.; SANTOS, A. A.; SANTOS, A. C. C.; SANTANA, A. S.; ARAÚJO, A. P. A.; NASCIMENTO, P. E. S.; BLANK, A. F.; BACCI, L. Essential oil of *Aristolochia trilobata*: synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, 335, 2017.

<https://doi.org/10.3390/molecules22030335>

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>

PLATA-RUEDA, A.; MARTINEZ, L. C.; ROLIM, G. S.; COELHO, R. P.; SANTOS, M. H.; TAVARES, W. S.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Insecticidal and repelente activities of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoids (citral and geranyl acetate) against *Ulomoides dermestoides*. **Crop Protection**, v. 137, 105299, 2020a.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105299>

PLATA-RUEDA, A.; ROLIM, G. S.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E.; MARTINEZ, L. C. Acute toxicity and sublethal effects of lemongrass essential oil and their componentes Against the granary weevil, *Sitophilus granarius*. **Insects**, v. 11, 379, 2020b.

<https://doi.org/10.3390/insects11060379>

RIBEIRO, M. M. R.; MARINHO, C. G. S.; DELLA LUCIA, T. M. C. Interferência do β -eudesmol no comportamento de alarme de operárias de *Atta sexdens rubropilosa*. **Biológico**, v. 69, suplemento 2, p. 351-354, 2007.

ROCHA, A. G.; OLIVEIRA, B. M. S.; MELO, C. R.; SAMPAIO, T. S.; BLANK, A. F.; LIMA, A. D.; NUNES, R. S.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Lethal effect and behavioral responses of leaf-cutting ants to essential oil of *Pogostemon cablin* (Lamiaceae) and its nanoformulation. **Neotropical Entomology**, v. 47, p. 769–779, 2018.

<https://doi.org/10.1007/s13744-018-0615-6>

SCHOONHOVEN, L. M.; VAN LOON, J. J. A.; DICKE, M. **Insect-Plant Biology**. 2nd ed. Oxford University Press, 2005. 409p.

SILVA, L. C.; PERINOTTO, W. M. S.; SÁ, F. A.; SOUZA, M. A. A.; BITENCOURT, R. O. B.; SANAVRIA, A.; SANTOS, H. A.; MARIE-MAGDELEINE, C.; ANGELO, I. C. In vitro acaricidal activity of *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus* and *Mentha arvensis* against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Experimental Parasitology**, v. 216, 107937, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2020.107937>

TAK, J. H.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Synergistic interactions among the major constituents of lemongrass essential oil against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 90, p. 735-744, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s10340-016-0827-7>

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X)

YAGUCHI, H.; INOUE, T.; SASAKI, K.; MAEKAWA, K. Dopamine regulates termite soldier differentiation through trophallactic behaviours. **Royal Society Open Science**, v. 3, 150574, 2016. <https://doi.org/10.1098/rsos.150574>

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; SANTOS, J. C.; SILVA, W. L. P.; RIBEIRO, G. T.; LEMES, P. G. An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. **Forests**, v. 5, n. 3, p. 439–454, 2014.
<https://doi.org/10.3390/f5030439>

ZHANG, C.; LIU, R.; HE, J.; MA, Z.; ZHANG, X. Chemical compositions of *Ligusticum chuanxiong* oil and lemongrass oil and their joint action against *Aphis citricola* Van Der Goot (Hemiptera: Aphididae). **Molecules**, v. 21, 1359, 2016.
<https://doi.org/10.3390/molecules21101359>

Tabela 1. Constituintes químicos do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.

Pico	tr (min)	Composto	IRR exp.*	IRR lit.**	% área do pico ^a
1	8.175	triciclano	921	921	0,1
2	8.590	α -pineno	932	932	0,2
3	9.155	canfeno	946	946	1,2
4	10.660	6-metil-5-hepten-2-ona	985	981	0,7
5	10.835	mirceno	989	988	tr
6	12.495	limoneno	1027	1024	0,2
7	14.510	NI (cetona alifática)	1070	-	0,3
8	15.825	linalol	1098	1095	0,3
9	18.250	NI	1147	-	0,2
10	18.410	citronelal	1151	1148	0,2
11	18.985	(Z)-isocitral	1163	1160	0,2
12	19.520	rosefurano epóxido	1173	1173	tr
13	19.870	(E)-isocitral	1181	1177	0,7
14	23.135	neral	1240	1235	41,3
15	23.530	piperitona	1257	1249	tr
16	23.670	NI	1259	-	tr
17	24.230	geranial	1271	1264	52,6
18	25.045	acetato de isobornila	1288	1283	tr
19	29.055	α -copaeno	1375	1374	0,2
20	29.340	acetato de geranila	1381	1379	0,4
21	31.040	(E)-cariofileno	1420	1417	0,8
22	32.535	α -humuleno	1454	1452	tr
23	38.058	óxido de cariofileno	1585	1582	0,4
Total					100%

* Índice de retenção experimental calculado de acordo com van den Dool & Kratz (1963);

** Índice de retenção da literatura (Adams, 2007);

^a NI= não identificado.^a tr= traço, <0,1%; % da área do pico calculado pelo CG-EM.**Tabela 2.** Constituintes químicos do óleo essencial de *Cymbopogon martinii*.

Pico	tr (min)	Composto	IRR exp.*	IRR lit.**	% área do pico ^a
1	10.825	mirceno	989	988	0,1
2	12.485	limoneno	1026	1024	0,1
3	12.895	(Z)- β -ocimeno	1035	1032	0,2
4	13.370	(E)- β -ocimeno	1045	1044	0,2
5	15.885	linalol	1099	1095	2,3
6	22.205	NI	1229	-	tr
7	22.760	neral	1241	1235	tr
8	23.420	geraniol	1254	1249	83,3
9	24.440	NI	1276	-	tr
10	29.365	acetato de geranila	1382	1379	11,8
11	31.095	(E)-cariofileno	1421	1417	1,8
12	32.545	α -humuleno	1454	1452	0,2
Total					100%

* Índice de retenção experimental calculado de acordo com van den Dool & Kratz (1963);

** Índice de retenção da literatura (Adams, 2007);

^a NI= não identificado.^a tr= traço, <0,1%; % da área do pico calculado pelo CG-EM.

Tabela 3. Constituintes químicos do óleo essencial de *Cymbopogon nardus*.

Pico	tr (min)	Composto	IRR exp.*	IRR lit.**	% área do pico ^a
1	10.680	6-metil-5-hepten-2-ona	985	981	tr
2	10.820	mirceno	989	988	tr
3	12.535	limoneno	1027	1024	3,3
4	12.900	(Z)- β -ocimeno	1035	1032	tr
5	13.380	(E)- β -ocimeno	1046	1044	tr
6	13.640	bergamal	1051	1051	tr
7	15.280	terpinoleno	1086	1086	tr
8	15.850	linalol	1098	1095	0,7
9	16.360	cis-óxido de rosa	1109	1106	tr
10	18.130	neo-isopulegol	1145	1144	0,5
11	18.435	citronelal	1151	1148	34,5
12	22.120	citronelol	1227	1223	14,2
13	22.835	neral	1242	1235	1,3
14	23.440	geraniol	1255	1249	22,4
15	24.315	geranial	1273	1264	1,6
16	27.270	δ -elemeno	1336	1335	tr
17	28.040	acetato de citronelila	1353	1350	4,0
18	28.330	eugenol	1359	1356	0,3
19	29.460	acetato de geranila	1384	1379	5,0
20	29.850	β -elemeno	1393	1389	2,6
21	31.050	(E)-cariofileno	1420	1417	0,6
22	31.465	β -copaeno	1429	1430	tr
23	32.540	α -humuleno	1454	1452	0,2
24	33.530	γ -muuroleno	1477	1478	tr
25	33.755	germacreno D	1482	1480	1,2
26	33.965	β -selineno	1487	1489	tr
27	34.225	trans-muurola-4(14),5-dieno	1493	1493	tr
28	34.340	valenceno	1495	1496	tr
29	34.540	α -muuroleno	1500	1500	0,3
30	35.140	γ -cadineno	1514	1513	0,4
31	35.540	δ -cadineno	1524	1522	1,4
32	36.115	α -cadineno	1538	1537	tr
33	36.705	elemol	1552	1548	3,8
34	37.750	NI (sesqui. oxigenado)	1578	-	0,8
35	39.285	NI (sesqui. oxigenado)	1616	-	tr
36	39.995	γ -eudesmol	1634	1630	0,1
37	40.350	epi- α -cadinol	1643	1638	0,3
38	40.585	α -muurolol	1649	1644	tr
39	40.760	α -eudesmol	1654	1652	0,5
40	40.900	NI (sesqui. oxigenado)	1657	-	tr
Total					100%

* Índice de retenção experimental calculado de acordo com van den Dool & Kratz (1963);

** Índice de retenção da literatura (Adams, 2007);

^a NI= não identificado.^a tr= traço, <0,1%; % da área do pico calculado pelo CG-EM.

Tabela 4. Toxicidade do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *C. martinii* e *C. nardus* sobre operárias de *Atta sexdens* por aplicação tópica e fumigação após 48 horas de exposição.

Tratamento	Nº de insetos	CL ₅₀ (IC 95%) (µL L ⁻¹)	CL ₉₀ (IC 95%) (µL L ⁻¹)	β^1	χ^2	p-valor
Aplicação tópica						
<i>C. citratus</i>	1148	1,48 (1,02 – 2,62)	47,90 (15,66 – 446,07)	0,85	0,59	0,75
<i>C. martinii</i>	588	6,67 (5,64 – 8,52)	33,78 (20,98 – 78,35)	1,82	2,24	0,53
<i>C. nardus</i>	721	15,79 (11,72 – 25,91)	74,31 (40,19 – 222,44)	1,90	0,70	0,71
Fumigação						
<i>C. citratus</i>	1400	3,45 (3,08 – 3,95)	10,95 (7,92 – 20,55)	2,55	0,70	0,71
<i>C. martinii</i>	280	3,08 (2,40 – 3,93)	32,62 (19,60 – 73,64)	1,25	1,10	0,58
<i>C. nardus</i>	560	9,35 (5,58 – 24,74)	1145,54 (189,91 – *****)	0,61	0,13	0,94

¹ β = inclinação da curva

² χ = Valor de Qui-quadrado

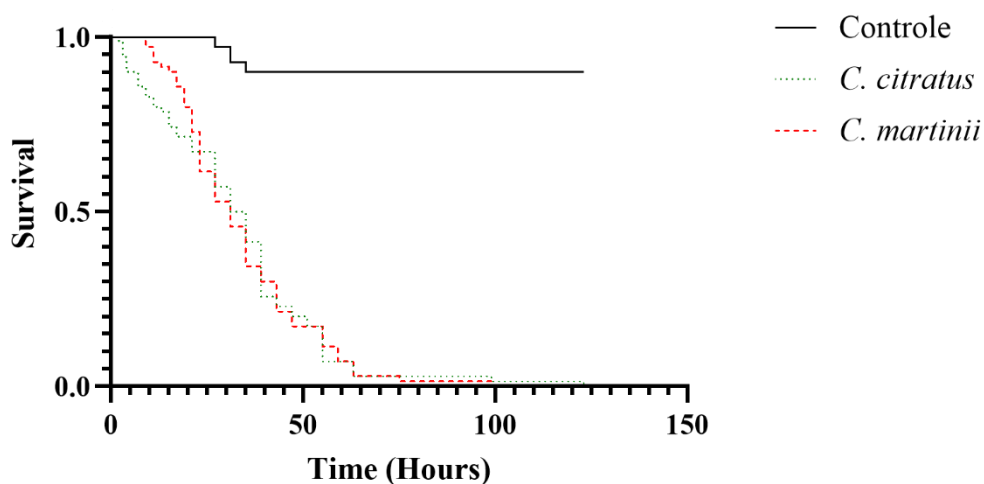


Figura 1. Curvas de sobrevivência de operárias de *Atta sexdens* expostas por fumigação à CL₉₀ dos bioensaios de toxicidade aos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus* e *C. martinii*.

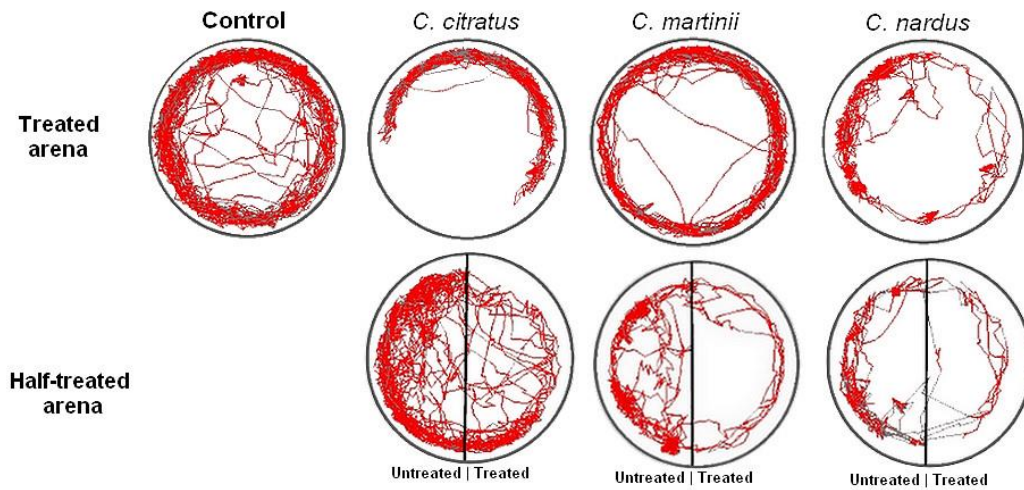


Figura 2. Trilhas representativas do comportamento de caminhar de operárias de *Atta sexdens* em arenas totalmente e parcialmente tratadas com o óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *C. martinii* e *C. nardus*.

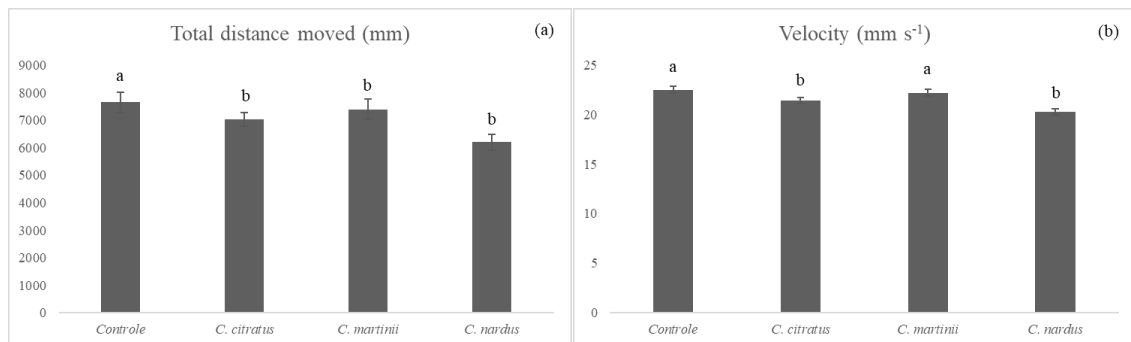


Figura 3. Distância total percorrida (a) e velocidade (b) ($\pm$ erro padrão) de operárias de *Atta sexdens* expostas por contato em arenas totalmente tratadas a 0,1% com óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *C. martinii* e *C. nardus*. Os tratamentos seguidos pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

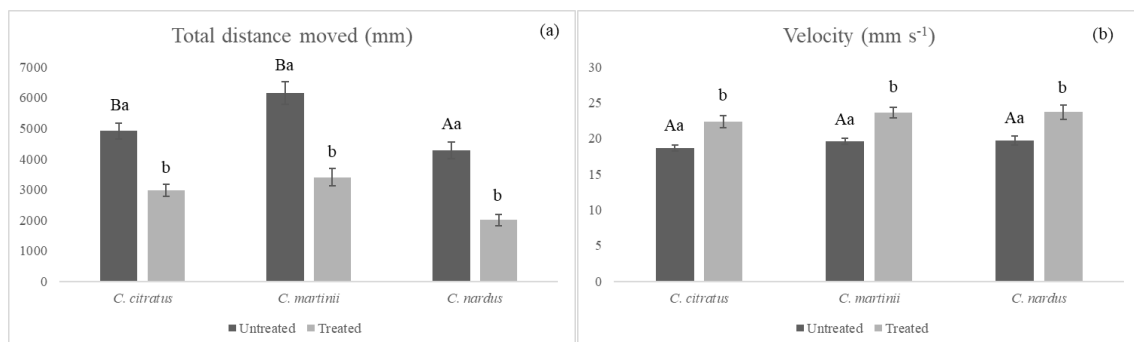


Figura 4. Distância total percorrida (a) e velocidade (b) ($\pm$ erro padrão) de operárias de *Atta sexdens* expostas por contato em arenas parcialmente tratadas a 0,1% com o óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, *C. martinii* e *C. nardus*. Os tratamentos seguidos pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

5. ARTIGO 2

ATIVIDADE INSETICIDA E FUNGICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon citratus* (POACEAE) EM COLÔNIAS DE *Atta sexdens*

RESUMO

As formigas cortadeiras são um dos herbívoros mais destrutivos e importantes economicamente nas produções florestais e agrícolas devido a sua abundância e ampla distribuição. Os formicidas sintéticos ainda é o método mais utilizado para controlar essa praga em virtude da sua alta eficiência, porém os óleos essenciais representam uma alternativa por serem biodegradáveis, seletivos e apresentarem efeitos tóxicos a uma ampla diversidade de organismos, incluindo as formigas cortadeiras. Combinar a ação inseticida com uma possível ação fungicida de um composto constitui uma ótima estratégia contra esses insetos-praga, uma vez que ambos os agentes mutualistas são afetados, garantindo assim um colapso mais rápido da colônia. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o potencial inseticida e fungicida do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* aplicado em colônias de *Atta sexdens* mantidas em condições de laboratório. Um sistema de nebulização com três concentrações (15, 30 e 60%) e um controle foi utilizado para avaliar o efeito do óleo essencial de *C. citratus* sobre colônias de *A. sexdens*. O óleo essencial de *C. citratus* apresentou atividade inseticida para o controle de formigas cortadeiras e fungicida para o controle do fungo simbionte. Colônias expostas a este óleo apresentaram perdas significativas no peso da massa fúngica das colônias e mortalidade das rainhas e operárias, evidenciando ser promissor para o desenvolvimento de novos inseticidas para o manejo dessa espécie-praga.

Palavras-chave: Bioinseticida, Controle alternativo, Criação massal, Formigas cortadeiras, Plantações florestais.

ABSTRACT

Insecticidal and fungicidal activity of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil on *Atta sexdens* colonies

Leafcutter ants are one of the most destructive and economically important herbivores in both forest and agricultural crops, due to their abundance and wide distribution. The most used method for controlling this pest is still through synthetic formicides, due to their high efficiency. However, essential oils represent an alternative, as they are biodegradable and selective and have a toxic effect on a wide range of organisms, including leafcutter ants. The combination of insecticidal activity of a compound and possible fungicidal activity constitutes an effective strategy against these insect pests, since both agents of this mutualistic interaction are affected, ensuring quicker collapse of the colony. The aim of this study was to evaluate the insecticidal and fungicidal activity of *Cymbopogon citratus* essential oil applied on *Atta sexdens* colonies under laboratory conditions. A nebulized spray system with three concentrations (15, 30, and 60 %) and a control treatment were used to evaluate the effect of *C. citratus* on *A. sexdens* colonies. The *C. citratus* essential oils showed both insecticidal activity against the leafcutter ants (*A. sexdens*) and fungicidal activity against their symbiotic fungi. Colonies exposed to this essential oil showed considerable reduction in the weight of fungal mass, and mortality of both the queen and worker ants, which proves to be promising for the development of new insecticides for management of this insect pest.

Key-words: Bioinsecticide, Alternative control, Massal rearing, Leafcutter ants, Forest crops.

5.1. Introdução

Formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) são consideradas em sistemas de produções florestais e agrícolas, um dos herbívoros mais destrutivos devido a sua abundância, ampla distribuição e potencial de danos (ZANETTI et al., 2014; BRITTO et al., 2016; GARRETT et al., 2016). No Brasil, as espécies de *Atta* e *Acromyrmex* são as principais pragas que afetam as plantações de eucalipto e pinus (ZANUNCIO et al., 2016).

Espécies desses gêneros ocorrem em toda a região Neotropical, mas o maior número de colônias e diversidade de espécies é encontrado no Brasil (DELABIE et al., 2011). Essas formigas infestam regiões do sul dos Estados Unidos, até o norte da Argentina (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014). A relação simbiótica com o basidiomiceto *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer envolve forrageamento intenso, cortando partes frescas das plantas que servem de substrato para o fungo, mantendo-o como sua fonte de alimento e habitat para seus descendentes (AYLWARD et al., 2013).

Os métodos de controle químico ainda são os mais utilizados devido à sua alta eficiência no controle das formigas cortadeiras. Alguns formicidas são registrados para o manejo das formigas cortadeiras no Brasil e sua aplicação é realizada de quatro formas distintas: formulações de pó seco, formulações de nebulização térmica, formicidas de formulação líquida e aplicações de iscas tóxicas (VINHA et al., 2020). Em plantações florestais, o uso de iscas tóxicas é o método de controle mais utilizado, sendo considerado seguro, prático e econômico (ZANETTI et al., 2014). Esse método supera os desafios da arquitetura da colônia, visto que a isca é transportada e uniformemente distribuída nas câmaras pelas próprias formigas (BRITTO et al., 2016).

Os inseticidas botânicos vêm sendo estudados como uma alternativa aos formicidas sintéticos por serem considerados ambientalmente mais seguros (ISMAN, 2006; BAKKALI et al., 2008; DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2014; PAVELA, 2016). Os óleos essenciais

representam uma alternativa para o controle de pragas, pois possuem diferentes propriedades, como biodegradabilidade, seletividade para alvos de pragas (MARTÍNEZ et al., 2015; AMARAL et al., 2018) e por apresentarem efeitos tóxicos a uma ampla diversidade de organismos (BAKKALI et al., 2008; CORRÊA; SALGADO, 2011; BOULOGNE et al., 2012), incluindo formigas cortadeiras (SILVA et al., 2019; BRITO et al., 2020; MELO et al., 2020; MELO et al., 2021).

O gênero *Cymbopogon* pertence às gramíneas monocotiledôneas, produtoras de óleo essencial mais importante da família Poaceae (Gramineae). Essa família compreende cerca de 180 espécies, subespécies, variedades e subvariedades amplamente distribuídas em regiões temperadas e tropicais do mundo (BERTEA; MAFFEI, 2010). *Cymbopogon citratus* é nativo do Sri Lanka e do sul da Índia, é amplamente cultivado nas áreas tropicais da América e da Ásia, contém vários fitoconstituintes, como flavonoides, compostos fenólicos e terpenoides, que são responsáveis por diferentes atividades biológicas (SHAH et al., 2011). Dentre essas atividades, o óleo essencial de *C. citratus* tem sido aplicado no controle de patógenos e insetos (MASAMBA et al., 2003; SESSOU et al., 2012; USHA RANI, 2012).

Por isso, combinar a ação inseticida com uma possível ação fungicida, de um composto para o controle de formigas cortadeiras, constitui uma ótima estratégia contra esses insetos, uma vez que ambos os agentes mutualistas são afetados, garantindo assim um colapso mais rápido da colônia (AMARAL et al., 2020). Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial inseticida e fungicida do óleo essencial de *C. citratus* (Poaceae) aplicado em colônias de *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) mantidas em condições de laboratório.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Óleo essencial

O óleo essencial de *C. citratus* (capim-limão), extraído por hidrodestilação em escala industrial (EHLERT et al., 2006), foi adquirido da empresa Destilaria Bauru Ltda. (Catanduva, São Paulo, Brasil).

5.2.2. Análise do óleo essencial

A análise dos constituintes químicos dos óleos essenciais foi realizada no Laboratório de Pesquisas em Química Orgânica de Sergipe (LABORGANICS) do Departamento de Química (DQI) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

A análise dos constituintes químicos do óleo essencial foi realizada utilizando CG/EM/DIC (GCMSQP2010 Ultra, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com um amostrador com injeção automática AOC-20i (Shimadzu). As separações foram realizadas em uma coluna capilar de sílica fundida Rtx®-5MS Restek (5%-difenil-95%-dimetilpolisiloxano) (30 m x 0,25 mm), 0,25 µm de espessura de filme, em um fluxo constante de Hélio 5.0 com taxa de 1,2 mL.min⁻¹. As amostras (1,0 µL da solução em acetato de etila) foram injetadas com razão do split de 1:10. A temperatura do forno iniciou a partir de 60 °C (permanecendo por 4 min) com taxa de aquecimento de 3 °C.min⁻¹ até 220 °C, e então aquecida até 280 °C a 20 °C.min⁻¹. As temperaturas do injetor e interface foram ambas 280 °C.

Os dados de espectrometria de massas (EM) (cromatograma de íons totais, CIT) foram adquiridos no modo full scan (m/z 40–550) com velocidade de varredura de 0,3 scan/s usando ionização por elétrons (EI) a 70 eV. A temperatura da fonte de íons foi 200 °C. A composição percentual de cada constituinte foi estimada pela área de cada componente dividida pela área total de todos os componentes da amostra. O percentual dos compostos foi calculado através das áreas dos picos do CG-EM e dispostos em ordem de eluição do CG.

Os índices de retenção foram obtidos injetando-se uma mistura de hidrocarbonetos lineares (C₇-C₃₀) e a identificação dos compostos foi realizada com base na comparação dos índices de retenção (VAN DEN DOOL; KRATZ, 1963) e na comparação computadorizada dos espectros de massas adquiridos com aqueles armazenados no banco de dados de espectros de

massas das três bibliotecas do equipamento WILEY8, NIST107 e NIST21, juntamente com espectros de massas da literatura (ADAMS, 2007).

5.2.3. Insetos

Colônias de *A. sexdens* foram adquiridas da criação massal do Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO) do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão-SE, mantidas em ambiente controlado ($25 \pm 10^\circ \text{C}$ e UR $70 \pm 10\%$ UR). As colônias artificiais eram constituídas de três painéis: jardim de fungo (1000 mL), lixo (500 mL) e alimentação (500 mL), sendo flocos de milho e flores de *Hibiscus* sp. os alimentos ofertados frequentemente. As colônias foram mantidas em laboratório até que o jardim de fungo atingisse o volume de 1000 mL, ideal para a realização dos bioensaios.

5.2.4. Bioensaio de nebulização

O bioensaio foi conduzido no Laboratório de Entomologia Florestal (LEFLO) do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão-SE.

Um sistema de nebulização com três concentrações (15, 30 e 60%) e um controle foi utilizado para avaliar o efeito do óleo essencial de *C. citratus* sobre colônias de *A. sexdens*.

As concentrações foram preparadas a partir de uma solução do óleo essencial e um adjuvante (óleo mineral), sendo homogeneizadas manualmente de modo a formar uma calda, posteriormente colocadas na unidade nebulizadora do conjunto para nebulização individual I-205®. Para cada colônia foram utilizados 5 mL da solução de calda do produto, padrão utilizado comercialmente (LOECK; GRUTZMACHER; STORCH, 2001). O controle foi realizado com 5 mL do óleo mineral.

Todas as colônias foram pesadas antes da nebulização e depois de cada avaliação, a fim de verificar as alterações no peso do fungo após a nebulização.

As avaliações ocorreram aos 1, 2, 3, 7, 14, 28, 35, 42, 50 e 60 dias após a aplicação dos tratamentos, avaliando os seguintes parâmetros: alteração do peso do fungo; intoxicação das formigas; mortalidade das formigas; atividade das formigas, incluindo o transporte de alimento; mudança do fungo de panela; presença de fungo na panela de lixo; desorganização do fungo simbiote; presença de fungos filamentosos no fungo simbiote; mortalidade da rainha e; aspectos gerais da colônia (FORTI et al., 1993).

5.2.5. Análises estatísticas

Os dados dos pesos e mortalidade das colônias foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

5.3. Resultados

5.3.1. Caracterização do óleo essencial

Vinte três componentes foram identificados no óleo essencial de *C. citratus*, correspondendo a 99,4% da composição total. Os constituintes majoritários foram os monoterpenos: geranial (51,9%) e o neral (41,1%) (Tabela 1) (Figura 1).

5.3.2. Bioensaio de nebulização

Os dados dos pesos das colônias não diferiram entre os tratamentos e o controle ($F_{3,11} = 0,549$; gl = 3; $P > 0,663$) antes da nebulização (Tabela 2).

As concentrações do óleo essencial de *C. citratus* avaliadas em colônias de *A. sexdens* foram eficientes, pois causaram a mortalidade das colônias e das rainhas ($F_{3,11} = 14,667$; gl = 3; $P < 0,001$) (Tabela 3).

As rainhas e as colônias submetidas aos tratamentos morreram no decorrer de 19 dias, em contraste com as colônias submetidas apenas ao controle, as quais não apresentaram alterações nos parâmetros observados após a nebulização, não havendo intoxicação e nem mortalidade de operárias.

Após a nebulização, em todas as concentrações do óleo essencial de *C. citratus* observou-se o aumento da intoxicação e mortalidade das formigas, ausência do corte de flor e incorporação no fungo simbionte, redução do volume do fungo simbionte e o crescimento de fungos filamentosos.

Os principais sinais de intoxicação foram: oxidação do fungo, diminuição da atividade de caminhamento das formigas, transferência das crias para a parte superior do fungo, transferência das formigas mortas para a panela do lixo e também permanência na panela do fungo, ausência do comportamento de corte das flores, ausência do carregamento dos flocos de milho e incorporação no fungo e aumento da umidade na panela do fungo. Também foi observado o crescimento de fungos filamentosos na panela do fungo.

Todas as colônias foram pesadas ao final das avaliações para confirmar a redução do volume do fungo simbiótico. Houve diferença significativa entre o controle e os tratamentos ($F_{3,11} = 10,788$; $gl = 3$; $P > 0,003$) (Tabela 2) (Figura 2 e 3).

5.4. Discussão

Este estudo investigou a composição química do óleo essencial de *C. citratus* e seu potencial inseticida e fungicida em colônias de *A. sexdens* em condições de laboratório. Os principais compostos encontrados no óleo essencial foram geranial e neral, compostos geralmente relatados em estudos conduzidos por diversos pesquisadores, como os mais abundantes, mesmo em plantas de regiões diferentes (ZHANG et al., 2016; BAYALA et al., 2018; ALVES et al., 2019; SILVA et al., 2020a). *Cymbopogon* é um importante gênero de óleo essencial de gramíneas aromáticas da família Poaceae (MEENA et al., 2016). *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf é uma das espécies mais amplamente distribuída do gênero, com comprovada atividade larvicida (SILVA et al., 2020a), inseticida (FEROZ, 2020) e propriedades antibacteriana, antioxidante, antifúngica e anticarcinogênica (EKPENYONG; AKPAN; NYOH, 2015). Essas características são atribuídas à presença dos constituintes do óleo essencial extraído das folhas, principalmente citral, uma mistura isométrica de neral e geranial (KHANIKOR; BORA, 2011). A maior parte da propriedade inseticida do óleo essencial de *C. citratus* é devida ao citral, já demonstrado em alguns estudos (SINTHUSIRI; SOONWERA, 2013; PINTO et al., 2015; BHUMI; URVI; PRAGNA, 2017).

Concentrações de *C. citratus* aplicados nas colônias de *A. sexdens* causaram mortalidade das rainhas e das colônias, isso pode ter acontecido devido aos mecanismos de ação do óleo essencial, que podem ocasionar efeitos neurotóxicos em insetos devido à presença de terpenoides, envolvendo diversos mecanismos, notadamente por meio de GABA, sinapses de octopamina e inibição da acetilcolinesterase (PAVELA; BENELLI, 2016). Muitos constituintes de óleos essenciais têm sido identificados como inibidores da AChE, incluindo monoterpenos como neral, geranial e linalol (DOHI; TERASAKI; MAKINO, 2009; PICOLLO et al., 2008; PERRY et al., 2000) presentes no óleo essencial de *C. citratus* utilizado. A inibição da ação da AChE desencadeia um desequilíbrio, pois não acontece a hidrólise da ACh nas sinapses, provocando grande acúmulo anormal de ACh, ocasionando uma grande estimulação nervosa que leva a alterações comportamentais, asfixia, hiperatividade e finalmente a morte (SILVA et al., 2020b).

A exposição a doses letais do óleo essencial de *C. citratus* em adultos de *Ulomoides dermestoides* Fairmaire (Coleoptera: Tenebrionidae) apresentaram efeitos como contrações musculares, locomoção alterada, seguidas de paralisia irreversível, indicativa de efeitos neurotóxicos (PLATA-RUEDA et al., 2020a). Os efeitos no sistema nervoso de insetos-praga já foram relatados para outras espécies como *Bemisia tabaci* Gennadius) (Hemiptera:

Aleyrodidae) (KIM et al., 2011), *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae) (ALVES et al., 2019), *Trichoplusia ni* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) (TAK; JOVEL; ISMAN, 2017), *Sitophilus granarius* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae) (PLATA-RUEDA et al., 2020b), após exposição ao óleo essencial de *C. citratus* (por contato ou fumigação).

Colônias de *A. sexdens* expostas, por nebulização, ao óleo essencial de *Lippia sidoides* (Verbenaceae) exibiram diversas alterações comportamentais, também verificadas neste estudo, como oxidação do fungo, diminuição da atividade de caminhar das formigas, transferência das formigas mortas para a panela do lixo, ausência do comportamento de corte das flores, aumento da umidade na panela do fungo, crescimento de fungos filamentosos, além da inatividade das colônias e sobrevivência das rainhas durante todo o período de avaliação (SANTANA et al., 2018). A transferência das crias para a parte superior do fungo a fim de evitar o ambiente contaminado pelo óleo essencial e a presença de fungos filamentosos evidenciam a quebra de equilíbrio das colônias tratadas com o óleo essencial (MUELLER et al., 2002).

O volume do fungo simbiótico foi reduzido após a exposição ao óleo de *C. citratus*, indicando a sua ação fungicida. O citral aplicado por fumigação sobre o fungo simbiótico *Leucoagaricus gongylophorus* teve maior atividade fungistática, a concentração deste composto, necessária para inibir 50% do crescimento micelial, foi cerca de 3,3 vezes menor que a concentração do óleo essencial do seu quimiotipo, e o composto citral, também teve efeito fungicida na concentração $123,21 \mu\text{L}^{-1}$ por fumigação (MELO et al., 2020). Em experimentos in vitro com o fungo *L. gongylophorus* em meio de cultura contendo diversas concentrações de azadiractina, apresentou menor crescimento da massa fúngica, mesmo em baixas concentrações desse composto (AMARAL et al., 2020).

A redução da massa final do fungo observada nesse estudo e em outros trabalhos ocorre devido à baixa produção de hifas, implicando diretamente na colônia, pois as hifas são responsáveis pela disponibilidade de nutrientes para as rainhas e operárias (FORTI; ANDRADE, 1999; AMARAL et al., 2020). As formigas cortadeiras se alimentam de nutrientes líquidos encontrados na gongilídia, que são ricos em carboidratos, com os quais também alimentam rainhas (MUELLER et al., 2001).

Em geral, a atividade antifúngica do citral pode ser atribuída à sua capacidade de penetrar nas células fúngicas e alterar morfologicamente as mitocôndrias, modificando as taxas respiratórias (FAN et al., 2014; ALVES et al., 2018). A bioatividade do óleo essencial de *C. citratus* já foi relatada em fungos fitopatogênicos (GONÇALVES et al., 2015).

A mortalidade das colônias e suas rainhas, neste estudo, ocorreram no período de 19 dias. Em colônias *A. sexdens*, também em condições de laboratório, tratadas com diferentes concentrações de indoxacarbe ocasionou valores na ordem de 60% de mortalidade, já a sulfluramida ocasionou 100% de mortalidade no período de 21 dias após a aplicação (STEFANELLI; FORTI; GARCIA, 2020).

Em campo, colônias de *Atta sexdens rubropilosa* tratadas com produtos comerciais à base de sulfluramida tiveram a atividade dos formigueiros diminuída após três dias da aplicação das iscas. A paralisação total média da atividade dos formigueiros tratados ocorreu em 20,55 dias, enquanto os não-tratados permaneceram com atividade normal (ZANETTI et al., 2004), resultado semelhante ao encontrado neste estudo.

5.5. Conclusões

Este estudo evidencia o potencial do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* como inseticida para o controle de formigas cortadeiras e fungicida para o controle do fungo simbiote. Este óleo essencial causou perdas significativas no peso das colônias e mortalidade das rainhas e operárias, evidenciando ser promissor para o desenvolvimento de novos inseticidas para o manejo.

5.6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (Fapitec/SE) - Brasil, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES – Código financeiro 001) e à Financiadora de Estudos e Projetos - Brasil (FINEP) pelo apoio financeiro.

5.7. Referências Bibliográficas

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy**, 4th Edition. Illinois USA: Allured Publishing Corporation, Carol Stream. 2007, 804.

ALVES, M. F.; BLANK, A. F.; GAGLIARDI, P. R.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; NIZIO, D. A. C.; BRITO, F. A.; SAMPAIO, T. S. Essential oils of *Myrcia lundiana* Kiaersk and their major compounds show differentiated activities against three phytopathogenic fungi. **Bioscience Journal**, v. 34, p. 1200-1209, 2018. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n5a2018-39429>

ALVES, M. S.; CAMPOS, I. M.; BRITO, D. M. C.; CARDOSO, C. M.; PONTES, E. G.; SOUZA, M. A. A. Efficacy of lemongrass essential oil and citral in controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae), a post-harvest cowpea insect pest. **Crop Protection**, v. 119, p. 191-196, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.02.007>

AMARAL, K. D.; MARTÍNEZ, L. C.; LIMA, M. A. P.; SERRÃO, J. E.; DELLA LUCIA, T. M. C. Azadirachtin impairs egg production in *Atta sexdens* leaf-cutting ant queens. **Environmental Pollution**, v. 243, p. 809-814, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.066>

AMARAL, K. D.; GANDRA, L. C.; SOUZA, D. J.; DELLA LUCIA, T. M. C. Deleterious action of azadirachtin against the mutualistic fungus of leaf-cutting ants. **Journal of Basic Microbiology**, v. 60, p. 1-7, 2020. <https://doi.org/10.1002/jobm.202000541>

AYLWARD, F. O.; BURNUM-JOHNSON, K. E.; TRINGE, S. G.; TEILING, C.; TREMMEL, D. M.; MOELLER, J. A.; SCOTT, J. J.; BARRY, K. W.; PIEHOWSKI, P. D.; NICORA, C. D.; MALFATTI, S. A.; MONROE, M. E.; PURVINE, S. O.; GOODWIN, L. A.; SMITH, R. D.; WEINSTOCK, G. M.; GERARDO, N. M.; SUE, G.; LIPTON, M. S.; CURRIE, C. R. *Leucoagaricus gongylophorus* produces diverse enzymes for the degradation of recalcitrant plant polymers in leaf-cutter ant fungus gardens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 12, p. 3770-3778, 2013. <https://doi.org/10.1128/AEM.03833-12>

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446-475, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>

BAYALA, B.; BASSOLA, I. H. N.; MAQDASY, S.; BARON, S.; SIMPORE, J.; LOBACCARO, J. M. A. *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils have cytotoxic effects on tumor cell cultures. Identification of citral as a new putative anti-proliferative molecule. **Biochimie**, v. 153, p. 162-170, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2018.02.013>

BERTEA, C. M.; MAFFEI, M. E. **The genus *Cymbopogon*: botany including anatomy, physiology, biochemistry, and molecular biology**. Akhila, A. (Ed.), Essential Oil Bearing Grasses: The Genus *Cymbopogon*-CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1-24. 2010.

BHUMI, T.; URVI, C.; PRAGNA, P. Biopesticidal potential of some plant derived essential oils against the stored grain pests. **International Journal of Zoological Investigations**, v. 3, n. 2, p. 188-197, 2017.

BOULOGNE, I.; PETIT, P.; OZIER-LAFONTAINE, H.; DESFONTAINES, L.; LORANGER-MERCIRIS, G. Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 10, p. 325–347, 2012.
<https://doi.org/10.1007/s10311-012-0359-1>

BRITTO, J. S.; FORTI, L. C.; OLIVEIRA, M. A.; ZANETTI, R.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C.; LOECK, A. E.; CALDATO, N.; NAGAMOTO, N. S.; LEMES, P. G.; CAMARGO, R. S. Use of alternatives to PFOS, its salts and PFOSF for the control of leaf-cutting ants *Atta* and *Acromyrmex*. **International Journal of Research in Environmental Studies**, v. 3, p. 11-92, 2016.

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, 105259, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105259>

CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 13, n. 4, p. 500-506, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400016>

DELABIE, J. H. C.; ALVES, H. S. R.; REUSS-STENZEL, G. M.; CARMO, A. F. R.; NASCIMENTO, I. C. Distribuição das formigas-cortadeiras *Acromyrmex* e *Atta* no Novo Mundo. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (ed.), **Formigas-cortadeiras da bioecologia ao manejo**. Viçosa: Editora UFV. pp. 80-102, 2011.

DELLA LUCIA, T. M.; GANDRA, L. C.; GUEDES, R. N. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. **Pest Management Science**, v. 70, p. 14-23, 2014.
<https://doi.org/10.1002/ps.3660>

DOHI, S.; TERASAKI, M.; MAKINO, M. Acetylcholinesterase inhibitory activity and Chemical composition of commercial essential oils. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 57, p. 4313-4318, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf804013j>

EHLERT, P. A. D.; BLANK, A. F.; ARRIOGONI-BLANK, M. F.; PAULA, J. W. A.; CAMPOS, D. A.; ALVIANO, C. S. Tempo de hidrodestilação na extração de óleo essencial de sete espécies de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, p. 79-80, 2006.

EKPENYONG, C. E.; AKPAN, E.; NYOH, A. Ethnopharmacology, phytochemistry, and biological activities of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf extracts. **Chinese Journal of Natural Medicines**, v. 13, n. 5, p. 321-337, 2015. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(15\)30023-6](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(15)30023-6)

FAN, F.; TAO, N.; JIA, L.; HE, X. Use of citral incorporated in postharvest wax of citrus fruit as a botanical fungicide against *Penicillium digitatum*. **Postharvest Biology and Technology**, v. 90, p. 52-55, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.005>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FEROZ, A. Efficacy and cytotoxic potential of deltamethrin, essential oils of *Cymbopogon citratus* and *Cinnamomum camphora* and their synergistic combinations against stored product pest, *Trogoderma granarium* (Everts). **Journal of Stored Products Research**, v. 87, p. 101614, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101614>

FORTI, L. C.; DELLA LUCIA, T. M. C.; YASSU, W. K.; BENTO, J. M. S.; PINHÃO, M. A. S. 1993. Metodologias para experimentos com iscas granuladas para formigas cortadeiras. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Eds). **As formigas cortadeiras**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, pp. 191-205.

FORTI, L. C.; ANDRADE, A. P. P. Ingestão de líquidos por *Atta sexdens* (L.) (Hymenoptera, Formicidae) durante a atividade forrageira e na preparação do substrato em condições de laboratório. **Naturalia**, v. 24, p. 61-63, 1999.

GARRETT, R.W.; CARLSON, K. A.; GOGGANS, M. S.; NESSON, M. H.; SHEPARD, C. A.; SCHOFIELD, R. M. S. Leaf processing behaviour in *Atta* leafcutter ants: 90% of leaf cutting takes place inside the nest, and ants select pieces that require less cutting. **Royal Society Open Science**, v. 3, 150111, 2016. <https://doi.org/10.1098/rsos.150111>

GONÇALVES, A. H.; PEREIRA, A. S.; SANTOS, G. R. S.; GUIMARÃES, L. G. L. Atividade fungitóxica in vitro dos óleos essenciais de *Lippia sidoides* Cham., *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. e de seus constituintes majoritários no controle de *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 1007-1015, 2015. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_166

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. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>

KHANI KOR, B.; BORA, D. Toxicity of essential oil compounds against *Exorista sorbillans* (Diptera: Tachinidae), a parasitoid of silkworm. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 85, p. 19807-19815, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2476>

KIM, S. I.; CHAE, S. H.; YOUN, H. S.; YEON, S. H.; AHN, Y.J. Contact and fumigant toxicity of plant essential oils and efficacy of spray formulations containing the oils against B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci*. **Pest Management Science**, v. 67, p. 1093-1099, 2011. <https://doi.org/10.1002/ps.2152>

LOECK, A. E.; GRUTZMACHER, D. D.; STORCH, G. Distribuição geográfica de *Atta sexdens piriventris* Santschi, 1919, nas principais regiões agropecuárias do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 1, p. 54-57, 2001.

- MARTÍNEZ, L. C.; PLATA-RUEDA, A.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Bioactivity of six plant extracts on adults of *Demotista neivai* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Insect Science**, v. 15, n. 1, p. 1-5, 2015. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev021>
- MASAMBA, W. R. L.; KAMANULA, J. F. M.; HENRY, E. M. T.; NYIRENDA, G. K. C. Extraction and analysis of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil: As essential oil with potential to control the larger grain borer (*Prostephanus truncatus*) in stored products in Malawi. **Malawi Journal of Agricultural Sciences**, v. 2, n. 1, p. 56–64, 2003.
- MEENA, S.; KUMAR, S. R.; VENKATA RAO, D. K.; DWIVEDI, V.; SHILPASHREE, H. B.; RASTOGI, S.; SHASANY, A. K.; NAGEGOWDA, D. A. *De Novo* sequencing and analysis of lemongrass transcriptome provide first insights into the essential oil biosynthesis of aromatic grasses. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 1129, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01129>
- MELO, C. R.; OLIVEIRA, B. M. S.; SANTOS, A. C. C.; SILVA, J. E.; RIBEIRO, G. T.; BLANK, A. F.; ARAUJO, A. P. A.; BACCI, L. Synergistic effect of aromatic plant essential oils on the ant *Acromyrmex balzani* (Hymenoptera: Formicidae) and antifungal activity on its symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Agaricales: Agaricaceae). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 17303-17313, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08170-z>
- MELO, C. R.; BLANK, A. F.; OLIVEIRA, B. M. S.; SANTOS, A. C. C.; CRISTALDO, P. F.; ARAUJO, A. P. A.; BACCI, L.; Formicidal activity of essential oils of *Myrcia lundiana* chemotypes on *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 139, 105343, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105343>
- MUELLER, U. G.; SCHULTZ, T. R.; CURRIE, C. R.; ADAMS, R. M.; MALLOCH, D. The origin of the attine ant-fungus mutualism. **The Quarterly Review of Biology**, v. 76, n. 2, p. 169-197, 2001. <https://doi.org/10.1086/393867>
- MUELLER, U. G. Ant versus fungus versus mutualism: Ant-cultivar conflict and the deconstruction of the Attine ant-fungus symbiosis. **The American Naturalist**, v. 160, n. 4, p. 67-98, 2002. <https://doi.org/10.1086/342084>
- PAVELA, R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects - A review. **Plant Protection Science**, v. 52, p. 229-241, 2016. <https://doi.org/10.17221/31/2016-PPS>
- PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>
- PERRY, N. S.; HOUGHTON, P. J.; THEOBALD, A.; JENNER, P.; PERRY, E. K. *In-vitro* inhibition of human erythrocyte acetylcholinesterase by *Salvia lavandulaefolia* essential oil and constituent terpenes. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 52, p. 895-902, 2000. <https://doi.org/10.1211/0022357001774598>
- PICOLLO, M. I.; TOLOZA, A. C.; MOUGABURE, C. G.; ZYGADLO, J.; ZERBA, E. Anticholinesterase and pediculicidal activities of monoterpenoids. **Fitoterapia**, v. 79, p. 271-278, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.01.005>

- PINTO, Z. T.; SÁNCHEZ, F. F.; SANTOS, A. R.; AMARAL, A. C. F.; FERREIRA, J. L. P.; ESCALONA-ARRANZ, J. C.; QUEIROZ, M. M. C. Chemical composition and insecticidal activity of *Cymbopogon citratus* essential oil from Cuba and Brazil against housefly. **Brazilian Journal of Veterinary Parasitology**, v. 24, n. 1, p. 34-44, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612015006>
- PLATA-RUEDA, A.; MARTINEZ, L. C.; ROLIM, G. S.; COELHO, R. P.; SANTOS, M. H.; TAVARES, W. S.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Insecticidal and repelente activities of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoids (citral and geranyl acetate) against *Ulmoides dermestoides*. **Crop Protection**, v. 137, 105299, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105299>
- PLATA-RUEDA, A.; ROLIM, G. S.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E.; MARTINEZ, L. C. Acute toxicity and sublethal effects of lemongrass essential oil and their components Against the granary weevil, *Sitophilus granarius*. **Insects**, v. 11, 379, 2020b. <https://doi.org/10.3390/insects11060379>
- SANTANA, L. K. N.; SANTOS-OLIVEIRA, M. F. S.; RIBEIRO, G. T.; PODEROSO, J. C. M.; SANTOS, I. T. B. F.; PINHEIRO, H. S. S.; SILVA, S. S.; SANTOS, T. S. Análise do efeito do óleo essencial de *Lippia sidoides* sobre *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae). **Ciência Agrícola**, v. 16, p. 55-58, 2018. <https://doi.org/10.28998/rca.v16i0.6589>
- SESSOU, P.; FAROUGOU, S.; KANEHO, S.; DJENONTIN, S.; ALITONOU, G.A.; AZOKPOTA, P.; SOHOUNHLOUÉ, D. Bioefficacy of *Cymbopogon citratus* essential oil against food borne pathogens in culture medium and in traditional cheese wagashi produced in Benin. **International Research Journal of Microbiology**, v. 3, n. 12, p. 406-415, 2012.
- SHAH, G.; SHRI, R.; PANCHAL, V.; SHARMA, N.; SINGH, B.; MANN, A. S. Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, Stapf (Lemon grass). **Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research**, v. 2, n. 1, p. 3-8, 2011. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.79796>
- SILVA, D. C.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; FARO, R. R. N.; PINTO, J. A. O.; PEREIRA, K. L. G. Toxicity and behavioral alterations of essential oils of *Eplingiella fruticosa* genotypes and their major compounds to *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 116, p. 181-187, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.11.002>
- SILVA, L. C.; PERINOTTO, M. S.; SÁ, F. A.; SOUZA, M. A. A.; BITENCOURT, R. O. B.; SANAVRIA, A.; SANTOS, H. A.; MARIE-MAGDELEINE, C.; ANGELO, I. C. In vitro acaricidal activity of *Cymbopogon citratus*, *Cymbopogon nardus* and *Mentha arvensis* against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Experimental Parasitology**, v. 2016, 107937, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2020.107937>
- SILVA, L. S.; PORFIRO, C. A.; SILVA, F. G.; RODRIGUES, A. R. S.; PEREIRA, P. S. Acetylcholinesterase and α -amylase inhibitors from *Mouriri elliptica* Martius leaf extract. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 578-590, 2020b. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-42714>
- SINTHUSIRI, J.; SOONWEREA, M. Efficacy of herbal essential oils as insecticides against the housefly, *Musca domestica* L. **Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**, v. 44, n. 2, p. 188-196, 2013.

STEFANELLI, L. E. P.; FORTI, L. C.; GARCIA, R. M. Toxicidade de diferentes concentrações do inseticida indoxacarbe para formigas-cortadeiras. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 9, n.1, p. 1-7, 2020. <https://doi.org/10.4322/2359-6643.09132>

TAK, J. H.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Synergistic interactions among the major constituents of lemongrass essential oil against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 90, p. 735–744, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0827-7>

USHA RANI, P. Fumigant and contact toxic potential of essential oils from plant extracts against stored product pests. **Journal of Biopesticides**, v. 5, n. 2, p. 120–128, 2012.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X)

VINHA, G. L.; LA CRUZ, R. A.; DELLA LUCIA, T. M. C.; WILCKEN, C. F.; SILVA, E. D.; LEMES, P. G.; ZANUNCIO, J. C. Leaf-cutting ants in commercial forest plantations of Brazil: biological aspects and control methods. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 82, n. 2, p. 95-103, 2020. <https://doi.org/10.2989/20702620.2019.1639596>

ZANETTI, R.; DIAS, N.; REIS, M.; SOUZA-SILVA, A.; MOURA, M. A. Eficiência de iscas granuladas (Sulfluramida 0,3%) no controle de *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 4, p. 878-882, 2004.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; SANTOS, J. C.; SILVA, W. L. P.; RIBEIRO, G. T.; LEMES, P. G. An overview of integrated management of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian forest plantations. **Forests**, v. 5, n. 3, p. 439-454, 2014. <https://doi.org/10.3390/f5030439>

ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G.; ANTUNES, L. R.; MAIA, J. L. S.; MENDES, J. E. P.; TANGANELLI, K. M.; SALVADOR, J. F.; SERRÃO, J. E. The impact of the Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy on the management of leaf-cutting ants and termites in certified forests in Brazil. **Annals of Forest Science**, v. 73, p. 205-214, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0548-3>

ZHANG, C.; LIU, R.; HE, J.; MA, Z.; ZHANG, X. Chemical compositions of *Ligusticum chuanxiong* oil and lemongrass oil and their joint action against *Aphis citricola* Van Der Goot (Hemiptera: Aphididae). **Molecules**, v. 21, n. 10, 1359, 2016. <https://doi.org/10.3390/molecules21101359>

Tabela 1. Constituintes químicos do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.

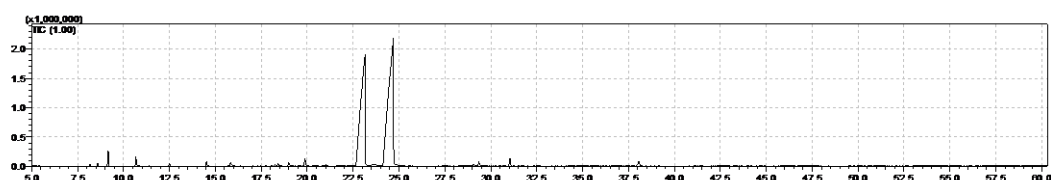
Pico	tr (min)	Composto	IRR exp.*	IRR lit.**	% área do pico ^a
1	8.175	triciclono	921	921	0,1
2	8.590	α -pineno	932	932	0,2
3	9.155	canfeno	946	946	1,2
4	10.660	6-metil-5-hepten-2-ona	985	981	0,7
5	10.835	mirceno	989	988	tr
6	12.495	limoneno	1027	1024	0,2
7	14.510	NI (cetona alifática)	1070	-	0,4
8	15.825	linalol	1098	1095	0,3
9	18.250	NI	1147	-	0,1
10	18.410	citronelal	1151	1148	0,2
11	18.985	(Z)-isocitral	1163	1160	0,3
12	19.520	rosefurano epóxido	1173	1173	tr
13	19.870	(E)-isocitral	1181	1177	0,8
14	23.135	neral	1240	1235	41,1
15	23.530	piperitona	1257	1249	tr
16	23.670	NI	1259	-	tr
17	24.230	geranial	1271	1264	51,9
18	25.045	acetato de isobornila	1288	1283	tr
19	29.055	α -copaeno	1375	1374	0,2
20	29.340	acetato de geranila	1381	1379	0,4
21	31.040	(E)-cariofileno	1420	1417	0,8
22	32.535	α -humuleno	1454	1452	tr
23	38.058	óxido de cariofileno	1585	1582	0,5
Total					99,4%

* Índice de retenção experimental calculado de acordo com van den Dool & Kratz (1963);

** Índice de retenção da literatura (Adams, 2007);

^a NI= não identificado.

^a tr= traço, <0,1%; % da área do pico calculado pelo CG-EM.

**Figura 1.** Cromatograma de íons totais (CIT) representativo do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.**Tabela 2.** Pesos das colônias de *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) mantidas em laboratório antes e depois da aplicação do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* em diferentes concentrações.

Concentração (%)	Peso antes (g)	Peso após 60 dias (g)
0	129,48 $\pm$ 10,07 a	118,81 $\pm$ 8,05 a
15	111,66 $\pm$ 10,07 a	056,16 $\pm$ 8,05 b
30	120,68 $\pm$ 10,07 a	076,82 $\pm$ 8,05 b
60	117,29 $\pm$ 10,07 a	074,83 $\pm$ 8,05 b

Os tratamentos (média $\pm$ erro padrão da média) seguidos pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 3. Atividade inseticida e fungicida do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* em diferentes concentrações em colônias de *Atta sexdens* mantidas em laboratório.

Concentração (%)	Inatividade da Colônia (%)	Mortalidade da Rainha (%)
0	0 ± 12,5 a	0 ± 12,5 a
15	50 ± 12,5 ab	50 ± 12,5 ab
30	100 ± 12,5 b	100 ± 12,5 b
60	100 ± 12,5 b	100 ± 12,5 b

Os tratamentos (média ± erro padrão da média) seguidos pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,001$).

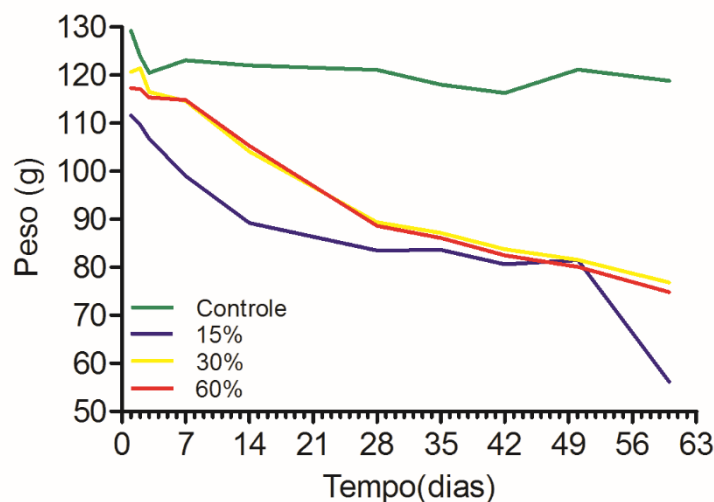


Figura 2. Variação do peso (g) das colônias de *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) mantidas em laboratório após a aplicação do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* em diferentes concentrações durante o período de avaliação.

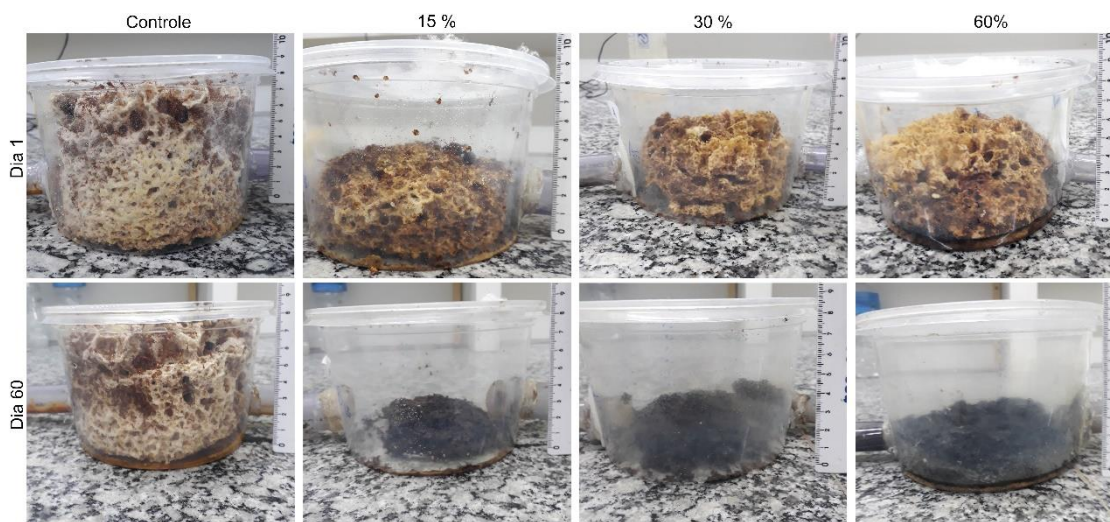


Figura 3. Colônias de *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae) submetidas à nebulização com o óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, 1 e 60 dias após a nebulização.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidencia o potencial do óleo essencial de *Cymbopogon* spp. apresentando atividade inseticida e alterações no comportamento das operárias de *A. sexdens*, além do potencial inseticida e fungicida para o controle das colônias, evidenciando ser promissor para o desenvolvimento de novos inseticidas para o manejo de *Atta sexdens*.