

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

Juliana Keppe Zanini

**Bioatividade da semente de abacate (*Persea americana* Mill) sobre *Atta  
sexdens* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae)**

ARARAS  
Julho de 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

**Bioatividade da semente de abacate (*Persea americana* Mill) sobre *Atta sexdens* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara  
Coorientadora: Profa. Dra. Jeanne Scardini Marinho Prado

ARARAS  
Julho de 2023

Zanini, Juliana Keppe

Bioatividade da semente de abacate (*Persea americana* Mill) sobre *Atta sexdens* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae) / Juliana Keppe Zanini -- 2023.  
70f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras  
Orientador (a): Ricardo Toshio Fujihara  
Banca Examinadora: Roberta Cornélio Ferreira Nocelli,  
Sonia Cláudia do Nascimento Queiroz  
Bibliografia

1. Entomologia agrícola. 2. Extratos botânicos. 3. Formigas-cortadeiras. I. Zanini, Juliana Keppe. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8  
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
Centro de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Juliana Keppe Zanini, realizada em 18/07/2023.

**Comissão Julgadora:**

*Ricardo Toshio Fujihara*  
Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara (UFSCar)

Profa. Dra. Sonia Cláudia do Nascimento Queiroz (CNPMA)

*Roberta Cornélio Ferreira Nocelli*  
Profa. Dra. Roberta Cornélio Ferreira Nocelli (UFSCar)



Documento assinado digitalmente  
SONIA CLAUDIA DO NASCIMENTO DE QUEIROZ  
Data: 04/08/2023 13:36:44 -0300  
Verifique em <http://validar.br.gov.br>

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

DEDICO

Aos meus pais Mônica e Amilcar, e meu irmão Guilherme por todo apoio, amor,  
incentivo e compreensão.

## **Agradecimentos**

A finalização da minha dissertação de mestrado é um sonho realizado. Durante essa jornada eu tive a oportunidade e o prazer de conhecer pessoas incríveis e que me apoiaram de todas as maneiras possíveis desde o início. A obtenção do meu título de mestre é sem dúvidas, fruto de muito trabalho árduo, de muitas tentativas e erros, da superação dos desafios encontrados pelo caminho, e também da aquisição de autoconhecimento. Tudo isso, combinado com as pessoas a quem agradeço agora, me fizeram chegar até aqui.

Agradeço, primeiramente, meu orientador Prof. Dr. Ricardo Toshio Fujihara, pelos ensinamentos ao longo desses anos, pela paciência ao me explicar desde as coisas mais simples, até as mais complexas. Pela parceria e confiança ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que não seria possível sem sua ajuda.

À Profa. Dra. Jeanne Scardini Marinho Prado, agradeço por aceitar-me como coorientada, sendo sempre solícita em todas as etapas do mestrado e contribuindo com sugestões e ideias para os próximos passos.

Agradeço à Dra. Sonia Claudia do Nascimento de Queiroz, Marley Tavares e todos os membros do Laboratório de Resíduos Contaminantes (LRC) da Embrapa Meio Ambiente por terem me recebido sempre de portas abertas. Sem dúvidas, a realização deste trabalho não seria possível sem a parceria de vocês.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de São Carlos, do qual sou grata. Agradeço aos professores, à Coordenação, à Secretaria do PPGAA, em especial à Sirlene Lima, e todos os alunos da minha turma do ano de 2021.

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, por ceder o espaço para a realização dos experimentos. À diretoria do CCA por financiar este projeto, por meio do recurso FAI RTI-CCA.

Ao Grupo de Estudos de Pesquisa em Entomologia Geral (GEPEG), e a todos seus membros, que se tornaram não apenas meus companheiros de trabalho, mas também meus amigos pessoais, que levarei comigo com muito carinho e gratidão. Agradeço também ao Laboratório de Análises e Simulação Tecnológica (LAST) pela disponibilidade em contribuir para o desenvolvimento das etapas dos meus experimentos.

À banca examinadora: em especial, à Prof. Dra. Roberta Cornélio Ferreira Nocelli, que me acompanhou desde a apresentação da minha qualificação, e sempre contribuiu de forma enriquecedora com este trabalho. Ao Prof. Dr. Alexandre Diniz e Prof. Dr. Rodrigo

Marques pela disponibilidade em serem meus suplentes.

À empresa Sucorrico pela doação de polpa cítrica processada, ingrediente atrativo que compôs as iscas.

Por fim, agradeço imensamente meus pais Mônica Zanini e Amilcar Zanini pelo apoio incondicional, pelo amor e confiança que vocês depositaram em mim durante minha jornada. Agradeço e dedico esta dissertação ao meu irmão Guilherme Zanini, que foi a pessoa que me inspirou a começar meu mestrado, e sempre conseguiu me orientar e me aconselhar da melhor maneira possível. Agradeço a Renan Godoy de Marco por ter sido meu ponto de apoio, de incentivo e compreensão. Vocês são minha base, e me faltam palavras para agradecê-los.

Agradeço ainda a todos que estiveram presentes e contribuíram de alguma forma nessa trajetória.

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

Muito obrigada!

“Grandes realizações são possíveis quando se dá importância aos pequenos começos”

(Lao Tsé)

## RESUMO

As formigas-cortadeiras são insetos de grande importância agrícola devido ao ataque danoso aos diversos sistemas produtivos, acarretando em grandes perdas econômicas e de produção. Atualmente, o uso de produtos químicos para o controle desses insetos é o método mais utilizado, porém, este vem sendo associado a diversos danos ambientais e aos seres humanos. Diante da necessidade de novas alternativas de menor impacto ambiental, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do óleo da semente de abacate para o controle de formigas-cortadeiras. A extração do óleo foi realizada no Laboratório de Resíduos Contaminantes – LRC (Embrapa Meio Ambiente), por meio de aparelhos extratores do tipo soxhlet, utilizando o hexano como solvente. Para os testes tópicos, foram coletadas 180 operárias de *Atta sexdens* e utilizados cinco diferentes volumes do óleo e um tratamento controle: controle 0,5 µL (água destilada), V1 - 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0µL. A aplicação do óleo ocorreu por via tópica no pronoto das operárias, que em seguida foram individualizadas e mantidas em BOD a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . As avaliações ocorreram a cada 24h, durante o período oito dias. Na avaliação de toxicidade tópica, para ambos os testes, as taxas de mortalidade foram maiores nos primeiros dias após a aplicação do óleo, porém os resultados referentes ao segundo teste tópico foram mais promissores em relação ao primeiro teste. Tal fator pode ser devido à maior proporção de ácido linoleico presente no óleo da segunda extração, o qual foi usado no segundo teste tópico. A mortalidade acumulada dos tratamentos controle foi elevada em ambos os testes, e por esse motivo, necessita-se de futuros estudos que possam explicar tais resultados. Os diferentes volumes avaliados não apresentaram diferenças significativas entre si, apenas do tratamento controle. A partir da análise química do óleo, realizada pelo método GC-MS e GC-FID, foram identificados diversos compostos não-saponificáveis e saponificáveis, dentre eles os ácidos graxos linoleico, palmítico, oleico, alfa linoleico e mirístico. O ácido linoleico apresentou maior proporção em ambas as amostras de óleo, sendo o composto mais comumente associado às atividades inseticidas observadas. Em relação às subcolônias, foram ofertados 30 péletes por tratamento: péletes controle (sem óleo) e péletes contendo 0,5 µL de óleo de semente de abacate, totalizando oito repetições e 120 péletes cada. A avaliação do número de operárias mortas e o carregamento das iscas ocorreu a cada 24h, durante o período de seis dias. O número de péletes contendo o óleo e carregados pelas operárias foi baixo, contudo, foi possível observar uma maior mortalidade em relação ao tratamento controle.

**Palavras-chave:** *Atta sexdens*, óleo essencial, inseticidas botânicos, controle alternativo.

## ABSTRACT

Leaf-cutting ants are insects of great agricultural importance due to their harmful attack on different production systems, resulting in large economic and production losses. Currently, the use of chemicals to control these insects is the most used method, however, this has been associated with various environmental and human damages. Faced with the need for new alternatives with less environmental impact, the objective of this work was to evaluate the potential of avocado seed oil to control leaf-cutting ants. Oil extraction was carried out at the Contaminant Waste Laboratory – LRC (Embrapa Meio Ambiente), using soxhlet-type extractor devices, using hexane as a solvent. For the topical tests, 180 *Atta sexdens* workers were collected and used five different volumes of oil and a control treatment: control 0.5 µL (distilled water), V1 - 0.25; V2 - 0.5; V3 - 0.75; V4 - 1.0 and V5 - 2.0µL. The oil was applied topically on the workers' pronotum, which were then individualized and kept in BOD at  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ . The evaluations occurred every 24 hours, for eight days. In the evaluation of topical toxicity, for both tests, mortality rates were higher in the first days after application of the oil, but the results referring to the second topical test were more promising concerning the first test. This factor may be due to the higher proportion of linoleic acid present in the oil from the second extraction, which was used in the second topical test. The accumulated mortality of the control treatments was high in both tests and for this reason, further studies are needed to explain such results. The different volumes evaluated did not present significant differences among themselves, only for the control treatment. From the chemical analysis of the oil, performed by the GC-MS and GC-FID method, several non-saponifiable and saponifiable compounds were identified, among them linoleic, palmitic, oleic, alpha-linoleic and myristic fatty acids. Linoleic acid showed a higher proportion in both oil samples, being the compound most commonly associated with the observed insecticidal activities. Regarding the subcolonies, 30 pellets were offered per treatment: control pellets (without oil) and pellets containing 0.5 µL of avocado seed oil, totaling eight repetitions and 120 pellets each. The evaluation of the number of dead workers and the loading of baits occurred every 24 hours, for six days. The number of pellets containing the oil carried by the workers was low, however, it was possible to observe a higher mortality in the control treatment.

**Keywords:** *Atta sexdens*, essential oil, botanical insecticides, alternative control.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Exemplo de colônia de *Atta sexdens* mantida no laboratório do GEPEG - CCA/UFSCar, Araras, SP.....11
- Figura 2.** Preparação das sementes de abacate para a extração do óleo. (A) Sementes de abacate raladas em ralador convencional de quatro faces. (B) Amostras secas após três dias em estufa (C). Armazenamento das amostras em geladeira.....12
- Figura 3.** Extração do óleo de semente de abacate com hexano. (A) Extratores Soxhlet: à esquerda, sifão da corneta de 85 mL; à direita, sifão da corneta de 200 mL. (B) Pesagem do cartucho de papel filtro contendo as amostras secas de semente de abacate. (C) Evaporação do hexano em rotaevaporador. (D) Óleo obtido após a evaporação do solvente.....13
- Figura 4.** Etapas do teste de toxicidade tópica com hexano. (A) Operária forrageira individualizada em recipiente plástico contendo um pélete do fungo de sua colônia de origem. (B) Recipientes plásticos em luz ultravioleta previamente ao início dos testes. (C) Aplicação do solvente hexano no pronoto de uma operária com micropipeta.....15
- Figura 5.** Operárias individualizadas (repetições) representando os tratamentos.....16
- Figura 6.** Etapas para a fabricação das iscas. (A) Massa moldável e homogênea após mistura dos ingredientes. (B) Massa compactada em seringa para fabricação dos fios. (C) Fios secos após 24 horas em BOD a 25°C. (D) Péletes.....17
- Figura 7.** Etapas para o teste de análise de aceitação das iscas. (A) Subcolônias com aproximadamente 200mL de jardim de fungos, operárias e formas jovens de *Atta sexdens*. (B) Aplicação do óleo de semente de abacate na superfície das iscas com micropipeta. (C) Incorporação do óleo de semente de abacate na mistura inicial das iscas com micropipeta.(D) Oferta das iscas na câmara de alimentação.....18
- Figura 8.** Cromatogramas dos óleos de semente de abacate da primeira e segunda extração pelo método GC-MS.....20
- Figura 9.** Cromatogramas dos óleos de semente de abacate da primeira e segunda extração pelo método GC-MS indicando os picos referentes aos compostos avocadenofuran (A) e avocadynofuran (B).....21
- Figura 10.** Cromatogramas após a reação de esterificação e identificação dos ácidos graxos pelo método GC-FID. (A) Óleo de semente de abacate da primeira extração. (B) Óleo de semente de abacate da segunda extração.....23

<b>Figura 11.</b> Maturação dos frutos de abacate colhidos em épocas diferentes e utilizados para a extração dos óleos. (A) Primeira extração: característica e peso (g) de frutos e sementes colhidos no mês de maio de 2022. (B) Segunda extração: característica e peso (g) de frutos e sementes colhidos no mês de fevereiro de 2023.....	24
<b>Figura 12.</b> Probabilidade de sobrevivência (%) de operárias de <i>Atta sexdens</i> após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: hexano e óleo de semente de abacate da segunda extração, ambos no volume de 0,5 $\mu$ L.....	26
<b>Figura 13.</b> Primeiro teste tópico: mortalidade (%) de operárias de <i>Atta sexdens</i> após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1 - 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volumes em $\mu$ L do óleo de semente de abacate) e controle (0,5 $\mu$ L de água destilada).....	27
<b>Figura 14.</b> Segundo teste tópico: mortalidade (%) de operárias de <i>Atta sexdens</i> após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1 - 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volumes em $\mu$ L do óleo de semente de abacate) e controle (0,5 $\mu$ L de água destilada).....	28
<b>Figura 15.</b> Péletes contendo 0,5 $\mu$ L de óleo de semente de abacate e incorporados no jardim de fungos de subcolônia de <i>Atta sexdens</i> .....	32
<b>Figura 16.</b> Comparação da atividade de operárias de <i>Atta sexdens</i> nas câmaras de forrageamento das subcolônias. (A) Câmara de forrageamento com os péletes controle (sem óleo). (B) Câmara de forrageamento com péletes contendo 0,5 $\mu$ L de óleo de semente de abacate.....	32
<b>Figura 17.</b> Operárias de <i>Atta sexdens</i> mortas na câmara de forrageamento de subcolônia que recebeu os péletes contendo 0,5 $\mu$ L de óleo de semente de abacate.....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Identificação e quantificação dos ácidos graxos obtidos pelo método GC-FID presentes na amostra da primeira extração do óleo de semente de abacate.....	22
<b>Tabela 2.</b> Identificação e quantificação dos ácidos graxos obtidos pelo método GC-FID presentes na amostra da segunda extração do óleo de semente de abacate.....	22
<b>Tabela 3.</b> Mortalidade acumulada (%) e mediana (Md) de operárias de <i>Atta sexdens</i> referentes ao primeiro teste tópico após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1- 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volume em $\mu\text{L}$ do óleo de semente de abacate) e controle (0,5 $\mu\text{L}$ de água destilada).....	29
<b>Tabela 4.</b> Mortalidade acumulada (%) e mediana (Md) de operárias de <i>Atta sexdens</i> referentes ao segundo teste tópico após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1- 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volume em $\mu\text{L}$ do óleo de semente de abacate) e controle (0,5 $\mu\text{L}$ de água destilada).....	30
<b>Tabela 5.</b> Número de péletes transportados e mortalidade de operárias em quatro subcolônias de <i>Atta sexdens</i> seis dias após a oferta de péletes controle (sem óleo) e péletes contendo 0,5 $\mu\text{L}$ de óleo de semente de abacate.....	33

## APÊNDICES

<b>Apêndice 1.</b> Relação de artigos publicados entre 1990 a 2022 sobre extratos botânicos naturais com potencial inseticida contra formigas- cortadeiras. Lista atualizada em 2023, totalizando 68 artigos encontrados.....	46
<b>Apêndice 2.</b> Relação dos prováveis compostos não-saponificáveis presentes no óleo de semente de abacate extraído com hexano e obtido pelo Método GC/MS.....	49

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO TEÓRICA .....	2
2.1 As formigas-cortadeiras.....	2
2.2 Danos e prejuízos provocados por formigas-cortadeiras.....	3
2.3 Métodos de controle de formigas-cortadeiras .....	4
2.4 Extratos vegetais e óleos no controle de insetos-praga e fitopatógenos.....	5
2.5 Extratos vegetais e óleos no controle de formigas-cortadeiras.....	7
2.6 O abacate ( <i>Persea americana</i> Mill) .....	9
3 OBJETIVOS.....	10
3.1 Objetivo geral .....	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4.1 Manutenção das colônias de formigas-cortadeiras .....	10
4.2 Preparação das sementes de abacate.....	11
4.3 Extração do óleo de semente de abacate com hexano .....	12
4.4 Caracterização química do óleo vegetal de semente de abacate.....	14
4.5 Toxicidade tópica do solvente hexano sobre operárias de formigas-cortadeiras.....	14
4.6 Toxicidade tópica do óleo de semente de abacate sobre operárias de formigas-cortadeiras.....	16
4.7 Fabricação das iscas .....	16
4.8 Análise da aceitação e toxicidade de iscas contendo óleo de semente de abacate em subcolônias de formigas-cortadeiras .....	17
4.9 Análise de dados.....	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
5.1 Extração do óleo de semente de abacate com hexano .....	19
5.2 Caracterização química do óleo de semente de abacate .....	19
5.3 Toxicidade tópica do solvente hexano sobre operárias de formigas-cortadeiras .....	25
5.4 Toxicidade tópica do óleo de semente de abacate sobre operárias de formigas-cortadeiras.....	26
5.5 Análise da aceitação das iscas contendo óleo de semente de abacate em subcolônias de formigas-cortadeiras .....	31
6 CONCLUSÕES .....	34
7 REFERÊNCIAS .....	35
8 APÊNDICES .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

As formigas-cortadeiras pertencem à subfamília Myrmicinae, tribo Attini, subtribo Attina, e são representadas pelos gêneros *Atta* (saúvas), *Acromyrmex* e *Amoimyrmex* (quenquéns). Como todas as demais espécies de formigas, são insetos eussociais, e desempenham papel fundamental na formação da ciclagem biogeoquímica, além de serem consideradas indicadores biológicos confiáveis (BRITTO et al., 2016; SANTOS-SILVA; VICENTE; FEITOSA, 2016; SOPER et al., 2019).

Contudo, pelo fato de cortarem e transportarem material vegetal fresco para a manutenção de seu fungo mutualístico *Leucocoprinus gongylophorus* (Leucocoprini, Agaricales), o qual serve de alimento para as larvas e operárias das colônias (MUELLER et al., 2017), são consideradas grandes pragas da agricultura, plantações florestais e pecuária, e responsáveis por perdas significativas e grande impacto econômico devido ao desfolhamento excessivo que acaba por comprometer o desenvolvimento de diversas culturas (SILVA et al., 2003; MONTOYA-LERMA et al., 2012; MUELLER et al., 2018).

Atualmente, o principal método de controle das formigas-cortadeiras é por meio de iscas formicidas, as quais possuem como principal ingrediente ativo, a sulfluramida. Apesar de sua eficiência, a sulfluramida é percussora de compostos químicos considerados extremamente persistentes no ambiente e bioacumulativos nas teias alimentares, e por esse motivo, existe uma forte pressão do mercado para reduzir seu uso (ZANETTI et al., 2003; NIP, 2015; ZABALETA et al., 2018). Dessa maneira, a busca por alternativas de controle eficazes e menos nocivas ao meio ambiente, principalmente as que envolvem o uso de óleos e extratos de origem vegetal, é cada vez maior (RAMOS et al., 2019).

É sabido que mais de 6.000 espécies vegetais são conhecidas por apresentarem propriedades inseticidas (WALIA; KOUL, 2008), como por exemplo, as espécies da família Lauraceae, na qual está incluso o abacate (*Persea americana* Mill). Assim, ao considerar o potencial inseticida dos compostos químicos contidos no abacate, bem como a urgência por alternativas à sulfluramida, nosso estudo objetivou avaliar o potencial do óleo vegetal da semente sobre as formigas-cortadeiras, podendo ser uma alternativa sustentável, eficiente e inovadora no controle desses insetos.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 As formigas-cortadeiras

As formigas (Hymenoptera, Formicidae) são insetos eussociais classificados em 16 subfamílias, 38 tribos, e aproximadamente 17.000 espécies existentes (ANTWEB, 2023; BOLTON, 2023). As formigas desempenham papéis fundamentais em diferentes habitats, como áreas urbanas e rurais, florestas e cavernas (WILKIE; MERTL; TRANIELLO, 2010; DÁTTILO et al., 2012; SOUZA-CAMPANA et al., 2020), interagindo com muitos organismos e atuando como engenheiras do ecossistema (TORO; RIBBONS; PELINI, 2012), além de serem consideradas confiáveis indicadores biológicos (SANTOS-SILVA; VICENTE; FEITOSA, 2016).

Na subfamília Myrmicinae, tribo Attini, subtribo Attina, encontram-se as formigas cultivadoras de fungos, um grupo monofilético constituído por 19 gêneros e 250 espécies descritas (SCHULTZ, 2020). Dentre elas, encontram-se os gêneros *Atta* Fabricius, 1804, *Acromyrmex* Mayr, 1865 e *Amoimyrmex* Cristiano et al., 2020, que formam um grupo com cerca de 53 espécies e 26 subespécies, conhecidas popularmente como formigas-cortadeiras (BOLTON, 2023).

As formigas-cortadeiras são endêmicas do Novo Mundo, mas com ampla distribuição, desde o sul dos Estados Unidos até o sul da Argentina (DELLA LUCIA; SOUZA, 2011; ANTMAPS, 2022), sendo que mais de 60% das espécies ocorrem no Brasil (FORTI; BOARETTO, 1997). Em nosso país, as formigas do gênero *Atta* são conhecidas popularmente como saúvas e, as dos gêneros *Acromyrmex* e *Amoimyrmex*, como quenquéns (BRITTO et al., 2016).

As formigas-cortadeiras podem ser benéficas para o ambiente, pois o resíduo orgânico proveniente de seus ninhos pode contribuir para o enriquecimento das propriedades do solo e na estrutura da comunidade vegetal adjacente (SANTOS-NETO, 2021). Além disso, podem atuar na dispersão de sementes (SOUSA-SOUTO et al., 2007) e na formação da ciclagem biogeoquímica (SOPER et al., 2019).

Porém, a denominação popular de formigas-cortadeiras é devido ao fato de as operárias cortarem e transportarem material vegetal fresco, como folhas, ramos e flores, para a manutenção de seu fungo mutualístico *Leucocoprinus gongylophorus* (Leucocoprini, Agaricales) (MUELLER et al., 2017). O substrato vegetal coletado permite a produção de gongilídeos, estruturas ricas em carboidratos, aminoácidos, proteínas e vitaminas (MASIULIONIS et al., 2014), consideradas o alimento exclusivo das larvas (SILVA et al., 2003).

Por essa característica, as formigas-cortadeiras são reconhecidas como importantes pragas de plantações florestais, agricultura e pecuária em várias regiões do Brasil e da América (MATRANGOLO et al., 2010; BRITTO et al., 2016), causando o desfolhamento excessivo e comprometendo o desenvolvimento das plantas, com perdas significativas e grande impacto econômico (MONTROYA - LERMA et al., 2012; MUELLER et al., 2018).

## **2.2 Danos e prejuízos provocados por formigas-cortadeiras**

Estimativas indicam que os danos causados pelas formigas-cortadeiras são responsáveis por perdas anuais de vários bilhões de dólares, atribuídos à diminuição da produtividade e aos custos associados ao seu controle químico (BURATTO et al., 2012). Tais gastos podem representar entre 30 e 75% do orçamento total vinculado ao manejo de pragas em plantações florestais (DELLA LUCIA et al., 2014).

Nos sistemas florestais, as plantações de eucalipto e pinus são as mais afetadas pelas formigas-cortadeiras (SÁNCHEZ-RESTREPO et al., 2019; JIMÉNEZ et al., 2022). Nিকেle et al. (2020) verificaram que a desfolha completa (incluindo o meristema apical) causada por *Acromyrmex crassispinus* Forel, 1909 em plantações de *Pinus taeda* Linnaeus, 1753 no Brasil durante os primeiros 30 dias de cultivo, pode resultar em uma perda de até 22% em diâmetro e 43% em volume de madeira das árvores. Jiménez et al. (2022) relacionaram a mortalidade de uma plantação de *Salix nigra* Marshall, 1801 de um ano de idade e o volume de madeira perdido com a densidade de ninhos de *Acromyrmex lundii* Guérin-Méneville, 1838 na província de Entre Ríos, Argentina.

No caso de árvores de *P. taeda*, seis anos após o plantio, reduções significativas na altura total (19%), diâmetro (4,4%) e volume de madeira (21%) aconteceram em locais com presença de ninhos de *Atta sexdens* Linnaeus, 1758. Além disso, a mortalidade das árvores atingiu 31,2% quando as formigas estavam presentes (SCHERF et al., 2022). Na cultura de cana-de-açúcar, uma colônia de *Atta bisphaerica*, Forel 1908 (saúva-mata-pasto) pode gerar danos de mais de três toneladas por ano. Isso significa aproximadamente 450 kg de açúcar ou 300 litros de etanol perdidos (FORTI; BOARETTO, 1997; OLIVEIRA, 2006).

Diante deste cenário, os problemas associados às formigas-cortadeiras levaram ao desenvolvimento de diversas técnicas de controle, sendo estas associadas ao custo operacional, condições climáticas e implicações que podem causar no ambiente. Dentre elas, podemos citar o controle mecânico, o cultural, o biológico e o químico, o qual tem sido efetivamente utilizado desde a década de 50 do século passado (FORTI; BOARETTO, 1997).

### 2.3 Métodos de controle de formigas-cortadeiras

Considerados insetos formidáveis pela eficiência no corte e transporte de folhas, as formigas-cortadeiras possuem várias características biológicas e comportamentais que dificultam o seu controle. O desenvolvimento de um complexo sistema de defesa, assim como a arquitetura, o tamanho e a localização dos ninhos, um sistema de proteção à rainha e estratégias de higiene dos ninhos, que incluem a remoção de materiais danosos pelas operárias, constituem uma barreira para a utilização de novas moléculas e técnicas de controle (GÓMEZ-DÍAZ et al., 2022).

A aplicação de iscas tóxicas ou formicidas para o controle de formigas-cortadeiras é considerada a técnica mais prática, eficiente e econômica dentre as utilizadas (ZANETTI et al., 2003). As iscas podem ser usadas tanto na fase de preparação do terreno dos cultivos como na fase de monitoramento, contudo, sua composição à base de diferentes princípios formicidas pode apresentar certos riscos ao meio ambiente.

A sulfluramida é considerada o principal ingrediente ativo utilizado em iscas formicidas (GUSTANI et al., 2021), com eficiência de 90 a 100% para diversas espécies de formigas-cortadeiras, como *Atta laevigata* Smith, 1858 (ZANUNCIO et al., 1992) e *A. sexdens* (ZANETTI et al., 2003). Em contato com as formigas, os sintomas de intoxicação por sulfluramida são manifestados por movimentos lentos e diminuição da agressividade, decorrentes do bloqueio do fluxo de elétrons da cadeia respiratória, nas mitocôndrias, interrompendo a síntese de adenosina trifosfato (ATP) (FUJIHARA; SILVA; FORTI, 2013). A ATP tende a diminuir até ocorrer a interrupção total do metabolismo da formiga, resultando assim, em sua morte (BRITTO et al., 2016).

Apesar de sua eficiência no controle de formigas-cortadeiras, a sulfluramida é precursora do composto químico perfluorooctano-1-sulfonato (PFOS), extremamente persistente no ambiente e bioacumulativo nas teias alimentares (ZABALETA et al., 2018). Por esta razão, existe uma forte pressão do mercado para reduzir o uso de pesticidas químicos para o controle de formigas-cortadeiras em povoamentos florestais (SILVA et al., 2020) e nas demais áreas cultivadas. Na tentativa de reduzir o uso de produtos químicos considerados Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), o Plano Nacional de Implementação (NIP, na sigla em inglês), da Convenção de Estocolmo de 2015, incluiu a sulfluramida em seu anexo B, considerando-a como um poluente orgânico permanente e com perspectivas de eliminação de seu uso (NIP, 2015). Também em 2015, o Conselho de Manejo Florestal (FSC, na sigla em inglês) listou a sulfluramida e o fipronil como pesticidas “altamente perigosos” (FSC, 2015).

A isca Bioisca<sup>®</sup> (nome comercial), produzida a partir dos extratos de *Palicourea marcgravii* A. St.-Hil, 1825 (Rubiaceae) e *Tephrosia candida* D.C, 1785 (Fabaceae), foi aprovada e licenciada para o controle de *A. sexdens* e *A. laevigata* em cultivos orgânicos no Brasil (BIOISCA, 2018; AGROFIT, 2020), tornando-se um dos produtos pioneiros no setor. No entanto, sua eficácia, viabilidade técnica e econômica no controle de formigas cortadeiras em plantios florestais brasileiros, especialmente com eucalipto, ainda precisam ser avaliadas (LEMES et al., 2021).

O uso contínuo de quase dois milhões de toneladas de pesticidas sintéticos no mundo, predominantemente na área agrícola, tem sido problemático, pois muitas espécies-chave têm-se tornado resistentes a estas substâncias, enquanto populações de inimigos naturais correm o risco de serem dizimadas por elas (SHARMA et al., 2019). Ademais, contribuem para a intensificação da poluição ambiental, tendo em vista que diversos compostos persistem no ambiente como resíduos tóxicos muito além do tempo desejado.

Assim, é urgente a necessidade da busca por novos ingredientes ativos, visando à substituição da sulfluramida. No entanto, a prospecção de novas moléculas é um processo demorado, principalmente porque a maioria dos compostos testados apresentam menor toxicidade do que a sulfluramida (STEFANELLI et al., 2019). Dessa forma, a busca por alternativas de controle eficazes e menos nocivas ao meio ambiente, principalmente as que envolvem bioativos botânicos, é cada vez maior (RAMOS et al., 2019).

#### **2.4 Extratos vegetais e óleos no controle de insetos-praga e fitopatógenos**

Os óleos e extratos vegetais constituem-se em fontes de compostos químicos bioativos (MIRESMAILLI; ISMAN, 2014; PAVELA, 2016) que podem atuar como eficientes inseticidas naturais contra diversos insetos, principalmente aqueles derivados dos metabólitos secundários das plantas (KHAN et al., 2017). Tais compostos são considerados potencialmente compatíveis com programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), uma vez que podem ser específicos para determinadas espécies-alvo, possuem alta eficiência e baixa persistência no ambiente (ISMAN, 2008; FEITOSA-ALCANTARA, 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

Compostos químicos naturais provenientes destes extratos e óleos possuem atividades de repelência, anti-alimentação, retardo de crescimento e fecundidade, inibição da oviposição e interrupção do desenvolvimento embrionário em diversos insetos (MAFRA-NETO et al., 2015), além de efeitos neurotóxicos que podem comprometer outras de suas atividades (ISMAN, 2008).

A utilização de plantas com potencial inseticida para o controle de pragas não é uma técnica recente. Dentre os primeiros inseticidas botânicos conhecidos, destacam-se a piretrina, ingrediente ativo extraído das flores do gênero *Chrysanthemum*, Linnaeus, 1753 (Asteraceae), precursora dos inseticidas piretroides. A nicotina, alcaloide extraído principalmente das folhas do tabaco, *Nicotiana tabacum* Linnaeus, 1753 (Solanaceae), precursora do inseticida imidacloprido. Por fim, a rotenona, extraída de raízes, folhas, ramos ou sementes de *Tephrosia* Pers, 1807, *Derris* Lour, 1852, *Lonchocarpus* Kunth, 1824, *Millettia* Wight & Arn, 1834, *Mundulea* Benth, 1852 e *Spatholobus* Beibl, 1842, todas pertencentes à família Fabaceae (DECKER, 1940; MARICONI, 1965; COATS, 1994).

Um dos maiores avanços nesta área ocorreu por meio da planta *Azadirachta indica* A. Juss, 1830 (Meliaceae), cujos compostos químicos, principalmente a azadiractina (tetranortriterpenoide) presente nas sementes, inibem o crescimento e a reprodução, além de agirem como deterrente ou repelente para a maioria dos insetos (REMBOLD, 1987; JACOBSON, 1989; SAXENA, 1989; SCHMUTTERER, 1990). Recentemente, em estudo conduzido por Martins et al. (2022), verificou-se que o extrato de *A. indica* foi capaz de alterar o comportamento do gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Mots, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), por meio da redução da frequência de caminhada do inseto, assim como no número de visitas aos grãos tratados, indicando que o extrato pode ser uma alternativa potencial para o controle da praga em produtos armazenados.

Hyder et al. (2022) constataram alta mortalidade do pulgão-verde-do-pêssego, *Myzus persicae* Sulzer, 1776 (Hemiptera: Aphididae), quando tratados com extratos de diferentes plantas, incluindo *Trachyspermum ammi*, 1823 Sprague (Apiaceae) e *Citrullus colocynthis*, Schrad 1846 (Cucurbitaceae), responsáveis por 81,7% e 76,5% de mortalidade, respectivamente.

A ação antifúngica de alguns extratos botânicos também vem se destacando nos campos de pesquisa e em aplicações práticas. Gomes et al. (2018) analisaram os efeitos inibitórios do extrato de *Cinnamomum zeylanicum* Blume, 1830 (Lauraceae), sobre o crescimento micelial do fungo *Cylindrocladium candelabrum* Morgan, 1892, principal responsável pela redução na produtividade nos cultivos de eucalipto (SCHULTZ, 2011). Os resultados obtidos foram promissores, sendo que o extrato na concentração de 20 mg. mL<sup>-1</sup> levou à inibição de 45,28% do fitopatógeno.

Wong et al. (2020) testaram o efeito antifúngico dos extratos de *Andrographis paniculata* Burm, 1759 (Acanthaceae), *Backhousia citriodora* F. Muell, 1853 (Myrtaceae) e *Phaleria macrocarpa* Scheff, 1900 (Thymelaeaceae) sobre três diferentes fungos:

*Pyricularia oryzae* Cavara, 1892, *Exserohilum rostratum* Leonard & Sugs, 1974, e *Rhizoctonia solani* Kuhn, 1858, responsáveis por causarem as doenças conhecidas como brusone, mancha-marrom e ferrugem-da-bainha na cultura do arroz. Como resultado, o extrato aquoso de *A. paniculata* e o extrato metanólico de *P. macrocarpa* foram considerados os mais promissores, causando um efeito inibitório micelial significativo contra *P. oryzae*, de 81,9% e 100%, respectivamente.

O uso de óleos essenciais derivados de diferentes espécies vegetais são também uma alternativa em potencial no controle de diversos insetos-praga, tendo em vista que se encaixam nos requisitos de eficiência, segurança, seletividade, tecnicamente e ambientalmente viáveis e seguros (SOMBRA et al., 2020).

Em estudos desenvolvidos por Mendonza-García et al. (2019) os óleos essenciais de *Teesdalia coronopifolia* Thell, 1912 (Brassicaceae), *Clematis terniflora* DC, 1817 (Ranunculaceae) e *Tagetes lucida* Cav, 1785 (Asteraceae) causaram, respectivamente, 92%, 74% e 95% de repelência em *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), inseto vetor da bactéria *Candidatus Liberibacter* spp., responsável pelo huanglongbing (greening ou HLB), a pior doença da citricultura na atualidade.

## **2.5 Extratos vegetais e óleos no controle de formigas-cortadeiras**

Diversas metodologias podem ser utilizadas para a extração dos metabólitos secundários presentes nas plantas, como maceração, infusão, decocção, percolação, extração em soxhlet, além de diferentes solventes orgânicos ou aquosos (ABUBAKAR; HAQUE, 2020; SASIDHARAN et al., 2011). Como resultado, tais compostos são obtidos na forma de óleos e/ou extratos vegetais, sendo que, segundo Barreto (2008), a principal diferença entre os termos “extratos vegetais” e “óleos vegetais” constitui-se em seu método de extração/obtenção.

Mais de 6.000 espécies vegetais são reconhecidas por apresentarem propriedades inseticidas contra insetos-praga (WALIA; KOUL, 2008), fomentando a busca de novos compostos químicos, principalmente aqueles derivados dos metabólitos secundários das plantas, que podem ser avaliados para o controle das formigas-cortadeiras e seu fungo mutualístico.

De acordo com um levantamento realizado nas bases de dados Google Scholar®, SciELO®, Scopus® e Web of Science® por Zanini e Fujihara (2022), compreendendo o período de 1990 a 2022, foram encontrados, no total, 68 artigos relacionados ao controle de formigas-cortadeiras a partir de extratos vegetais, sendo 53 deles publicados por

pesquisadores brasileiros, seguidos por sete publicados por pesquisadores colombianos, seis argentinos e dois franceses. Nesses trabalhos, foram avaliadas 84 espécies vegetais distribuídas em 34 famílias botânicas, principalmente da família Rutaceae, com 10 espécies, seguidas de Asteraceae com seis espécies, e Euphorbiaceae, Lamiaceae, Meliaceae e Solanaceae com cinco espécies cada. Do total de artigos pesquisados, 58 aplicaram extratos botânicos ou seus isolados apenas em operárias de formigas-cortadeiras, 14 no fungo mutualístico e 14 em ambos (item 8 Apêndices - Apêndice 1).

A partir desse levantamento, foram observados diversos trabalhos com resultados promissores quanto ao uso de compostos vegetais. Em condições de laboratório, extratos em concentração de 10% obtidos a partir de *Eugenia uniflora* Linnaeus, 1753 (Myrtaceae) e *Melia azedarach* Linnaeus, 1753 (Meliaceae) apresentaram resultados satisfatórios no controle de *A. laevigata* (JUNG et al., 2013). Resultados promissores também foram verificados por Bigi et al. (2004) ao estudarem os efeitos tóxicos das frações de folhas de mamona em operárias de *A. sexdens* e seu fungo mutualista. A ricinina foi a principal substância responsável pela toxicidade nas operárias, enquanto os ácidos graxos foram responsáveis pela inibição do desenvolvimento do fungo.

Melo et al. (2020) testaram uma mistura de óleo essencial de cipó-de-cobra *Aristolochia trilobata* Linnaeus, 1753 (Aristolochiaceae) com óleo essencial de *Myrcia lundiana* Kiaersk 1893 (Myrtaceae), a fim de se testar o efeito sinérgico dos compostos químicos presentes, sobre operárias de *Acromyrmex balzani* Emery, 1890 e seu fungo mutualístico. A mistura dos óleos foi eficaz, promovendo 87% de mortalidade de operárias e 99% de mortalidade do fungo. Em estudos desenvolvidos por Salazar et al. (2020), o óleo essencial de *Piper holtonii* C. 1869 (Piperaceae) foi aplicado diretamente sobre o fungo *L. gongylophorus*, com redução de 95% de seu volume após cinco semanas.

Outros extratos e óleos de várias espécies vegetais também já foram avaliados como possíveis formas de controle alternativo, sendo que algumas espécies apresentaram resultados satisfatórios e promissores, tais como *Ricinus communis* Linnaeus, 1753 (Euphorbiaceae) (HEBLING et al., 1996), *Carapa guianensis* Aubl, 1764 (Meliaceae), *Elaeis guineensis* Jacq, 1809 (Arecaceae), *Sesamum indicum* Linnaeus, 1753 (Pedaliaceae), *Anacardium occidentale* Linnaeus, 1753 (Anacardiaceae), *Azadirachta indica* Juss, 1831 (Meliaceae) (OLIVEIRA, 2006) e *Rauia* sp. (FREITAS, 2010).

Além disso, algumas espécies das famílias Apiaceae, Asteraceae, Brassicaceae e Lauraceae também vêm sendo identificadas como fontes promissoras de compostos com propriedades inseticidas (MAFRA-NETO et al., 2015). Sendo assim, o uso de extratos vegetais

e óleos para o controle de formigas-cortadeiras e/ou seu fungo mutualístico pode ser uma opção sustentável, viável, eficaz e capaz de contribuir com uma agricultura mais sustentável.

## **2.6 O abacate (*Persea americana* Mill)**

As plantas da família Lauraceae são uma promissora fonte de compostos com propriedades inseticidas (MAFRA-NETO et al., 2015). O abacate, *Persea americana* Mill, 1733 (Lauraceae) é amplamente cultivado em quase todos os estados brasileiros (IBGE, 2017) e uma das frutíferas mais produtivas por unidade de área cultivada (MOOZ et al., 2012). Segundo Fernandes et al. (2020), a produção anual brasileira de abacates é de 213 mil toneladas e o Brasil é considerado o país com a maior média em produtividade (em torno de 21,3 toneladas por hectare/ano).

Durante a colheita e pós colheita, processamento, uso ou consumo industrial do abacate, é gerada uma grande quantidade de resíduos (sementes, endocarpo, epicarpo e folhas), sendo que apenas em relação às sementes, estima-se que 1,45 milhões de toneladas/ano são descartadas mundialmente, contribuindo para o desperdício e poluição ambiental (NYAKANG'I et al., 2023). Além disso, a elevada produção de etileno após a colheita, confere aos frutos de abacate alta perecibilidade, resultando em perdas no setor varejista de até R\$ 600 milhões por ano no Brasil. Quando exposto em área de venda, ocorre aproximadamente 86% do total de perdas, outros 9% ocorrem durante o transporte e os 5% restantes no armazenamento (VIDAL; XIMENES, 2016).

Diante deste cenário, os subprodutos do abacate ganharam grande interesse como resíduos agroindustriais úteis. As sementes e cascas são ricas fontes de uma infinidade de metabólitos bioativos, incluindo fitoesteróis, triterpenos, catequinas, hidroxicinâmicos, proantocianidinas e derivados glicosilados do ácido abscísico (YOUNIS et al., 2022).

Assim, a gestão eficiente, econômica e ecologicamente correta desses resíduos agroindustriais constitui uma abordagem razoável não apenas para reduzir seu impacto ambiental, mas também para o tratamento das sementes, a fim de se obter constituintes valiosos de seu extrato.

Apesar de ser popularmente conhecido por suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias e pela sua ampla utilização na indústria cosmética e alimentícia (MOOZ et al., 2012), estudos recentes, como o publicado por Bhuyan et al. (2019), indicam que nas folhas, no epicarpo e na semente do abacate existem compostos químicos específicos e metabólitos secundários que podem atuar como agentes inseticidas de grande eficácia. Tango et al. (2004), por meio da caracterização física e química de 24

variedades de abacate, indicaram que a semente representa em média, 17% do peso total bruto dos frutos, e contém de 2,3 a 5,7% de substâncias fenólicas.

Em estudos desenvolvidos por Younis et al. (2022), sete sementes de abacate de quatro diferentes variedades foram avaliadas quanto aos seus componentes químicos. Como resultado, 68 compostos não saponificados e 26 saponificados foram identificados, sendo os hidrocarbonetos alifáticos saturados os principais constituintes dentre todas as amostras.

Ragasa et al. (2014) isolaram do fruto maduro liofilizado alguns componentes químicos, dentre os quais 1,2,4 trihidroxinonadecano, considerado um inseticida botânico natural mais potente do que a rotenona, quando testado contra *Aedes aegypti* Linnaeus, 1762 (Diptera: Culicidae) (OBERLIES et al., 1998).

Além de muitas vezes serem descartados por não apresentarem perspectivas quanto ao seu uso, poucos estudos testaram de fato o potencial efeito do abacate ou de seus derivados como agentes inseticidas no controle de insetos-praga, em especial de formigas-cortadeiras.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial do óleo vegetal da semente de abacate para o controle de formigas-cortadeiras.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- 1) Extrair com hexano o óleo da semente de abacate;
- 2) Caracterizar quimicamente o óleo da semente de abacate;
- 3) Avaliar a toxicidade tópica do óleo vegetal sobre operárias de formigas-cortadeiras;
- 4) Avaliar a aceitação e a toxicidade de iscas contendo o óleo vegetal em subcolônias de formigas-cortadeiras.

### **4 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 Manutenção das colônias de formigas-cortadeiras**

Colônias de *Atta sexdens* (entre quatro a cinco anos de idade) estão sendo mantidas no Laboratório do GEPEG – Grupo de Estudos e Pesquisa em Entomologia Geral – CCA/UFSCar, campus de Araras, em sala climatizada ( $T = 24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{UR} = 70 \pm 10\%$ ), no interior de recipientes plásticos, que correspondem a câmaras de fungo, com o fundo preenchido por uma camada de 1 cm de gesso para a manutenção da

umidade. Às câmaras de fungo foram conectados tubos plásticos que as ligam a outros dois recipientes para compor as câmaras de forrageamento e de lixo, sendo esta limpa periodicamente (Figura 1).

São ofertadas, como substrato vegetal, folhas frescas de ligustro [*Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (Lamiales: Oleaceae)], pedaços de maçã e aveia laminada uma vez por semana. As folhas e a aveia são utilizadas pelas formigas como substrato para a manutenção do fungo mutualístico, e as maçãs servem como suplemento alimentar e de líquidos para as mesmas.

**Figura 1.** Exemplo de colônia de *Atta sexdens* mantida no laboratório do GEPEG - CCA/UFSCar, Araras, SP.



Fonte: A autora (2022).

#### 4.2 Preparação das sementes de abacate

Os frutos de abacate da variedade Ouro Verde foram coletados no campus Araras da UFSCar. Em seguida, foram pesados, lavados, e as sementes separadas da porção comestível (mesocarpo). As sementes foram, então, raladas em ralador convencional de quatro faces (Figura 2A), pois precisaram ser reduzidas em porções menores para viabilizar a extração do óleo.

No LAST - Laboratório de Análises e Simulação Tecnológica, CCA/UFSCar, campus Araras, o material ralado foi seco em estufa de ar circulante a 35°C até a umidade constante de 50,75% ± 0,72 por três dias (Figura 2B). Ao final do processo, as amostras foram divididas em porções de 100g e armazenadas em recipientes plásticos de 250mL recobertos com papel alumínio (a fim de se evitar qualquer tipo de degradação pela luz) e armazenadas em geladeira a 5°C (Figura 2C).

**Figura 2.** Preparação das sementes de abacate para a extração do óleo. (A) Sementes de abacate raladas em ralador convencional de quatro faces. (B) Amostras secas após três dias em estufa (C). Armazenamento das amostras em geladeira.



Fonte: A autora (2022).

### 4.3 Extração do óleo de semente de abacate com hexano

O óleo de semente de abacate foi extraído no Laboratório de Resíduos Contaminantes – LRC, localizado na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP. As análises foram realizadas sob a responsabilidade do técnico Marley Tavares e orientação da Dra. Sonia Cláudia do Nascimento de Queiroz. A extração foi realizada pelo método de Soxhlet, que é utilizado quando um composto tem uma solubilidade pequena em um determinado solvente e o conjunto de impurezas são insolúveis nesse mesmo solvente.

Foram utilizados dois extratores de Soxhlet de diferentes tamanhos, sendo um com sifão da corneta do extrator de 85 mL e outro de 200 mL (Figura 3A). Previamente, foram preparados dois cartuchos de papel filtro para acondicionar as amostras secas da semente de abacate (15 e 30 g) (Figura 3B). O balão volumétrico de cada aparelho foi pesado, e em seguida, foram adicionados 250 mL de hexano da marca ACS Científica no balão

volumétrico menor e 500 mL no balão maior. Especificações químicas do solvente utilizado: resíduo após evaporação: máx. 0,0001%; compostos sulfurados: máx. 0,005%; cor (APHA): máx. 10; PM: 86.18g/mol; ensaio (mistura de isômeros): min. 98,5%.

Cada cartucho permaneceu nos extratores por cerca de quatro horas, e o processo foi repetido quatro vezes em cada extrator, sendo o volume inicial de hexano repostado a cada novo ciclo. Após esse período, os cartuchos foram retirados e iniciou-se a evaporação do hexano em rotaevaporador para a obtenção do máximo volume do solvente (Figura 3C). O rendimento do óleo foi obtido pela subtração do peso inicial de cada balão volumétrico pelo peso após a evaporação. O óleo obtido foi então armazenado em frasco de vidro no congelador de uma geladeira (-12°C) para a caracterização química (Figura 3D).

**Figura 3.** Extração do óleo de semente de abacate com hexano. (A) Extratores Soxhlet: à esquerda, sifão da corneta de 85 mL; à direita, sifão da corneta de 200 mL. (B) Pesagem do cartucho de papel filtro contendo as amostras secas de semente de abacate. (C) Evaporação do hexano em rotaevaporador. (D) Óleo obtido após a evaporação do solvente.



Fonte: A autora (2022).

#### 4.4 Caracterização química do óleo vegetal de semente de abacate

A caracterização química também foi realizada no Laboratório de Resíduos Contaminantes – LRC. Inicialmente foi utilizado a técnica CG-MS (cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas) em aparelho Agilent, coluna: Agilent – J&W - HP – 5ms - Ultra Inert - 30 m × 0,250mm ID, 0,25µm, (Agilent – 19091S-433UI) 7890B/ 7693/ 5977 MSD; sistema cromatográfico: Agilent Technologies 7890B; amostrador automático: Agilent 7693; detector: mass spectrometry: 5977B MSD e modo de injeção: Splitless, que indicou os prováveis compostos não-saponificáveis, baseado em sua biblioteca.

Para a confirmação dos compostos químicos detectados e identificação de compostos saponificáveis, uma pequena amostra do óleo foi inicialmente transesterificada em solução de éster metílico. Em seguida foi analisada por CG-FID (cromatografia a gás com detector por ionização de chama) nas seguintes condições: aparelho GC – 2010 – SHIMADZU, coluna 60 m × 0,250mm ID, 0,25 µm DB-23 (Agilent -J&W - 122-2362); temperatura do injetor: 250 °C; gás de arraste: hélio; stop time: 29,75 min; delay time: 1min; fluxo da coluna: 1mL/min; temperatura do forno: 50 °C, 1 min; 25 °C/min a 175 °C; 4 °C/min a 230 °C, 10 min; temperatura do detector: 280 °C .O volume de injeção foi de 1µl.

Para a análise dos cromatogramas do óleo e do hexano, foram pesados 0,1g do óleo, dissolvido em 1mL de hexano. Em seguida, a mistura foi filtrada em filtro de 0,45µm e injetada no aparelho. O volume de injeção também foi de 1µl. No equipamento, os códigos 080922\_01 e 080922\_02 referem-se a 0,1g de óleo da semente de abacate em 1mL de hexano, e 080922\_00 refere-se ao solvente.

#### 4.5 Toxicidade tóxica do solvente hexano sobre operárias de formigas-cortadeiras

Para verificar se o hexano, solvente utilizado na extração do óleo, poderia influenciar na mortalidade das operárias de *A. sexdens*, foi realizado um experimento complementar. Foram separadas 60 operárias oriundas de quatro colônias com aproximadamente quatro anos de idade. A fim de se evitar qualquer tipo de contaminação por contato, resultante do comportamento de *allogrooming* (limpeza mútua) observado nas formigas-cortadeiras, as repetições foram individualizadas (NAGAMOTO et al., 2004), sendo cada uma representada por um recipiente plástico de 30 mL com o fundo coberto por 0,1 cm de gesso para manutenção da umidade (Figura 4A) e contendo uma operária forrageira com largura de cápsula cefálica de  $2,0 \pm 0,2$  mm, valor dentro do proposto por Wilson (1980).

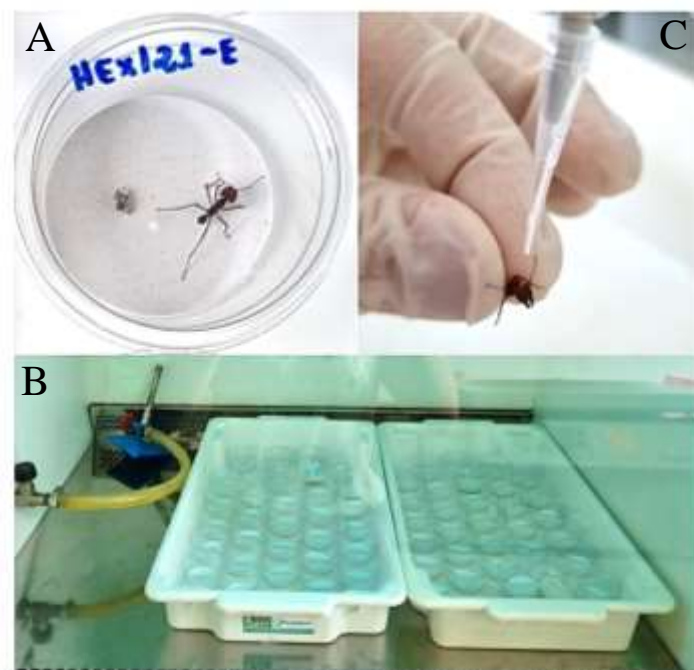
Para evitar qualquer tipo de contaminação externa, todos os potes foram expostos previamente aos experimentos a luz ultravioleta em capela, durante 20 minutos (Figura 4B).

Em cada recipiente foi adicionado um pélete do fungo da colônia de origem (cerca de 1 cm<sup>3</sup>) para que as operárias pudessem se alimentar até o final do período de avaliação do experimento, o qual era substituído sempre que apresentasse sinais de perda de valor nutricional, como diminuição de volume e/ou mudança de cor (RAMOS et al., 2019). O gesso foi umedecido com água destilada previamente à inclusão das operárias.

Operárias mortas ou moribundas foram substituídas antes da realização do experimento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e 30 repetições (operárias forrageiras). Os dois tratamentos constituíram-se de 0,5µL de hexano e 0,5µL do óleo de semente de abacate, os quais foram aplicados no pronoto de cada operária por meio de uma micropipeta monocal de volume variável da marca Olen, (modelo K1- 2C) e ponteiros descartáveis (Figura 4C).

A aplicação no pronoto impede a ingestão dos tratamentos devido aos comportamentos de autolimpeza e higiene observados em *A. sexdens* e nas demais espécies de formigas-cortadeiras. Os recipientes contendo as operárias foram armazenados em BOD a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , sendo observado o número de formigas mortas a cada 24 horas durante oito dias.

**Figura 4.** Etapas do teste de toxicidade tópica com hexano. (A) Operária forrageira individualizada em recipiente plástico contendo um pélete do fungo de sua colônia de origem. (B) Recipientes plásticos em luz ultravioleta previamente ao início dos testes. (C) Aplicação do solvente hexano no pronoto de uma operária com micropipeta.



Fonte: A autora (2023).

#### 4.6 Toxicidade tópica do óleo de semente de abacate sobre operárias de formigas-cortadeiras

Para o teste de toxicidade tópica do óleo, adotou-se a mesma metodologia descrita no item 4.5. Foram coletadas 180 operárias de *A. sexdens* oriundas de seis colônias com aproximadamente quatro anos de idade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e 30 repetições (operárias forrageiras) (Figura 5).

Os tratamentos foram constituídos por diferentes volumes do óleo de semente de abacate: V1 - 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0  $\mu\text{L}$ , além do controle com 0,5  $\mu\text{L}$  de água destilada. Os recipientes contendo as operárias foram armazenados em BOD a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$ , sendo observado o número de formigas mortas a cada 24 horas por oito dias.

**Figura 5.** Operárias de *A.sexdens* individualizadas (repetições) representando os tratamentos.



Fonte: A autora (2023).

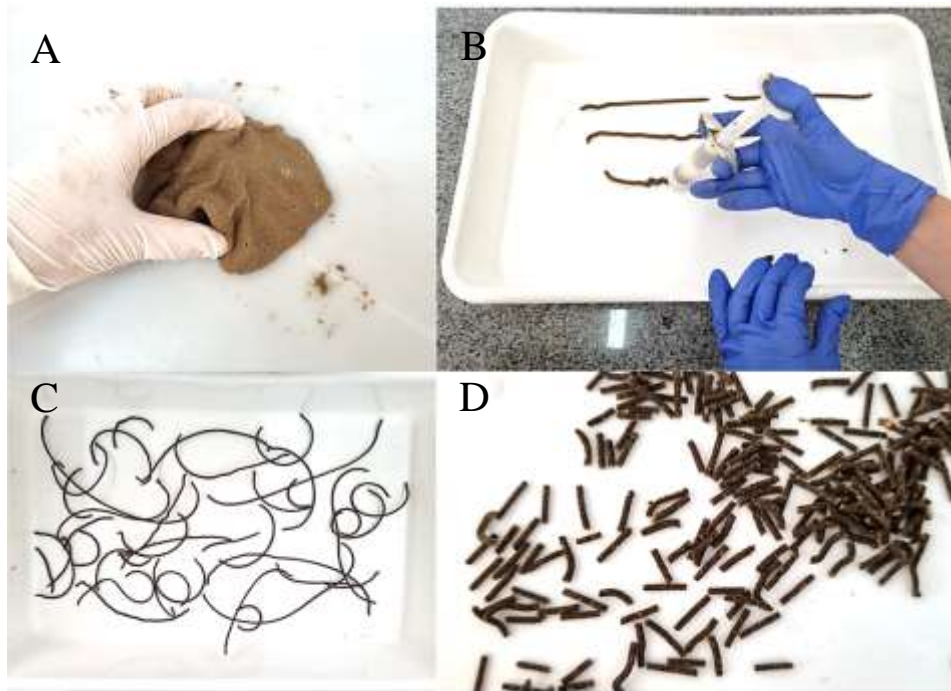
#### 4.7 Fabricação das iscas

Para a fabricação das iscas foram utilizados 15g de polpa cítrica (fornecida pela empresa Sucorrigo®, Araras, SP.) triturada em pó fino, 1g de carboximetilcelulose (CMC) e 125 mL de água fervente (adaptado de Ramos et al., 2006). Inicialmente misturou-se a polpa cítrica e o CMC, e em seguida a água foi adicionada aos poucos, até a formação de uma massa homogênea e moldável (Figura 6A). Em seguida, a massa foi inserida e compactada em seringa de 20mL, com abertura da ponta de 3mm, e disposta em bandeja plástica em forma de fios de aproximadamente 30cm (Figura 6B), que permaneceram em BOD a  $25^\circ\text{C}$  durante 24 horas (Figura 6C).

Após esse período, os fios foram cortados com alicate convencional em pedaços

menores (péletes) de aproximadamente 1cm e 0,03g, e armazenados em geladeira a aproximadamente 5°C para uso posterior (Figura 6D).

**Figura 6.** Etapas para a fabricação das iscas. (A) Massa moldável e homogênea após mistura dos ingredientes. (B) Massa compactada em seringa para fabricação dos fios. (C) Fios secos após 24 horas em BOD a 25°C. (D) Péletes.



Fonte: A autora (2023).

#### **4.8 Análise da aceitação e toxicidade de iscas contendo óleo de semente de abacate em subcolônias de formigas-cortadeiras**

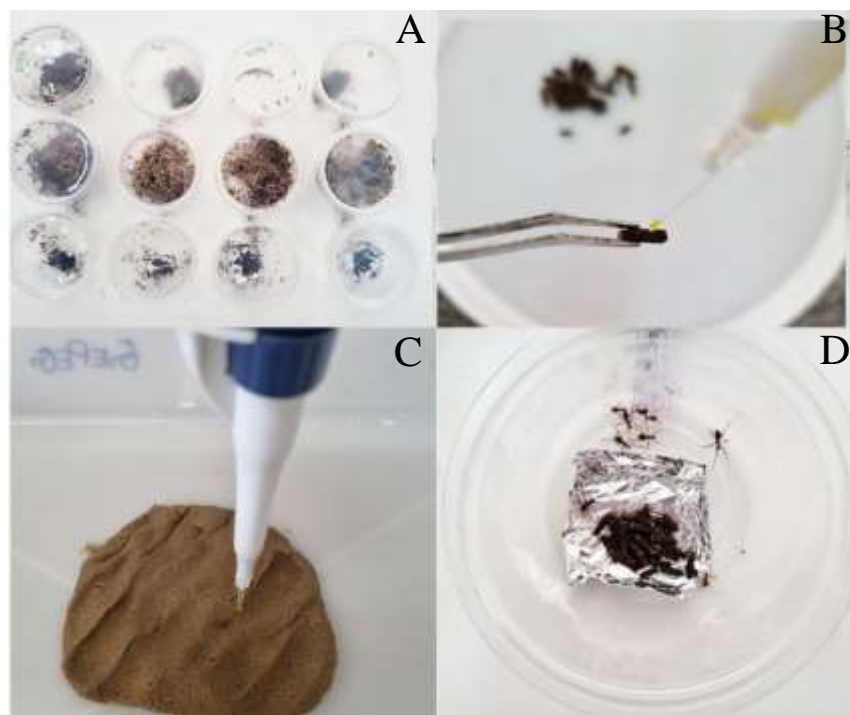
Foram selecionadas quatro colônias de *A. sexdens* com aproximadamente 4L de jardim de fungos para a montagem das subcolônias, de acordo com a metodologia de Jaccoud et al. (1999). De cada colônia, foram extraídos cerca de 200mL de jardim de fungos, operárias de diversas castas e formas jovens, as quais foram acondicionadas em recipientes plásticos de 250mL (Figura 7A) e mantidas em condições de laboratório conforme descrito no item 4.1, onde passaram por um período de sete dias para a estabilização (regulagem de hábitos comuns como corte de substratos, limpeza da colônias, etc.) no novo meio.

O delineamento foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: iscas contendo óleo de semente de abacate e iscas sem óleo (controle); e quatro repetições, sendo cada uma representada por uma subcolônia. A adição do óleo nas iscas foi feita de forma manual por meio de micropipeta monocanal, conforme descrito no item 4.5. Foram adicionados 0,5 µL

do óleo na superfície de cada pélete, a fim de garantir o contato com as operárias (Figura 7B). Também foi realizado um teste piloto no qual foram adicionados, também por meio de micropipeta monocal, 270  $\mu\text{L}$  do óleo de semente de abacate na mistura inicial das iscas (proporção obtida pelo número total de péletes divididos pelo seu peso unitário [0,03g] e multiplicado por 0,5  $\mu\text{L}$  [volume de óleo determinado para cada unidade de pélete]) (Figura 7C).

Antes da oferta, as subcolônias permaneceram por um período de 24 horas sem receber folhas, também para estimular o forrageamento e evitar a influência de outros substratos (NORONHA et al., 2009). Em cada subcolônia, 30 péletes (o equivalente a aproximadamente 1g) foram ofertados uma única vez na câmara de forrageamento, onde o carregamento do número de péletes foi avaliado a cada 24 horas durante seis dias (Figura 7D). Também foi avaliado se o material foi incorporado no jardim de fungos ou rejeitado na câmara de lixo, e o número de formigas mortas.

**Figura 7.** Etapas para o teste de análise de aceitação das iscas. (A) Subcolônias com aproximadamente 200mL de jardim de fungos, operárias e formas jovens de *Atta sexdens*. (B) Aplicação do óleo de semente de abacate na superfície das iscas com micropipeta. (C) Incorporação do óleo de semente de abacate na mistura inicial das iscas com micropipeta. (D) Oferta das iscas na câmara de alimentação.



Fonte: A autora (2023).

#### **4.9 Análise de dados**

A taxa de mortalidade das operárias foi corrigida pela fórmula de Abbott (1925), visando reduzir a influência de fatores, como a idade do inseto e a mortalidade natural, e desta forma, ser possível calcular a taxa de sobrevivência de cada tratamento. Neste caso, o tratamento controle foi utilizado para a obtenção da mortalidade.

$$M\text{Corr} = [(MT - MC) / (100 - MC)] * 100 \quad (1)$$

onde: MCorr: Mortalidade corrigida (%); MT: Mortalidade do tratamento (%); MC: Mortalidade do controle (%).

Para determinar a significância das diferenças quanto à mortalidade de operárias em cada tratamento, os respectivos dados foram mensurados em análise de variância com comparação das médias pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Caso não apresentassem normalidade, foram submetidos ao teste não paramétrico de Friedman. As médias foram então comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls ( $p \leq 0,05$ ).

Todas as análises foram realizadas por meio do software SigmaPlot 14 (Systat Software Ins, San Jose, CA, USA). Parte dos gráficos foi feita com o uso do software GraphPad Prism 9 (GraphPad Software, Inc, San Diego, CA, USA).

### **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1 Extração do óleo de semente de abacate com hexano**

Ao final do processo de extração, o óleo obtido apresentava coloração amarelada escura e viscosidade semelhante ao óleo de oliva, conforme relatado por Tango et al. (2004). Alguns minutos após a evaporação do solvente, o óleo rapidamente se cristalizava e sua consistência mudava para sólido amarelado claro, inviabilizando sua utilização através de pipetagem. Por esse motivo, previamente ao início dos testes tópicos e a aplicação nas iscas, o óleo foi aquecido em banho-maria a 35°C, temperatura suficiente para torná-lo líquido novamente, sem que nenhum composto químico fosse degradado pelo calor.

#### **5.2 Caracterização química do óleo de semente de abacate**

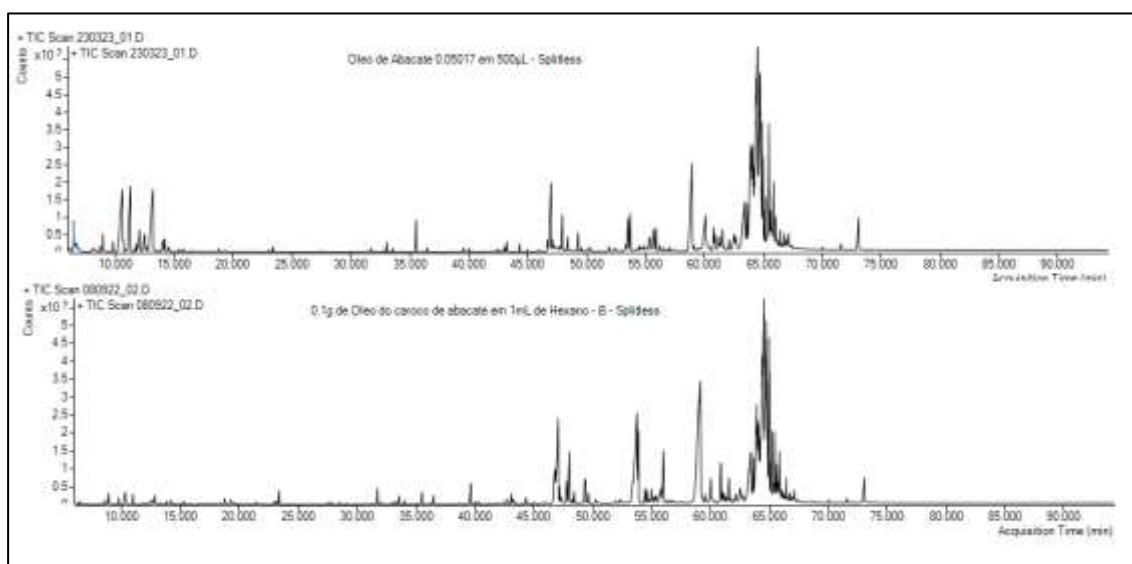
Devido ao baixo rendimento total obtido na extração do óleo (1,75g), tornou-se necessário uma segunda extração que viabilizasse a continuidade dos experimentos.

Para tal, tanto o preparo das sementes quanto a metodologia para a segunda extração e análises químicas foram as mesmas descritas nos itens 4.2, 4.3 e 4.4. A coleta dos frutos para processamento das sementes ocorreu em 25/05/2022 e 28/02/2023, respectivamente.

A partir das análises químicas realizadas por meio do método CG-MS, foi possível observar que os cromatogramas de ambas as amostras de óleo foram similares (Figura 8), com a identificação de diversos compostos não-saponificáveis (item 8 Apêndices - Apêndice 2), entre eles, os compostos dodecano, hexadecano, cariofileno, óxido de cariofileno e campesterol. O tempo de retenção dos compostos dodecano e hexadecano também foi similar: 23,3972 e 32,0387 min para o óleo da primeira extração, e 23,3273 e 39,8119 min para o óleo da segunda extração, respectivamente.

Os resultados são similares aos encontrados por Younis et al. (2022), que por meio da caracterização química de quatro variedades de abacate pelo método CG-MS, identificaram os compostos tetradecano, hexadecano, pentadecano e trimetildodecano como os principais constituintes de todas as amostras.

**Figura 8.** Cromatogramas dos óleos de semente de abacate da primeira e segunda extração pelo método GC-MS.



Fonte: Marley Tavares (2023).

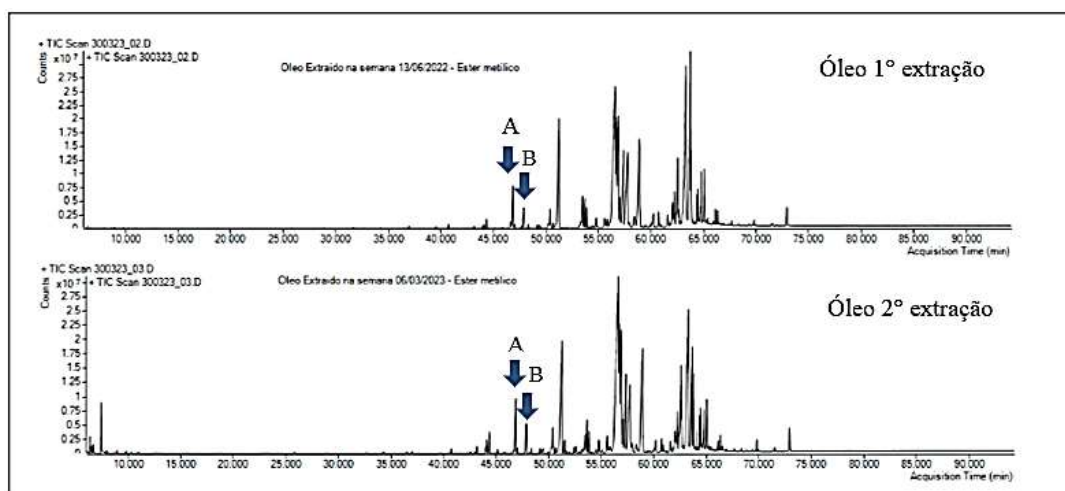
Em estudo desenvolvido por Mendonza-García et al. (2019), foram analisados quimicamente três óleos essenciais de sete espécies vegetais diferentes para o controle de *D. citri*, sendo que, na análise do óleo bruto de *T. coronopifolia*, foi evidenciada a presença

do composto dodecano. Como resultado, o óleo apresentou alta toxicidade aos indivíduos de *D. citri*, indicando que os compostos analisados possuem propriedades inseticidas em potencial.

Além disso, compostos como terpenoides, óxido de cariofileno, nerolidol e kolaenol isolados de *Hymenaea courbaril* Linnaeus, 1753 (Fabaceae), *Melampodium divaricatum* Linnaeus, 1753 (Asteraceae) e *Vismia bacciferae* Linnaeus, 1753 (Hypericaceae) exibiram atividade inseticida sobre operárias de *A. sexdens*, quando aplicados por meio de dieta artificial (HOWARD et al., 1988).

A identificação nos cromatogramas de compostos com picos mais intensos também foi possível pelo método GC-MS. Os compostos avocadenofuran e avocadynofuran foram identificados nos tempos de retenção 46,8723 e 47,8561 min para o óleo da primeira extração, e 46,8837 e 47,8777 min para o óleo da segunda extração (Figura 9). Ambos os compostos também já foram identificados previamente na literatura em estudos desenvolvidos por Scora e Ahmed (1993) por meio da caracterização química do óleo de abacate de *Persea tolimanensis*, no qual tais compostos foram os mais frequentes do grupo químico dos furanos, na proporção de 4,2%.

**Figura 9.** Cromatogramas dos óleos de semente de abacate da primeira e segunda extração pelo método GC-MS indicando os picos referentes aos compostos avocadenofuran (A) e avocadynofuran (B).



Fonte: Marley Tavares (2023).

A partir da reação de esterificação dos compostos e análise pelo método GC-FID, foi possível a identificação e quantificação dos compostos saponificáveis, principalmente, ácidos graxos (Tabelas 1 e 2; Figura 10).

**Tabela 1.** Identificação e quantificação dos ácidos graxos obtidos pelo método GC-FID presentes na amostra da primeira extração do óleo de semente de abacate.

<b>Óleo 1º Extração</b>			
<b>Ácido graxo</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Proporção (%)</b>
Ac. all cis 9,12- Octadecadienoico	<b>Ácido linoleico</b>	C18:2 cis n6	<b>16,81</b>
Ac. Hexadecanoico	Ácido palmítico	C16	13,0
Ac. cis-9- Octadecenoico	Ácido oleico	C18:1 cis n9	5,21
Ac. all cis-9,12,15- Octadecatrienoico	Ácido alfa linoleico	C18:3 n3	1,99
Ac. Tetradecanoico	Ácido mirístico	C14	0,66
<b>Desconhecidos</b>			46,64

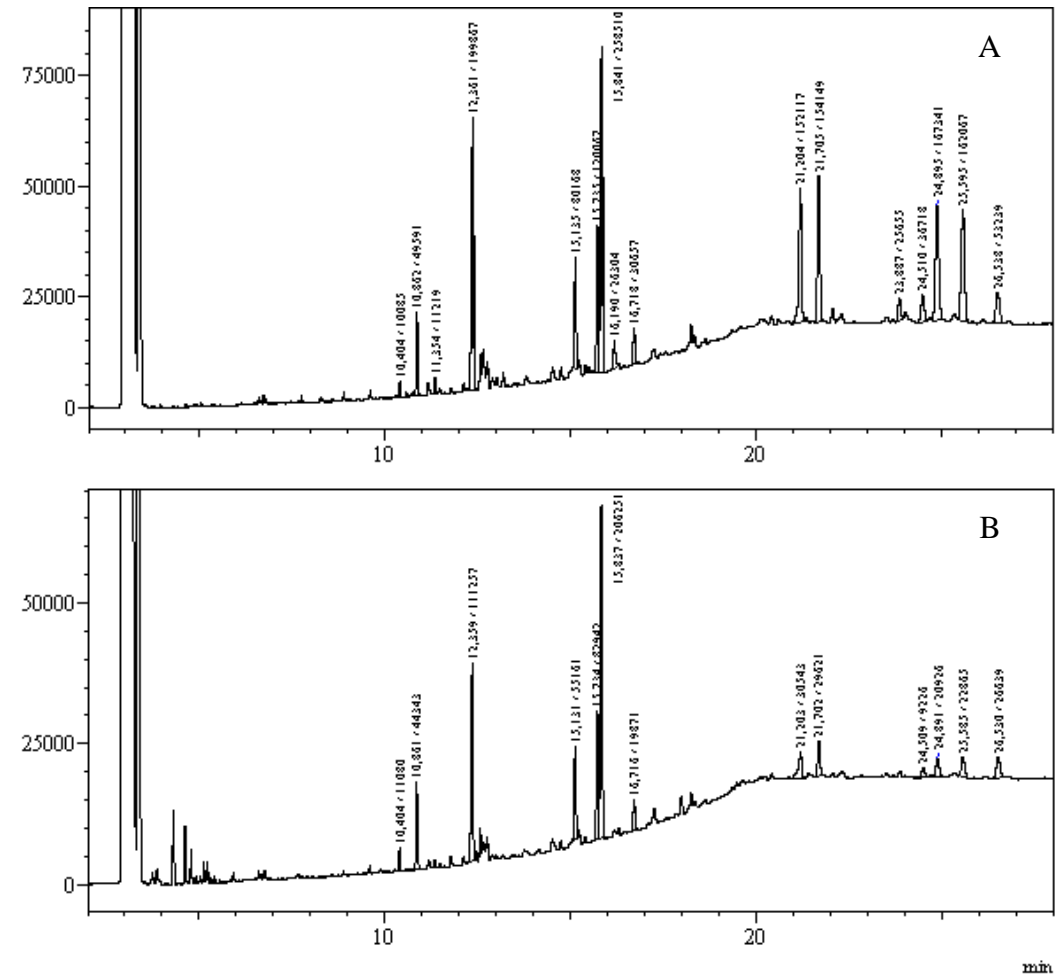
Fonte: A autora (2023).

**Tabela 2.** Identificação e quantificação dos ácidos graxos obtidos pelo método GC-FID presentes na amostra da segunda extração do óleo de semente de abacate.

<b>Óleo 2º Extração</b>			
<b>Ácido graxo</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Proporção (%)</b>
Ac. all cis 9,12- Octadecadienoico	<b>Ácido linoleico</b>	C18:2 cis n6	<b>30,75</b>
Ac. Hexadecanoico	Ácido palmítico	C16	16,59
Ac. cis-9- Octadecenoico	Ácido oleico	C18:1 cis n9	8,22
Ac. all cis-9,12,15- Octadecatrienoico	Ácido alfa linoleico	C18:3 n3	2,96
Ac. Tetradecanoico	Ácido mirístico	C14	1,65
<b>Desconhecidos</b>			28,80

Fonte: A autora (2023).

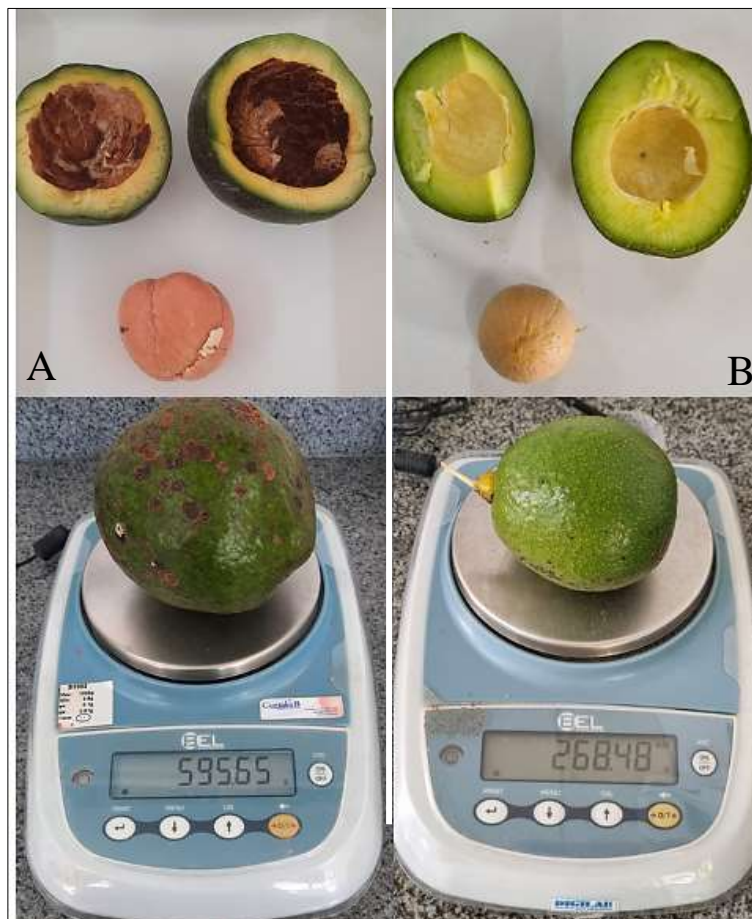
**Figura 10.** Cromatogramas após a reação de esterificação e identificação dos ácidos graxos pelo método GC-FID. (A) Óleo de semente de abacate da primeira extração. (B) Óleo de semente de abacate da segunda extração.



Fonte: Marley Tavares (2023).

O ácido linoleico foi o composto mais frequente em ambas as amostras, porém com diferença nas proporções entre a primeira e segunda extrações. Uma das hipóteses é o fato dos frutos terem sido colhidos em épocas diferentes: as sementes utilizadas na primeira extração foram colhidas em maio, e os frutos estavam grandes e maduros. Já os frutos para a segunda extração foram colhidos em fevereiro e apresentavam tamanho reduzido (Figura 11). Segundo Dabas et al. (2013), a composição química das sementes de abacate está diretamente relacionada com as condições de crescimento dos frutos, da variedade, idade da planta e também com fatores abióticos como umidade, temperatura, composição química do solo e métodos de coleta.

**Figura 11.** Maturação dos frutos de abacate colhidos em épocas diferentes e utilizados para a extração dos óleos. (A) Primeira extração: característica e peso (g) de frutos e sementes colhidos no mês de maio de 2022. (B) Segunda extração: característica e peso (g) de frutos e sementes colhidos no mês de fevereiro de 2023.



Fonte: A autora (2023).

Resultados similares foram obtidos por Mardigan et al. (2018), que ao analisarem quimicamente frutos de abacate da variedade Ouro Verde, também evidenciaram o ácido linoleico como seu principal constituinte, na proporção de 16%. Massafra et al. (2010) também analisaram as sementes de abacate da variedade Ouro Verde, e constataram a presença do ácido linoleico na proporção de 22%. Salas et al. (2000) extraíram o óleo do mesocarpo de abacate e observaram proporções de ácido linoleico entre 10 a 14%. Em relação às propriedades inseticidas associadas ao ácido linoleico, diversos estudos demonstraram alta eficácia no controle de insetos-praga. Fernandes et al. (2002) extraíram com hexano, e analisaram quimicamente o efeito do óleo de três espécies de citrus no controle de *A. sexdens* e seu fungo mutualístico. As

espécies vegetais utilizadas foram *Citrus sinensis* Osbeck, 1751 (Rutaceae), *Citrus limon* Burm, 1753 (Rutaceae) e *Citrus reticulata* Blanco, 1782 (Rutaceae). O ácido linoleico foi identificado em todas as amostras, nas proporções de 24,1, 29,6 e 30,5%, respectivamente. O óleo de tangerina foi o mais eficaz, causando 60% de inibição do crescimento do fungo e alta repelência das formigas.

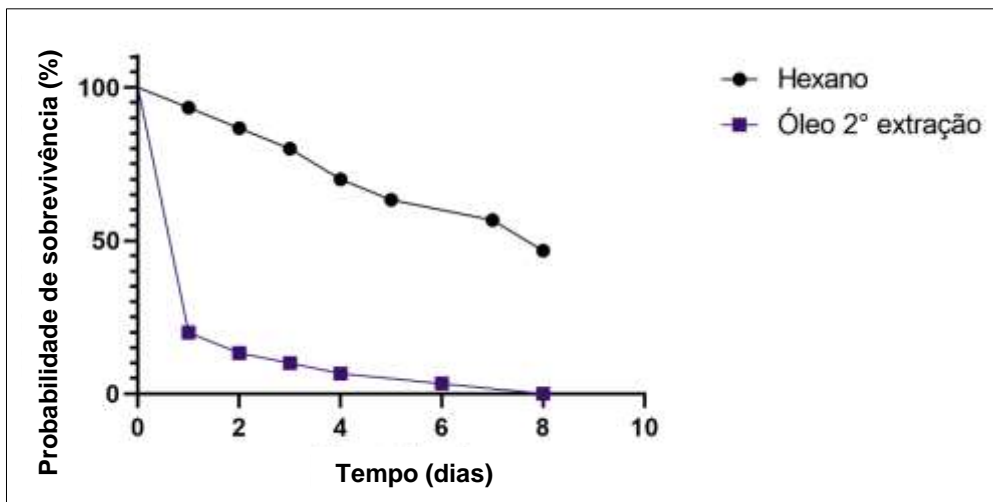
Salinas-Sánchez et al. (2021) testaram frações do extrato hexânico de *R. communis* contra o pulgão-amarelo-da-cana-de-açúcar, *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae), por meio de ensaios tópicos, e observaram uma mortalidade de 92% em 72 horas. Os autores atribuíram os resultados à elevada concentração (84,5%) de ácido linoleico presente no extrato. Dasenaki et al. (2022) também analisaram o efeito inseticida do ácido linoleico oriundo extrato hexânico de frutos de *Pistacia lentiscus* Linnaeus, 1753 (Anacardiaceae) no controle de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). Como resultado da análise química, os ácidos linoleico e oleico foram identificados nas maiores proporções, aproximadamente 25% cada, e a alta mortalidade dos insetos (72% em 72 horas) foi atribuída às propriedades inseticidas de ambos os compostos químicos.

Por fim, Kerbel et al. (2021) testaram por via tópica a eficácia inseticida de quatro diferentes tipos de óleos de oliva no controle de *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) em grãos de aveia. Os resultados foram promissores, com taxas de mortalidade de até 95% dos insetos. Os óleos que levaram às maiores taxas de mortalidade tinham em sua composição os ácidos linoleico, oleico e palmítico, nas proporções de 15,06, 63,59 e 18,81%, respectivamente.

### **5.3 Toxicidade tópica do solvente hexano sobre operárias de formigas-cortadeiras**

Pelo teste de toxicidade tópica verificou-se que o solvente hexano não influenciou na mortalidade das operárias em comparação com o óleo da segunda extração, demonstrando viabilidade para os experimentos seguintes (Figura 12). Por apresentar elevada taxa de evaporação, o hexano é comumente utilizado como solvente para diversos tipos de extratos e ensaios tópicos (MERCER; ARMENTA, 2011).

**Figura 12.** Probabilidade de sobrevivência (%) de operárias de *Atta sexdens* após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: hexano e óleo de semente de abacate da segunda extração, ambos no volume de 0,5  $\mu$ L.



Fonte: A autora (2023).

#### 5.4 Toxicidade tópica do óleo de semente de abacate sobre operárias de formigas-cortadeiras

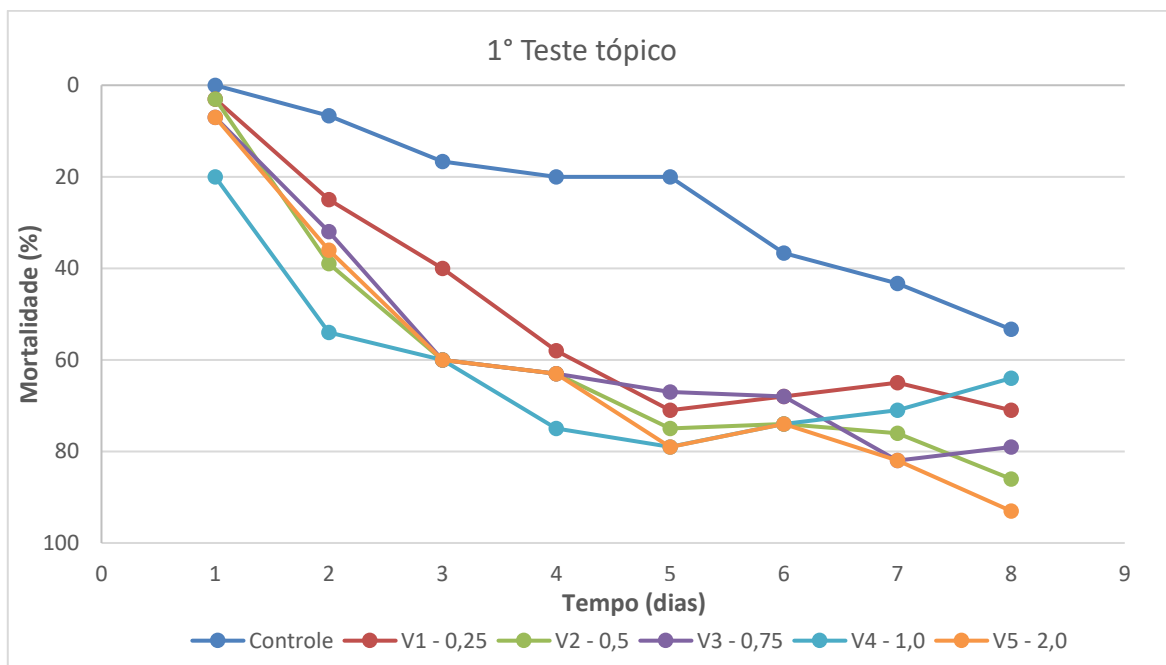
No primeiro teste tópico foi observada alta taxa de mortalidade do controle (53,33%), responsável pelas oscilações na mortalidade corrigida dos tratamentos com óleo de semente de abacate (Figura 13 e Tabela 3). Os resultados podem estar relacionados com a idade e saúde das colônias de formigas-cortadeiras utilizadas nos ensaios, porém investigações futuras são necessárias para a confirmação dessa hipótese.

Os tratamentos V1 a V5 não diferiram significativamente entre si, porém diferiram do controle (Tabela 3). Os resultados são similares a Oliveira (2006), que ao aplicar, via tópica, três diferentes dosagens (0,02; 0,1 e 0,2  $\mu$ L) do óleo bruto de *Anacardium occidentale* Linnaeus, 1785 (Anacardiaceae) em operárias de *A. sexdens*, não observou diferenças significativas nas taxas de mortalidade acumulada dos tratamentos, mas essas diferiram significativamente do controle.

Ao final dos oito dias de avaliação, o tratamento V5 apresentou mortalidade de 93%. Ramos et al. (2019) analisaram o potencial inseticida de extratos etanólicos de *Asclepias curassavica* Linnaeus, 1753 (Apocynaceae), *Rosmarinus officinalis* Linnaeus, 1753 (Lamiaceae) e *Equisetum* ssp. (Equisetaceae) sobre operárias de *A. sexdens* por via tópica. Como resultado, o extrato de *A. curassavica* ocasionou 97% de

mortalidade das operárias 10 dias após a aplicação. Em estudo conduzido por Amaral et al. (2019), frações do extrato etanólico de *A. indica* foram testados por via tópica em operárias de *A. sexdens*. Oito dias após aplicação, a mortalidade acumulada para o extrato na concentração de 1,2 mg. mL foi de 100%.

**Figura 13.** Primeiro teste tópico: mortalidade (%) de operárias de *Atta sexdens* após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1 - 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volumes em  $\mu\text{L}$  do óleo de semente de abacate) e controle (0,5  $\mu\text{L}$  de água destilada).

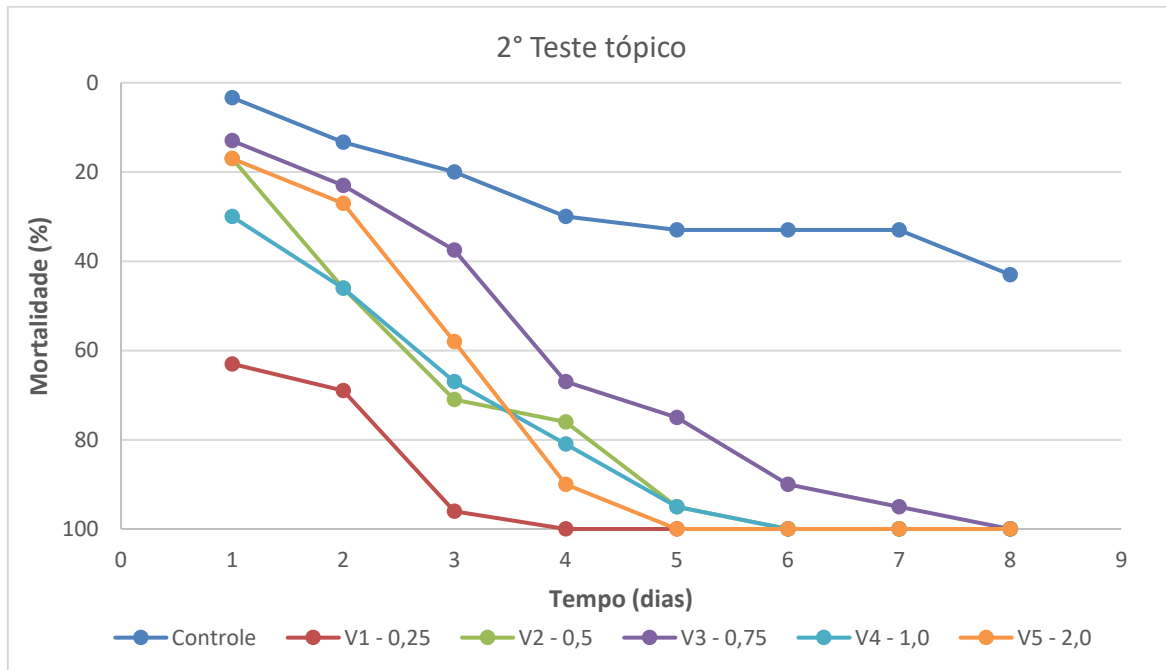


Fonte: A autora (2023).

Para o segundo teste tópico, foi possível observar diferença significativa entre o controle e o tratamento V1, bem como entre este e os demais tratamentos (V2 a V5) (Figura 14; Tabela 4). No oitavo dia de avaliação, todos os tratamentos do segundo teste, excetuando-se o controle, apresentaram mortalidade acumulada de 100%. Para V1, ocorreu 63% de mortalidade no primeiro dia, e 100% já no quarto dia (Tabela 4).

Entretanto, cabe ressaltar que a mortalidade acumulada de operárias do controle foi de 43%, padrão diferente do observado em outros trabalhos, como Nagamoto et al. (2007), Stefanelli et al. (2019) e Melo et al. (2020).

**Figura 14.** Segundo teste tópico: mortalidade (%) de operárias de *Atta sexdens* após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1 - 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volumes em  $\mu\text{L}$  do óleo de semente de abacate) e controle (0,5  $\mu\text{L}$  de água destilada).



Fonte: A autora (2023).

Em ambos os testes, foi possível observar maior mortalidade de operárias de *A. sexdens* nos primeiros cinco dias de avaliação, principalmente nos dois primeiros dias após a aplicação dos tratamentos (Figuras 13 e 14; Tabelas 3 e 4). Os resultados são similares aos obtidos por Alves et al. (2019) com extratos metanólicos das raízes de *Psychotria hastisepala* Müll, 1881 (Rubiaceae), cuja mortalidade das operárias de *A. sexdens* foi de 100% em apenas dois dias. Souza (2017), ao avaliar a toxicidade tóxica de diferentes frações do extrato hexânico de *Esenbeckia pumila* Pohl, 1826 (Rutaceae) em operárias de *A. laevigata* e *A. balzani*, constatou diferenças significativas na mortalidade das operárias nos três primeiros dias após a aplicação, para todas as frações testadas.

Segundo Pavela e Benelli (2016), os óleos oriundos de espécies vegetais são compostos altamente voláteis e suscetíveis à degradação por luz, calor, umidade, oxidação e evaporação, fator que pode ter contribuído para as maiores taxas de mortalidade de operárias nos primeiros dias do experimento, quando as propriedades e compostos químicos do óleo estariam mais bem preservados.

**Tabela 3.** Mortalidade acumulada (%) e mediana (Md) de operárias de *Atta sexdens* referentes ao primeiro teste tópico após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1- 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volume em  $\mu\text{L}$  do óleo de semente de abacate) e controle (0,5  $\mu\text{L}$  de água destilada).

<b>Tratamento % da mortalidade corrigida acumulada por dia</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>Md*</b>
<b>Controle</b>	0,00	6,67	16,66	20,00	20,00	36,66	43,33	53,33	3,0 $\pm$ 2,5 b
<b>V1 - 0,25</b>	3,33	32,14	40,00	58,33	70,83	68,42	64,71	71,43	7,5 $\pm$ 1,6 a
<b>V2 - 0,5</b>	3,00	39,00	60,00	63,00	75,00	74,00	76,00	86,00	8,0 $\pm$ 1,5 a
<b>V3 - 0,75</b>	7,00	32,00	60,00	63,00	67,00	68,00	82,00	79,00	8,0 $\pm$ 2,0 a
<b>V4 - 1,0</b>	20,00	54,00	60,00	75,00	79,00	74,00	71,00	64,00	9,0 $\pm$ 1,0 a
<b>V5 - 2,0</b>	7,00	36,00	60,00	63,00	79,00	74,00	82,00	93,00	8,0 $\pm$ 1,5 a

\*Valores de mediana  $\pm$  semiamplitude interquartilica. As medianas seguidas por letras distintas indicam diferença significativa entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Student-Newman-Keuls.

Fonte: A Autora (2022).

**Tabela 4.** Mortalidade acumulada (%) e mediana (Md) de operárias de *Atta sexdens* referentes ao segundo teste tópico após oito dias de avaliação e de acordo com os tratamentos: V1- 0,25; V2 - 0,5; V3 - 0,75; V4 - 1,0 e V5 - 2,0 (volume em  $\mu\text{L}$  do óleo de semente de abacate) e controle (0,5  $\mu\text{L}$  de água destilada).

<b>Tratamento % da mortalidade corrigida acumulada por dia</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>Md*</b>
<b>Controle</b>	3,33	13,33	20,00	30,00	33,00	33,00	33,00	43,00	2,1 $\pm$ 2,5 c
<b>V1 - 0,25</b>	63,33	69,23	95,83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	7,3 $\pm$ 1,0 a
<b>V2 - 0,5</b>	16,67	46,15	70,83	76,19	95,00	100,00	100,00	100,00	6,2 $\pm$ 0,6 b
<b>V3 - 0,75</b>	13,33	23,08	37,50	66,67	75,00	90,00	95,00	100,00	5,4 $\pm$ 1,1 b
<b>V4 - 1,0</b>	30,00	46,15	66,67	80,95	95,00	100,00	100,00	100,00	6,4 $\pm$ 1,5 b
<b>V5 - 2,0</b>	16,67	26,92	58,33	90,48	100,00	100,00	100,00	100,00	6,1 $\pm$ 1,0 b

\*Valores de mediana  $\pm$  semiamplitude interquartilica. As medianas seguidas por letras distintas indicam diferença significativa entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Student-Newman-Keuls.

Fonte: A Autora (2023).

As diferenças observadas nas taxas de mortalidade das operárias de *A. sexdens* nos testes tópicos podem estar relacionadas com a composição química dos óleos utilizados em cada ensaio. Como descrito no item 5.2, o óleo oriundo da segunda extração apresenta uma maior proporção (30,75%) de ácido linoleico quando comparado com o óleo da primeira extração (16,81%). Assim, estudos futuros necessitam ser realizados a fim de relacionar os estágios de maturação dos frutos com sua composição química, em vista dos diversos fatores que podem influenciar nas diferenças de proporção de ácido linoleico, bem como verificar a ação inseticida do composto isoladamente sobre as formigas-cortadeiras.

### **5.5 Análise da aceitação das iscas contendo óleo de semente de abacate em subcolônias de formigas-cortadeiras**

Em relação ao teste piloto no qual o óleo de semente de abacate foi incorporado na mistura inicial das iscas, os resultados preliminares obtidos referentes às taxas de mortalidade das operárias de *A. sexdens* não foram satisfatórios, uma vez que o manuseio para incorporar o óleo na massa pode ter causado algum tipo de degradação de suas propriedades. Sendo assim, o experimento foi realizado a partir da pipetagem de 0,5 µL do óleo na superfície de cada pélete, conforme descrito no item 4.8.

Após seis dias de avaliação, dos 120 péletes controle ofertados, 40 unidades foram transportadas e, dos 120 péletes contendo 0,5 µL de óleo de semente de abacate, as operárias de *A. sexdens* transportaram somente 10 unidades, que foram incorporados no jardim de fungos das subcolônias (Figura 15; Tabela 5). Existem diversas características importantes que devem ser levadas em consideração quanto a produção das iscas, tais como a aparência, o odor, a consistência, a cor, a resistência à umidade, o sinergismo com os adjuvantes de fabricação, o tamanho dos grânulos, sua textura etc. (DELABIE et al., 2000).

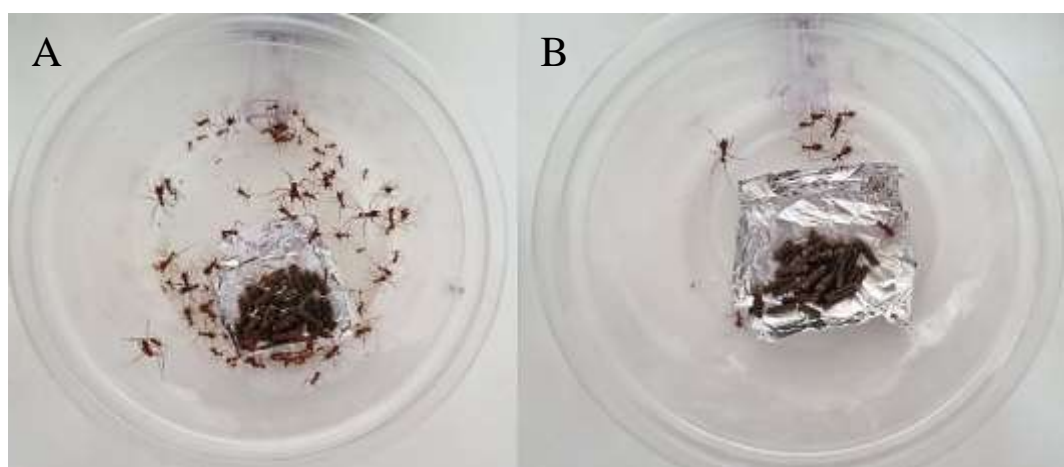
A aplicação do óleo de semente de abacate na superfície dos péletes pode ter gerado um efeito de repelência, levando as operárias a rejeitá-los. Foi observada maior atividade de operárias nas câmaras que receberam os péletes controle (sem óleo) em comparação com as operárias que receberam os péletes contendo o óleo de semente de abacate (Figura 16). Vale ressaltar que a maior repelência aos péletes contendo o óleo foi observada nos primeiros dias após a oferta das iscas, quando as propriedades do óleo estariam melhores preservadas, e, ao decorrer dos dias do experimento, as operárias voltaram a manipular as iscas com maior frequência, indicando que possivelmente houve algum tipo de degradação de tais propriedades, diminuindo a rejeição aos péletes.

**Figura 15.** Péletes contendo 0,5  $\mu\text{L}$  de óleo de semente de abacate e incorporados no jardim de fungos de subcolônia de *Atta sexdens*.



Fonte: A Autora (2023).

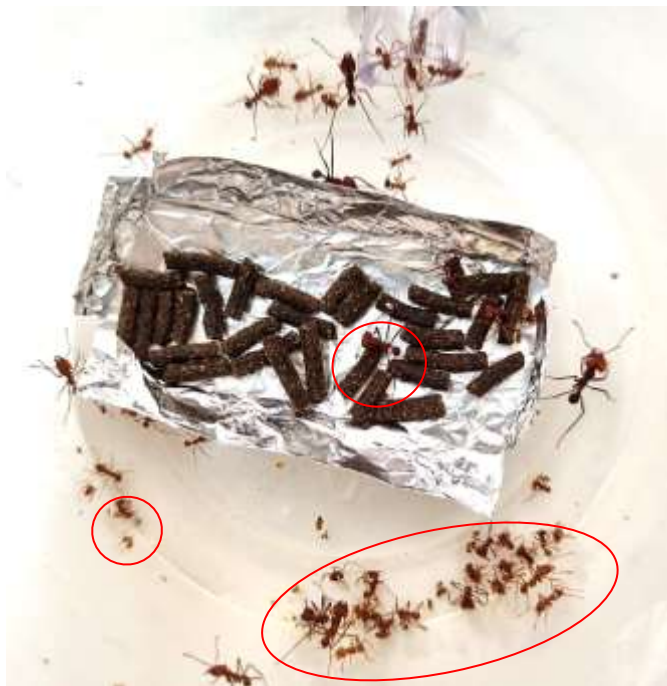
**Figura 16.** Comparação da atividade de operárias de *Atta sexdens* nas câmaras de forrageamento das subcolônias. (A) Câmara de forrageamento com os péletes controle (sem óleo). (B) Câmara de forrageamento com péletes contendo 0,5  $\mu\text{L}$  de óleo de semente de abacate.



Fonte: A Autora (2023).

Após seis dias, 21 operárias foram encontradas mortas nas câmaras de lixo das subcolônias que receberam os péletes controle. Contudo, nas subcolônias que receberam os péletes contendo óleo de semente de abacate, foram observadas 82 operárias mortas, sendo a maioria encontrada nas câmaras de forrageamento, deduzindo-se que, mesmo com o reduzido contato com os péletes, ocorreu a contaminação das operárias (Figura 17; Tabela 5). Além disso, observou-se maior número de operárias mortas nos quatro primeiros dias após a oferta dos péletes contendo o óleo de semente de abacate, assemelhando-se aos resultados obtidos a partir dos testes tópicos descritos no item 5.4.

**Figura 17.** Operárias de *Atta sexdens* mortas na câmara de forrageamento de subcolônia que recebeu os péletes contendo 0,5 µL de óleo de semente de abacate.



Fonte: A Autora (2023).

**Tabela 5.** Número de péletes transportados e mortalidade de operárias em quatro subcolônias de *Atta sexdens* seis dias após a oferta de péletes controle (sem óleo) e péletes contendo 0,5 µL de óleo de semente de abacate.

<b>Péletes controle (sem óleo)</b>		
Subcolônia	Péletes transportados	Operárias mortas
1	7	2
2	6	13
3	8	3
4	19	3
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>21</b>

<b>Péletes contendo 0,5 µL óleo de semente de abacate</b>		
Subcolônia	Péletes transportados	Operárias mortas
1	0	11
2	6	11
3	4	10
4	0	50
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>82</b>

Fonte: A Autora (2023).

## 6 CONCLUSÕES

- O óleo de semente de abacate possui propriedades inseticidas em potencial para o controle de operárias de *A. sexdens*, e estudos futuros são válidos para o melhor entendimento e descrição química de sua composição, assim como seu efeito inseticida sobre outros insetos-praga.
- A gestão eficiente, econômica e ecologicamente correta de resíduos agroindustriais, como a semente de abacate, constitui uma abordagem razoável para a redução da poluição ambiental e maior sustentabilidade, contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).
- O ácido linoleico, identificado nas maiores proporções nas duas extrações do óleo de semente de abacate, 30,75% e 16,81% respectivamente, aparenta ser o responsável pela ação inseticida observada nos testes tópicos e também no teste de aceitação das iscas em subcolônias. Estudos futuros são necessários para testar suas propriedades inseticidas e eficiência de forma isolada sobre os insetos, assim como seu mecanismo de ação.
- As operárias de *A. sexdens* transportaram poucos péletes contendo o óleo de semente de abacate, indicando um possível efeito repelente. Porém, mesmo com o contato reduzido foi observada mortalidade de operárias. Novas estratégias que possam contornar o efeito de repelência pelas operárias são de extrema importância para um controle efetivo.

## 7 REFERÊNCIAS

ABBOTT, W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925.

ABUBAKAR, A.R.; HAQUE, M. Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. **Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences**, v. 12, p. 1-10, 2020.

AGROFIT. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 10 set. 2023.

ALVES, D.S.; FERNANDEZ, P.C.G.; MARTIN, A.M.; BUDIA, F.; CARVALHO, G.A.; ZANETTI, R.; OLIVEIRA, D.F. Toxicity of alkaloid fractions from *Psychotria* spp. (Rubiaceae) against *Atta sexdens* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae). **Cerne**, v. 25, p. 255-262, 2019.

ANTMAPS. Diversity view. Disponível em: <<https://antmaps.org>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

ANTWEB. Version 8.56.1. California Academy of Science. Disponível em: <<https://www.antweb.org>>. Acesso em: 02 jul. 2023.

BARRETO, M.S.R.; MENTEN, J.F.M.; RACANICCI, A.M.; PEREIRA, P.W.Z.; RIZZO, P.V. Plant extracts used as growth promoters in broilers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 10, n. 2, p. 109-115, 2008.

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, 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.

BIOISCA. Home page apresenta informações sobre a BIOISCA. Disponível em: <<https://www.bioisca.com.br/>>. Acesso em: 10 set. 2023.

BHUYAN, D.J.; ALSHERBINY, M.A.; PERERA, S.; LOW, M.; BASU, A.; DEVI, O.A.; BAROOAH, M.S.; GUANG LI, C.; PAPOUTSIS, K. The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. **Antioxidants**, v. 8, n. 10, p. 426, 2019.

BOLTON, B. An online catalog of the ants of the world. Disponível em: <<https://antcat.org>>. Acesso em: 02 jul. 2023.

BRITTO, J.S.; FORTI, L.C.; OLIVEIRA, M.A.; ZANETTI, R.; WILCKEN, C.F.; ZANUNCIO, 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.

BURATTO, D.A.; CARDOSO, J.T.; ROLIM, F.A.; FILHO, W.R. Avaliação dos danos causados por formigas-cortadeiras do gênero *Acromyrmex* (Hymenoptera) aos plantios de *Pinus taeda* no Planalto Sul-Catarinense. **Floresta**, v. 42, p. 683-690, 2012.

COATS, J. R. Risks from natural versus synthetic insecticides. **Annual Review of Entomology**. v. 39, p. 489 – 515, 1994.

DABAS, D.; SHEGOG, R.M.; ZIEGLER, G.R.; LAMBERT, J.D. Avocado (*Persea americana*) seed as a source of bioactive phytochemicals. **Current Pharmaceutical Design**, v. 19, n. 34, p. 6133-6140, 2013.

DÁTILLO, W.; VICENTE, R.E.; NUNES, R.V.; FEITOSA, R.M. Influence of cave size and presence of bat guano on ant visitation. **Sociobiology**, v. 59, n. 2, p. 549-559, 2012.

DECKER, S. Inseticidas vegetais (*Pyrethrum*, *Derris*, *Mundulia*, *Lonchocarpus*, *Tephrosia* e outros). **Boletim de Agricultura**, São Paulo, n. único, p. 1-18, 1940.

DELABIE, J.H.C.; DELLA LUCIA, T.M.C.; PASTRE, L. Protocolo de experimentação para avaliar a atratividade de novas formulações de iscas granuladas utilizadas no controle das formigas cortadeiras *Acromyrmex* spp. e *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Attini) no campo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 4, p. 843-848, 2000.

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

DELLA LUCIA, T.M.C.; SOUZA, D. J. **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**. Viçosa, MG: Ed da UFV, 2011. 191 p.

DASENAKI, I.; BETSI, P.C.; RAPTOPOULOS, D.; KONSTANTOPOULOU, M. Insecticidal effect of *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae) metabolites against *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). **Agronomy**, v. 12, n. 4, p. 755, 2022.

FEITOSA-ALCANTARA, R.; BACCI, L.; BLANK, A.; ALVES, P.B.; SILVA, I.M.D.A.; SOARES, C.A.; SAMPAIO, T.S.; NOGUEIRA, P.C.D.L.; ARRIGONI-BLANK, M.D.F. Essential oils of *Hyptis pectinata* chemotypes: isolation, binary mixtures and acute toxicity on leaf-cutting ants. **Molecules**, v. 22, n. 4, p. 621, 2017.

FERNANDES, J.B.; DAVID, V.; FACCHINI, P.H.; SILVA, M.F. DAS G.F. DA; RODRIGUES FILHO, E.; VIEIRA, P.C.; GALHIANE, M.S.; PAGNOCCA, F.C.; BUENO, O.C.; HEBLING, M.J.; VICTOR, S.R.; SANTOS, A.M.R. DOS. Extrações de óleos de sementes de citros e suas atividades sobre a formiga cortadeira *Atta sexdens* e seu fungo simbionte. **Química Nova**, v. 25, n. 6b, p. 1091-1095, 2002.

FERNANDES, T.F.S.; RIBEIRO, N.M.; BIDÓIA, V.S.; SILVA, B.C.; OLIVEIRA, S.J.; CESARIN, V.; COSTA, Y.K.S.; NASCIMENTO, R.S.M.; CARVALHO, L.B. Produção de mudas de abacate. **Agronomia Brasileira**, v. 4, 2020.

FORTI, L.C.; BOARETTO, M.A.C. 1997. Formigas cortadeiras: biologia, ecologia, danos e controle. Botucatu: Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Estadual Paulista, 1997, 61p.

FREITAS, T.G. **Toxicidade de extratos de *Rauia* sp. (Rutaceae) para operárias de *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae)**. 2010. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2010.

FSC List of 'highly hazardous' pesticides FSC-STD-30-001a EN, 2015. Disponível em: <<https://ic.fsc.org/file-download.fsc-list-of-highly-hazardous-pesticides.a-2951.pdf>>

Acesso em: 08 set .2022.

FUJIHARA, R.T.; SILVA, M.S.; FORTI, L.C. Manejo de formigas cortadeiras. In: BALDIN, E.L.L.; FUJIHARA, R.T.; CRUZ, P.L.; SOUZA, A.R.; KRONKA, A.Z.; NEGRISOLI, E. (Org.). **Tópicos Especiais em Proteção de Plantas**. 1. ed. Botucatu: FEPAF, p. 103-117, 2013.

GOMES, E.M.C.; FIRMINO, A.V.; PENA, R.C.M.; ALMEIDA, S.S.M.S. Inhibitory effect in vitro of extracts *Cinnamomum zeylanicum* Blume in control of *Cylindrocladium candelabrum*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1559-1567, 2018.

GÓMEZ-DÍAZ, J.S.; NINO-CASTRO, A.; VALENCIA-GIRALDO, S.M.; COTAZO-CALAMBAS, K. M. Hygienic behavior and antimicrobial peptide expression of the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (Hymenoptera, Formicidae) to *Metharhizium anisopliae*. **Journal of Hymenoptera Research**, v. 91, p. 335-356, 2022.

GUSTANI, F.M.; SILVA, T.A.; CAMARGO, J.R.; CARVALHO, J.H.S.; JANEGITZ, B. C.; FUJIHARA, R.T. Synthesis, attractiveness and effectiveness of chitosan-tapioca encapsulates in *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae). **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, p. 2869-2880, 2021.

HEBLING, M.J.A.; MAROTI, P.S.; BUENO, O.C.; SILVA, O.A.; PAGNOCCA, F.C. Toxic effects of leaves of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) to laboratory nests of *Atta*

*sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae), **Bulletin of Entomological Research**, v. 86, p. 253-256, 1996.

HOWARD, J.J.; GREEN, T.P.; WIEMER, D.F. Comparative deterrence of two terpenoids to two genera of attine ants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 5, p. 2279-2288, 1988.

HYDER, M.; LI, Y.; WAMNG, M.; MAO, J.; ZHANG, L. Insecticidal activity of ethanol extracts and aqueous extracts of medicinal plants against green peach aphid (*Myzus persicae*). **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 20, p. 2329- 2342, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). **Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>>. Acesso em: 17 set. 2022.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides: for richer, for poorer. **Pest Management Science**, v. 64, p.8-11, 2008.

JACCOUD, D.B.; HUGHES, W.O.H.; JACKSON, C.W. The epizootiology of a *Metarhizium* infection in mini-nests of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 93, n. 1, p. 51-61, 1999.

JACOBSON, M. Botanical pesticides: Present, and future. In: ARNASON, J.T.; PHILOGENE, B.J.R.; MORAND, P. (Eds.). **Insecticides of plant origin**. Washington: ACS, p.1-9, 1989.

JIMÉNEZ, N.L.; FARJI-BRENER, G.A.; CALCATERRA, L.A. Long-term quantification of leaf-cutting ant damage in willow forestations in the lower delta of the Paraná River, Argentina. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 24, p. 432-445, 2022.

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, n. 2, p. 191-196, 2013.

KERBEL, S.; ABDELLI, I.; AZZI, H.; DEBRAS, J.F.; KELLOUCHE, A. Fatty acid composition and biological activity of four olive oils from Kabylia (Algeria) against *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) infesting wheat seeds. **Studia Universitatis Babeş-Bolyai Biologia**, vol. 66, n.1, p. 51-72, 2021.

KHAN, S; TANING, C.N.T.; BONNEURE, E.; MANGELINCKX, S.; SMAGGHE, G.; SHAH, M.M. Insecticidal activity of plant-derived extracts against different economically important pest insects. *Phytoparasitica*, v.45 p. 113–124, 2017.

LEMES, P.G.; MATOS, M.F.; ARAÚJO JR. C.A.C.; SERRÃO, J.E.; ZANUNCIO, J.C. An organic bait based on *Palicourea marcgravii* (Rubiaceae) and *Tephrosia candida*

(Fabaceae) does not control nests of *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations. **Agricultural and Forest Entomology**, v.15, p. 178-184, 2021.

MAFRA-NETO, A.; FETTIG, C. J.; MUNSON, S.; STELINSKY, L. L. Use of repellents formulated in specialized pheromone and lure application technology (SPLAT®) for effective insect pest management. In: DEBBOUN, M.; FRANCIS, S.P.; STRICKMAN, D.A. **Insect Repellents Handbook**. 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis, p. 291-308, 2015.

MARDIGAN, L.P.; SANTOS, V.J.; SILVA, P.T.; VISENTAINER, J.V.; GOMES, S.T.M.; MATSHUSHITA, M. Investigation of bioactive compounds from various avocado varieties (*Persea americana* Miller), **Food Science and Technology**, v. 39, p. 15-21, 2018.

MARICONI, F. A. M. Aspectos ecológicos e bioeconômicos das saúvas da região oriental do Estado de São Paulo. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 22, p. 213-380, 1965.

MARTINS, J.C.; SILVIA, E.M.; SILVIA, R.S.; FERREIRA, S. R.; PICANÇO, M.C. Copaiba oil and Neem extract can be a potential alternative for the behavioral control of *Sitophilus zeamais*. **Brazilian Journal of Biology**, v.7, p. 84-86, 2022.

MASIULIONIS, V.E.; RABELING, C.; DE FINE LICHT, H.H.; SCHULTZ, T.; BACCI JR., M.; BEZERRA, S.C.M.; PAGNOCCA, F.C. A Brazilian population of the asexual fungus growing ant *Mycocepurus smithii* (Formicidae, Myrmicinae, Attini) cultivates fungal symbionts with gongylidia-like structures. **Plos One**, v.9, n. 8, 2014.

MASSAFERA, G.; COSTA, B.T.M.; OLIVEIRA, G.E.D. Composição de ácidos graxos do óleo do mesocarpo e da semente de cultivares de abacate (*Persea Americana*, Mill) da região de Ribeirão Preto, SP. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, p. 325 - 331, 2010.

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, n. 9, p. 952-957, 2010.

MELO, C.R.; OLIVEIRA, B.M.S.; SANTOS, A.C.C.; SILVA, J.E.; RIBEIRO, G.T.; BLANK, A.F.; ARAÚJO, 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.

MERCER, P.; ARMENTA, R.E. Developments in oil extraction from microalgae. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, p. 539-547, 2011.

MENDONZA-GARCÍA, E.E.; ORTEGA-ARENAS, L.D.; SERRATO-CRUZ, M.Á.; VILLANUEVA-JIMÉNEZ, J.A.; LÓPEZ-ARROYO, J.I.; PÉREZ-PACHECO, R. Chemical composition, toxicity, and repellence of plant essential oils against *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 79, n. 4, p. 636-647, 2019.

MIRESMAILLI, S; ISMAN, M.B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science**, v.19, p.29–35, 2014.

MONTOYA-LERMA, J.; GIRALDO-ECHEVERRI, C.; ARMBRECHT, I.; FARJIBRENER, A.; CALLE, Z. Leaf-cutting ants revisited: towards rational management and control. **International Journal of Pest Management**, v. 58, n.3, p. 225-247, 2012.

MOOZ, E.D; GAIANO, N.M; SHIMANO, M.Y; AMANCIO, R.D; SPOTO, M.H.F. Physical and chemical characterization of the pulp of different varieties of avocado targeting oil extraction potential. **Food Science and Technology**, v. 32, p. 274-280, 2012.

MUELLER, U.G.; ISHAK, H.D.; BRUSCHI, S.M.; SMITH, C.C.; HERMAN, J.J.; SOLOMON, S.E.; BACCI JR, M. Biogeography of mutualistic fungi cultivated by leafcutter ants. **Molecular Ecology**, n. 26, p. 6921-6937, 2017.

MUELLER, U.G.; KARDISH, M.R.; ISHAK, H.D.; WRIGHT, A.M.; SOLOMON, S.E.; BRUSCHI, S.M.; CARLSON, A.L.; BACCI JR., M. Phylogenetic patterns of ant–fungus associations indicate that farming strategies, not only a superior fungal cultivar, explain the ecological success of leafcutter ants. **Molecular Ecology**, v. 27, n. 10, p. 2414-2434, 2018.

NAGAMOTO, N.S.; FORTI, L.C.; ANDRADE, A.P.P.; BOARETTO, M. A. C.; WILCKEN, C. F. Method for the evaluation of insecticidal activity over time in *Atta sexdens rubropilosa* workers (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**. v. 44, n. 2, p. 413-431, 2004.

NAGAMOTO, N.S.; FORTI, L.C.; RAETANO, C.G. Evaluation of the adequacy of diflubenzuron and dechlorane in toxic for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) based on formicidal activity. **Journal of Pest Science**. v. 80, p. 9-13, 2007.

NICKELE, M.A.; REIS-FILHO, W.; SUSETE, R.C.P.; QUEIROZ, E.C.; SCHAITZA, E.G.; PIE, M.R. Potential damage by *Acromyrmex* ant species in pine plantations in southern Brazil. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 23, p. 32-40, 2020.

NORONHA, N.C.; FORTI, L.C.; CAMARGO, R.S.; RAMOS, V.M. Sites of defoliation by *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera, Formicidae) in artificial plants, **Sociobiology**, v. 53, 2009.

NYAKANG'I, C.O.; EBERE, R.; MARETE, E.; ARIMI, J.M. Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. **Applied Food Research**, v. 3, n. 1, 2023.

OBERLIES, N. H.; ROGERS, L. L.; MARTIN, J. M.; MCLAUGHLIN, J. L. Cytotoxic and insecticidal constituents of the unripe fruit of *Persea americana*. **Journal of Natural Products**, v. 61, n. 6, p. 781-785, 1998.

OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, A. A.; SANTANA, A. S. Essential oil *Lippia sidoides* and its major compound thymol: toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop protection**, v. 112, p. 33-38, 2018.

OLIVEIRA, M. F. S. S. **Controle de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) com produtos naturais**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro – SP.

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.

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

PLANO NACIONAL DE IMPLEMENTAÇÃO BRASIL (NIP). Ministério do Meio Ambiente. Convenção de Estocolmo. Brasília: MMA, 2015. 192 p.

RAGASA, C.; GALIAN, R.F.; LAGUEUX, E.; SHEN, C.C. Chemical constituents of the fruit of *Persea americana*. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 5, n. 6, p. 984, 2014.

RAMOS, V.M.; FORTI, L.C.; BOARETTO, M.A.C.; MOREIRA, A.A. Atratividade de iscas de polpa cítrica pulverizadas com extrato de capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa* Nees) para a formiga cortadeira de gramíneas *Atta capiguara* Gonçalves, 1944 (Hymenoptera:Formicidae). *Pasturas Tropicales*, v. 28, p. 35-42, 2006.

RAMOS, V.M.; LEITE, R.G.F.; CAMARGO, R.S.; CRUZ, J.V.S.; LEÃO, R.M.; PRADO, M.V.; PEREIRA, M.C.S. Bioactivity of *Asclepias curassavica*, *Equisetum* spp. and *Rosmarinus officinalis* extracts against leaf-cutting ants. **Sociobiology**, v. 66, p. 536-544, 2019.

REMBOLD, H. The Azadirachtins – potent insect growth inhibitors. **International Symposium on Insect**, v. 82, p. 61-66, 1987.

SALAS, J.J.; SNACHEZ, J.S.; RAMLI, U.S.; MANAF, A.M.; WILLIAMS, M.; HARWOOD, J.L. Biochemistry of lipid metabolism in olive and other oil fruits. **Progress in Lipid Research**, v. 39, p. 151-180, 2000.

SALAZAR, L.C.; ORTIZ-REYES, A.; ROSERO, D.M.; LOBO-ECHEVERRI, T. Dillapiole in *Piper holtonii* as an inhibitor of the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* of leaf-cutting ants. **Journal of Chemical Ecology**, v. 46, p. 668-674, 2020.

SALINAS-SÁNCHEZ, D.O.; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, R.; RIVAS-GONZÁLEZ, J.J.M.; BRITO, R.F.; CHORA, G.P.; TOLEDO-HERNÁNDEZ, E.; SOTELO-LEYVA, C. Chemical composition of *Ricinus communis* and *Momordica charantia* seeds extracts and its bioactivity against the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, p. 2991-2996, 2021.

SÁNCHEZ-RESTREPO, A.F.; JIMÉNEZ, N.L.; CONFALONIERI, L.A.; CALCATERRA, L.A. Economic injury level and economic threshold as required by Forest Stewardship Council for management of leaf-cutting ants in forest plantations. **International Journal of Pest Management**, v. 65, p. 244-257, 2019.

SANTOS-SILVA, L.; VICENTE, R.E.; FEITOSA, R.M. Ant species (Hymenoptera, Formicidae) of forest fragments and urban areas in a Meridional Amazonian landscape. *Check List*, v. 12, n. 3, p. 1885, 2016.

SANTOS-NETO. **Efeito das formigas cortadeiras *Atta* e *Acromyrmex* nos atributos do solo e na regeneração da Caatinga**. 2021. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

SASIDHARAN, S.; CHEN, Y.; SARAVANAN, D.; SUNDRAM, K.M.; YOGA-LATHA, L. Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants extracts. **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, v. 8, p. 1-10, 2011.

SAXENA, R.C. Insecticides from nim. In: ARNASON, J.T.; PHILOGENE, B.J.R.; MORAND, P. (Ed.) **Insecticides of plant origin**. Washington: ACS, p. 110-129, 1989.

SCHERF, A.N.; CORLEY, J.C.; GIOIA, C.D.; ESKIVISKI, E.R.; CARAZZO, C.; PATZER, H.R.; DIMARCO, R. D. Impact of a leaf-cutting ant (*Atta sexdens* L.) on a *Pinus taeda* plantation: A 6 year-long study. **Journal of Applied Entomology**, v. 146, p. 1178-1184, 2022.

SCHMUTTERER, H. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. **Annual Review of Entomology**, v. 35, p. 271-297, 1990.

SCHULTZ, B. **Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHULTZ, T.R. Fungus-Farming Ants (Attini in Part). In: STARR, C.K. (Ed.). Encyclopedia of social insects. **Springer International Publishing**, p. 1-8, 2020.

SCORA, R.W; AHMED, M. Terpenes of *Persea tolimanesis* (Lauraceae), an ancestor of the Guatemalan avocados. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 41, p. 1971-1973, 1993.

SHARMA, A.; KUMAR, V.; SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; SIDHU, G.P.S.; HANDA, N. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. **SN Applied Sciences**, v. 1, p. 1-16, 2019.

SILVA, A.; BACCI, M.JR.; SIQUEIRA, C.G.; BUENO, O.C.; PAGNOCCA, F.C.; HEBLING, M. J. A. Survival of *Atta sexdens* workers on different food sources. **Journal of Insect Physiology**, v. 49, n. 4, p. 307-313, 2003.

SILVA, D.G.; LUCENA JÚNIOR, A.; SARMENTO, R. A.; SILVA, C.L.S.; TENÓRIO, A.C.T.; SOUZA, D.J.; MELO, M.S. Encapsulated baits containing zinc sulfate and *Trichoderma harzianum* reduce fungal garden in *Atta sexdens* colonies. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n. 3, p. 46-52, 2020.

SOMBRA, K.E.S.; AGUIAR, C.V.S.; OLIVEIRA, S.J.; BARBOSA, M.G.; ZOCCOLO, G.J.; PASTORI, P.L. Potential pesticide of three essential oils against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 80, p. 617-628, 2020.

SOPER, F.M.; SULLIVAN, B.W.; OSBORNE, B.B.; SHAW, A.N.; PHILIPPOT, L.; CLEVELAND, C.C. Leaf-cutter ants engineer large nitrous oxide hot spots in tropical forests. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 286, n. 1894, p. 1-7, 2019.

SOUZA, B.R. **Toxicidade tóxica de extratos da Rutaceae *Esenbeckia pumila* em operárias de formigas-cortadeiras *Atta laevigata* e *Acromyrmex balzani***. 2017. 32 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Unidade Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO, 2017.

SOUZA-CAMPANA, D.R.; CARVALHO, A.C.N.; CANALI, M.; SILVA, O.G.M.; MORINI, M.S.C. FUJIHARA, R.T. A rapid survey of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in an urban park from state of São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, n. 3, p. 682-684, 2020.

SOUSA-SOUTO, L.; GUERRA, M.B.B.; SCHOEREDER, J.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SILVA, W.L. Determinação do fator de conversão em colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) e sua relação com a qualidade do material vegetal cortado. **Revista Árvore**, v. 31, p. 163-166, 2007.

STEFANELLI, L.E.P.; FORTI, L.C.; GARCIA, R.M. Toxicidade de diferentes concentrações do inseticida indoxacarbe para formigas cortadeiras. **Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 9, n. 1, 2019.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 17-23, 2004.

TORO, I.D.; RIBBONS, R.R.; PELINI, S.L. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 17, p. 133-146, 2012.

VIDAL, M.F.; XIMENES, L. J. F. Comportamento recente da fruticultura nordestina: área, valor da produção e comercialização. **Caderno Setorial Etene**. Fortaleza: Banco do Nordeste e do Brasil, ano 1, n.2. out. 2016. (Série Caderno Setorial, n.2).

WALIA, S.; KOUL, O. Exploring plant biodiversity for botanical insecticides. In: Sustainable crop protection, **Biopesticide Strategies**, p. 191-206, 2008.

WILKIE, K.T.R.; MERTL, A.L.; TRANIELLO, J.F. Species diversity and distribution patterns of the ants of Amazonian Ecuador. **PLoS One**, v. 5, n. 10, 2010.

WILSON, E.O. Caste and division of labor in leaf-cutter ants (Hymenoptera: Formicidae: Atta). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 7, n. 2, p. 157-165, 1980.

WONG, M.Y.; HAMID, S.; SHAH, N.A.I.; RAZAK, N.H.A.; Botanical extracts as biofungicides against fungal pathogens of rice. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 43, p. 457-466, 2020.

YOUNIS, I.Y.; KHATTAB, A.R.; SELIM, N.M.; SOBEH, M.; ELHAWARY, S.S.; BISHBISHY, M.E. Metabolomics-based profiling of 4 avocado varieties using HPLC–MS/MS and GC/MS and evaluation of their antidiabetic activity. **Scientific Reports**, v. 12, p. 4966, 2022.

ZABALETA, I.; BIZKARGUENAGA, E.; NUNOO, D.B.O.; SCHULTES, L.; LEONEL, J.; PRIETO, A.; ZULOAGA, O.; BENSKIN, J.P. Biodegradation and uptake of the pesticide sulfluramid in a soil-carrot mesocosm. **Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 2603-2611, 2018.

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.

ZANINI, J. K.; FUJIHARA, R. T. Analysis of the scientific research on botanical extracts with insecticidal potential for leaf-cutting ants control. In: CONGRESO ARGENTINO Y XII CONGRESO LATINOAMERICANO DE ENTOMOLOGÍA, 11., 2022, La Plata. **Anais...** La Plata: Universidad de La Plata, 2022.

ZANUNCIO, J. C.; CRUZ, A.P.; SANTOS, D.F.; OLIVEIRA, M.A. Eficiência da isca granulada Mirex-S, à base de sulfluramida no controle da formiga cortadeira *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Árvore**, v. 16, n. 3, p. 357-361, 1992.

## 8 APÊNDICES

**Apêndice 1.** Relação de artigos publicados entre 1990 a 2022 sobre extratos botânicos naturais com potencial inseticida contra formigas- cortadeiras. Lista atualizada em 2023, totalizando 68 artigos encontrados.

	Artigos	País	Ano
1	Toxicity of sesame extracts to the symbiotic fungus of leaf-cutting ants	Brasil	1990
2	Effect of sesame ( <i>Sesamum indicum</i> L) on nest development of <i>Atta sexdens rubropilosa</i> Forel (Hym., Formicidae)	Brasil	1995
3	Toxic effects of leaves of <i>Ricinus communis</i> (Euphorbiaceae) to laboratory nests of <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	1996
4	Toxicity of lignans to symbiotic fungus of leaf-cutting ants	Brasil	1996
5	Activity of extracts and fatty acids of <i>Canavalia ensiformis</i> (Leguminosae) against the symbiotic fungus of the leaf-cutting ants <i>Atta sexdens</i>	Brasil	1998
6	Activity of sesame leaf extracts to the leaf-cutting ant <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	1998
7	Toxic effects of <i>Canavalia ensiformis</i> L. (Leguminosae) on laboratory colonies of <i>Atta sexdens</i> L. (Hym., Formicidae)	Brasil	2000
8	Biological activity of quinoline alkaloids from <i>Raulinoa echinata</i> and X-ray structure of flindersiamine	Brasil	2002
9	Effects of leaves of <i>Ipomoea batatas</i> (Convolvulaceae) on nest development and on respiratory metabolism of leaf-cutting ants <i>Atta sexdens</i> L. (Hym., Formicidae)	Brasil	2003
10	Activity of <i>Ricinus communis</i> (euphorbiaceae) and ricinine against the leaf-cutting ant <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (hymenoptera: formicidae) and the symbiotic fungus <i>Leucoagaricus gongylophorus</i>	Brasil	2004
11	Astilbin toxicity to leaf-cutting ant <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2005
12	Inhibition of the symbiotic fungus of leaf-cutting ants by coumarins	Brasil	2005
13	Leaf-cutting ants toxicity of limonexic acid and degraded limonoids from <i>Raulinoa echinata</i> .: X-ray structure of epoxy-fraxinellone	Brasil	2005
14	Limonoids from <i>Cipadessa fruticosa</i> and <i>Cedrela fissilis</i> and their insecticidal activity	Brasil	2005
15	Toxicity of <i>Cedrela fissilis</i> to <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae) and its symbiotic fungus	Brasil	2005
16	Toxicity of <i>Cipadessa fruticosa</i> to the leaf-cutting ants <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae) and their symbiotic fungus	Brasil	2005
17	Toxicity of sesame seed to leaf-cutting ant <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2005
18	A new imidazole alkaloid and other constituents from <i>Pilocarpus grandiflorus</i> and their antifungal activity	Brasil	2005
19	Toxicity of <i>Azadirachta indica</i> to leaf-cutting ant <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2006
20	Toxicity of substances isolated from <i>Helietta puberula</i> RE Fr. (Rutaceae) to the leaf-cutting ant <i>Atta sexdens</i> L. (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus <i>Leucoagaricus gongylophorus</i> (Singer) Möller	Brasil	2007
21	Effects of acetonic and water extracts of <i>Ricinus communis</i> , <i>Melia azedarach</i> y <i>Trichillia glauca</i> on black common cutting ant ( <i>Acromyrmex lundii</i> )	Argentina	2008
22	Toxic effects of leaves of an aluminum-accumulating plant on laboratory colonies of <i>Atta sexdens</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2008
23	Efficiency of products for thermonebulization on the control of <i>Atta laevigata</i> (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations	Brasil	2008
24	Enforced herbivory on <i>Canavalia ensiformis</i> and <i>Tithonia diversifolia</i> and its effects on leaf-cutting ants, <i>Atta cephalotes</i>	Colômbia	2009

25	Lethal and behavioral effects of Amazonian plant extracts on leaf-cutting ant (Hymenoptera: Formicidae) workers	Brasil	2010
26	Activities of extracts and compounds from <i>Spiranthera odoratissima</i> St. Hil. (Rutaceae) in leaf-cutting ants and their symbiotic fungus	Brasil	2010
27	Estudo fitoquímico de <i>Anacardium humile</i> associado ao controle de formigas cortadeiras <i>Atta sexdens rubropilosa</i>	Brasil	2011
28	Mortality and respiratory rate of <i>Atta bisphaerica</i> ant workers (Hymenoptera: Formicidae) after application of a plant ( <i>ageratum conyzoides</i> ) extract	Brasil	2011
29	<i>Acromyrmex octospinosus</i> (Hymenoptera: Formicidae) management. Part 1: Effects of TRAMIL's insecticidal plant extracts	França	2012
30	Atividade de formigas cortadeiras <i>Acromyrmex</i> spp. submetidas a preparações homeopáticas	Brasil	2012
31	Evaluation of the toxicity of <i>Virola sebifera</i> crude extracts, fractions and isolated compounds on the nest of leaf-cutting ants	Brasil	2012
32	Atividade inseticida de <i>Eugenia uniflora</i> L. e <i>Melia azedarach</i> L. sobre <i>Atta laevigata</i> Smith	Brasil	2013
33	Cassava leaf methanolic extract as an alternative to control of fall armyworm and leaf cutter ants	Brasil	2013
34	<i>Ricinus communis</i> and <i>Jatropha curcas</i> (Euphorbiaceae) seed oil toxicity against <i>Atta sexdens rubropilosa</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2013
35	Toxicity of foliage extracts of <i>Tithonia diversifolia</i> (Asteraceae) on <i>Atta cephalotes</i> (Hymenoptera: Myrmicinae) workers	Colômbia	2013
36	Efeito do óleo essencial das folhas de <i>Drymys angustifolia</i> em colônias de <i>Acromyrmex</i> spp. em plantio de <i>Pinnus taeda</i>	Brasil	2015
37	Effect of <i>Tithonia diversifolia</i> mulch on <i>Atta cephalotes</i> (Hymenoptera: Formicidae) Nests	Colômbia	2015
38	Extracts of <i>Ageratum conyzoides</i> , <i>Coriandrum sativum</i> and <i>Mentha piperita</i> inhibit the growth of the symbiotic fungus of leaf-cutting ants	Brasil	2015
39	Screening of native plants from central Argentina against the leaf-cutting ant <i>Acromyrmex lundii</i> (Guérin) and its symbiotic fungus	Argentina	2015
40	Efectos de <i>Capsicum baccatum</i> y <i>C. frutescens</i> sobre <i>Atta cephalotes</i> (Hymenoptera: Formicidae) y el hongo <i>simbionte Leucoagaricus gongylophorus</i>	Colômbia	2016
41	Toxicity of plant extracts from Bahia, Brazil, to <i>Atta sexdens sexdens</i> (Hymenoptera: Formicidae) workers	Brasil	2016
42	Can the extract of <i>Aristolochia Argentina</i> Griseb affect the foraging decisions of the leaf cutting ant <i>Acromyrmex lundii</i> (Guérin)? Preliminary assays	Argentina	2017
43	Essential oil of <i>Aristolochia trilobata</i> : synthesis, routes of exposure, acute toxicity, binary mixtures and behavioral effects on leaf-cutting ants	Brasil	2017
44	Plant-based compounds with potential as push-pull stimuli to manage behavior of leaf-cutting ant	Argentina	2017
45	Topical toxicity of <i>Esenbeckia pumila</i> extracts on leaf-cutting ants <i>Atta laevigata</i> and <i>Acromyrmex balzani</i>	Brasil	2017
46	New caffeic acid derivative from <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray butanolic extract and its antioxidant activity	Colômbia	2017
47	Análise do efeito do óleo essencial de <i>Lippia sidoides</i> sobre <i>Atta sexdens</i> (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2018
48	<i>Euphorbia cotinifolia</i> (Euphorbiaceae): a promising alternative for leaf cutting ant <i>Atta cephalotes</i> (Hymenoptera: Formicidae) control	Colômbia	2018
49	Lethal effect and behavioral responses of leaf-cutting ants to essential oil of <i>Pogostemon cablin</i> (Lamiaceae) and its nanoformulation	Brasil	2018
50	Sustainable management of <i>Acromyrmex octospinosus</i> (Reich): How botanical extracts should promote an ecofriendly control strategy	França	2018
51	Effect of azadirachtin on mortality and immune response of leaf-cutting ants	Brasil	2019
52	Bioactivity of <i>Asclepias curassavica</i> , <i>Equisetum</i> spp. and <i>Rosmarinus officinalis</i> extracts against leaf-cutting ants	Brasil	2019
53	<i>Musa acuminata</i> pseudostem extract on the control of <i>Atta sexdens rubropilosa</i>	Brasil	2019
54	Toxicity of alkaloid fractions from <i>Psychotria</i> spp. (Rubiaceae) against <i>Atta sexdens</i> Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2019

55	Toxicity and behavioral alterations of essential oils of <i>Eplingiella fruticosa</i> genotypes and their major compounds to <i>Acromyrmex balzani</i>	Brasil	2019
56	Novel organic repellent for leaf-cutting ants: tea tree oil and its potential use as a management tool	Argentina	2019
57	Toxicity of <i>Esenbeckia pumila</i> Pohl (Rutaceae) on <i>Artemia salina</i> and <i>Atta sexdens rubropilosa</i>	Brasil	2019
58	Toxicity and behavioral alterations caused by essential oils of <i>Croton tetradenius</i> and their major compounds on <i>Acromyrmex balzani</i>	Brasil	2020
59	Synergistic effect of aromatic plant essential oils on the ant <i>Acromyrmex balzani</i> (Hymenoptera: Formicidae) and antifungal activity on its symbiotic fungus <i>Leucoagaricus gongylophorus</i> (Agaricales: Agaricaceae)	Brasil	2020
60	Dillapiole in <i>Piper holtonii</i> as an inhibitor of the symbiotic fungus <i>Leucoagaricus gongylophorus</i> of leaf-cutting ants	Colômbia	2020
61	An organic bait based on <i>Palicourea marcgravii</i> (Rubiaceae) and <i>Tephrosia candida</i> (Fabaceae) does not control nests of <i>Atta laevigata</i> (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations	Brasil	2021
62	Effects of concentrations of Azadirachtin oil on mortality and post-exposure time of <i>Atta mexicana</i> leaf-cutter worker ants	Argentina	2021
63	Formicidal activity of essential oils of <i>Myrcia lundiana</i> chemotypes on <i>Acromyrmex balzani</i>	Brasil	2021
64	Inseticidas botânicos no controle de formigas	Brasil	2021
65	<i>Machaerium opacum</i> Vogel (Fabaceae): phytochemical study and toxicity to <i>Atta sexdens</i> Linnaeus (Hymenoptera: Formicidae)	Brasil	2021
66	<i>Odontadenia lutea</i> (Apocynaceae) leaves: phytochemical study and insecticidal activity against leaf-cutting ants <i>Atta sexdens rubropilosa</i> Forel	Brasil	2021
67	<i>Leucoagaricus gongylophorus</i> provides protection for <i>Atta sexdens</i> against plant extracts	Brasil	2022
68	Nest refuse extract deters ant herbivory	Brasil	2022

**Apêndice 2.** Relação dos prováveis compostos não-saponificáveis presentes no óleo de semente de abacate extraído com hexano e obtido pelo Método GC/MS.

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
70.7245	Vitamin E	85.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C29H50O2	NIST14.L				40615.9
70.0317	Vitamin E	91.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C29H50O2	NIST14.L				735113.0
67.4187	Heneicosane	83.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C21H44	NIST14.L				159361.8
67.1297	11-Dodecyn-1-ol acetate	84.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H24O2	NIST14.L				776397.8
66.9548	Squalene	84.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C30H50	NIST14.L				924166.8
66.7890	1,2-Benzenediol, O-(5-chlorovaleryl)-O-(1-naphthyl)-	88.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C22H19ClO4	NIST14.L				96514.0
66.7338	cis-11,14-Eicosadienoic acid, methyl ester	83.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C21H38O2	NIST14.L				549326.3
66.6508	1,2-15,16-Diepoxihexadecane	81.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H30O2	NIST14.L				210941.6
66.5973	1,2-Benzenediol, O-(5-chlorovaleryl)-O-(1-naphthyl)-	84.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C22H19ClO4	NIST14.L				116479.2
66.4293	Ethanol, 2-(9,12-octadecadienyl)-, (Z,Z)-	88.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C20H38O2	NIST14.L				1322004.3
66.3497	Octyl crotonate	76.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H22O2	NIST17.L				448131.4
66.2611	1,2-Benzenediol, O-(1-naphthyl)-	84.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H12O3	NIST14.L				199298.4
66.0898	1,2-Benzenediol, O-(1-naphthyl)-	83.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H12O3	NIST14.L				94496.6
66.0268	1,E-6,Z-11-Hexadecatriene	78.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H28	NIST14.L				647356.5
65.9379	Tetracosane	84.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C24H50	NIST14.L				938702.4
65.6386	2-Butenoic acid, cyclohexyl ester	76.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H16O2	NIST14.L				5379319.7
65.4891	Ethyl Acetate	75.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C4H8O2	NIST14.L				2639343.7
65.4656	cis-4,10,13,16-Docosatetraenoic Acid methyl ester	80.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C23H38O2	NIST17.L				3765870.2
65.3596	Cyclopropanecarboxylic acid,undec-10-enyl ester	77.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H26O2	NIST14.L				1394665.0
65.2165	7-Octen-3-ol, 2,3,6-trimethyl-	81.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H22O	NIST14.L				9383242.0
65.2164	6-Dodecanol acetate	81.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H28O2	NIST14.L				9383242.0
64.9765	trans-Geranylgeraniol	80.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C20H34O	NIST14.L				13348109.2
64.5202	Z-(13,14-Epoxy)tetradec-11-en-1-ol acetate	79.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H28O3	NIST14.L				58561460.8
64.1469	1,1'-Bis(cyclooct-2-en-4-one)	76.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H22O2	NIST14.L				1610646.6
63.9676	p-Dioxin, 2,3-dihydro-5-methyl-	75.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H8O2	NIST14.L				14140171.2
63.6529	2H-Pyran, 2-(7-dodecynyl)oxy)tetrahydro-	75.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H30O2	NIST14.L				2584023.2
62.5567	4-Chlorobutyric acid, 4-isopropylphenyl ester	77.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H17ClO2	NIST14.L				773365.3

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
62.5567	4'-Hydroxyheptanophenone	79.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H18O2	NIST14.L				781009.0
62.5024	Cyclopropanecarboxylic acid,undec-10-enyl ester	79.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H26O2	NIST14.L				7442806.9
62.0118	Avocadiynofuran	75.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H26O	NIST17.L				359978.3
60.9831	Isoavocadienofuran	85.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H26O	NIST17.L				1516641.8
60.8948	2-((1E,8Z,11Z)-Heptadeca-1,8,11-trien-1-yl)furan	81.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C21H32O	NIST17.L				5546449.3
60.0177	2H-Pyran, 2-(7-heptadecyloxy)tetrahydro-	84.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C22H40O2	NIST14.L				2039559.7
59.7059	2-(Heptadecyl)furan	78.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C21H38O	NIST17.L				434104.8
59.6442	Acetic acid, decyl ester	79.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H24O2	NIST14.L				209886.4
59.5361	(E)-2-(Heptadec-2-en-1-yl)furan	85.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C21H36O	NIST17.L				1940581.6
59.5350	(E)-2-(Heptadec-1-en-1-yl)furan	83.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C21H36O	NIST17.L				1940581.6
58.4449	Benzamide, N-(1-naphthyl)-4-ethyl-	77.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H17NO	NIST14.L				548951.1
58.4085	Pyridazine-3-carboxylic acid, 6-oxo-1,6-dihydro-, (4-methoxybenzylidene)hydrazide	77.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H12N4O3	NIST14.L				548951.1
56.8346	2-Fluorobenzoic acid, 3,5-dimethylphenyl ester	75.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H13FO2	NIST14.L				25433.0
56.3049	9,11-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	80.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H34O2	NIST17.L				312115.2
56.0251	1-Octadecanol	97.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H38O	NIST14.L				1402920.6
55.9976	(Z)-2-(Pentadec-1-en-1-yl)furan	83.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H32O	NIST17.L				18031203.4
55.7829	(E)-2-(Pentadeca-1,14-dien-1-yl)furan	86.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H30O	NIST17.L				4689406.5
55.6569	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(3-methylbutyl) ester	88.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H26O4	NIST14.L				1915776.1
55.5963	Etoxidine	75.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H27NO4	NIST14.L				40307.2
55.2362	9-Octadecen-1-ol, (Z)-	83.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H36O	NIST14.L				899752.9
54.9949	(Z)-2-(Pentadec-1-en-1-yl)furan	92.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H32O	NIST17.L				3867193.3
54.8391	(E)-2-(Pentadeca-1,14-dien-1-yl)furan	90.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H30O	NIST17.L				861347.0
54.6267	2-(Pentadec-14-yn-1-yl)furan	96.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H30O	NIST17.L				2341992.4
53.9016	2-Pentadecylfuran	93.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H34O	NIST17.L				18216299.9
53.5429	Benzo[1,2-b:5,4-b']bisbenzofuran	78.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H10O2	NIST14.L				53764.8
52.7550	Phenol, 4-dodecyl-	76.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H30O	NIST14.L				80125.7
52.5089	Phthalic acid, butyl 3-methylbutyl ester	81.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H24O4	NIST14.L				639354.2

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
52.3066	Dibutyl phthalate	92.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H22O4	NIST14.L				3410064.4
51.1117	Methyl palmitate	76.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H34O2	demo.mslibrary.xml				108942.4
50.8075	Phthalic acid, 6-ethyl-3-octyl butyl ester	90.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C22H34O4	NIST14.L				242019.5
50.2755	Avocadenofuran	90.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H24O	NIST17.L				655094.5
49.6390	1-Hexadecanol	98.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H34O	NIST14.L				1109225.6
49.5090	(E)-2-(Tridec-1-en-1-yl)furan	89.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28O	NIST17.L				584758.5
49.4024	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	95.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H22O4	NIST14.L				15912976.4
49.3390	(E)-Avocadienofuran	90.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H26O	NIST17.L				5734037.2
48.9201	Cyclopenta[g]-2-benzopyran, 1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethyl-	86.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H26O	NIST14.L				183049.0
48.6182	Benzene, (1-propyldecyl)-	79.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H32	NIST14.L				107739.5
48.4539	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	93.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28O2	NIST14.L				1618217.8
48.2911	(E)-Avocadienofuran	91.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H26O	NIST17.L				919390.2
48.1084	Cyclononasiloxane, octadecamethyl-	82.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H54O9Si9	NIST14.L				53099.6
48.0451	Avocadynofuran	95.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H26O	NIST17.L				17829364.8
47.8053	Avocadenofuran	85.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H24O	NIST17.L				3702771.5
47.3290	1-Tetradecyl acetate	90.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H32O2	NIST14.L				688403.3
47.1994	2-Tridecylfuran	91.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H30O	NIST14.L				4022129.0
47.0999	Hexadecane	77.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H34	NIST14.L				1192243.0
47.0856	Avocadenofuran	86.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28O	NIST17.L				40040313.2
46.7877	Benzyl mandelate	78.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H14O3	NIST14.L				7727635.6
45.9469	Linoleyl methyl ketone	78.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C19H34O	NIST17.L				156197.3
45.1614	Benzene, (1-propylnonyl)-	82.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H30	NIST14.L				184836.4
44.7452	Benzene, (1-butylloctyl)-	90.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H30	NIST14.L				229899.5
44.6282	8-Hydroxy-4-methoxynaphthalene-1-carbaldehyde	89.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H10O3	NIST17.L				80435.5
44.5737	Benzene, (1-pentylheptyl)-	88.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H30	NIST14.L				241757.3
44.3541	.beta.-Bisabolene	91.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				827148.8
43.6388	Benzene, (1-methyldecyl)-	79.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28	NIST14.L				259380.3

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
43.4860	Hexadecane	79.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H34	NIST14.L				147881.6
43.3252	(Z)6,(Z)9-Pentadecadien-1-ol	78.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H28O	NIST14.L				141353.6
43.2400	11-Dodecen-2-one	84.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H22O	NIST14.L				554133.4
43.0860	cis,cis-7,10-Hexadecadienal	92.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H28O	NIST17.L				933537.4
42.6993	1-Tetradecanol	99.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H30O	NIST14.L				471258.8
42.5898	Methyl 5-acetyl-2-methoxybenzoate	76.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H12O4	NIST14.L				37445.4
42.5503	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-	88.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H48O8Si8	NIST14.L				43378.8
42.3165	Benzene, (1-ethylnonyl)-	80.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28	NIST14.L				221564.2
42.0538	Germacrene D	81.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				77030.9
42.0496	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	78.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				76960.7
41.5748	isodene	76.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				214596.8
41.2676	1,3-Methanopentalene, octahydro-	75.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H14	NIST14.L				82543.8
41.2207	Benzene, (1-butylheptyl)-	88.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28	NIST14.L				235450.5
41.0934	Benzene, (1-pentylhexyl)-	81.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C17H28	NIST14.L				123535.7
41.0029	Benzophenone	81.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H10O	NIST14.L				61544.4
40.3646	Tetradecanal	98.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H28O	NIST14.L				162779.9
40.1063	13-Octadecenal, (Z)-	89.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C18H34O	NIST14.L				277975.2
39.8097	N-Dimethylaminomethyl-tert-butyl-isopropylphosphine	77.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H24NP	NIST14.L				245452.4
39.7786	Phthalic acid, cyclobutyl ethyl ester	77.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H16O4	NIST14.L				98665.7
39.7786	Phthalic acid, ethyl trideco-2-yn-1-yl ester	78.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C23H32O4	NIST14.L				98750.2
39.6542	Cetone	98.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H32	NIST14.L				2115112.1
37.1172	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	81.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				45788.1
36.5770	2,4-Di-tert-butylphenol	85.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H22O	NIST17.L				472964.9
36.5163	Tridecanal	99.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H26O	NIST14.L				694460.1
36.3159	9-Tetradecenal, (Z)-	89.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H26O	NIST14.L				201592.4
36.3158	13-Oxabicyclo[10.1.0]tridecane	87.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H22O	NIST14.L				201592.4
36.1736	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-	79.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H42O7Si7	NIST14.L				59599.8

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
35.5171	(1R,2S,6S,7S,8S)-8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0 <sup>2,7</sup> ]decane-ret-	96.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				1921668.2
35.0391	1R,2c,3t,4t-Tetramethyl-cyclohexane	81.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H20	NIST14.L				101967.3
34.0254	Cyclopentane, nonyl-	97.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H28	NIST17.L				406859.2
33.5804	E-9-Tetradecen-1-ol formate	89.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H28O2	NIST14.L				1075377.6
33.3188	E-9-Tetradecen-1-ol formate	87.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H28O2	NIST14.L				416331.2
33.0264	Caryophyllene	92.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				149671.7
33.0104	Naphthalene, 1,2-dimethyl-	78.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H12	NIST14.L				13280.0
32.8400	Naphthalene, 1,2-dimethyl-	85.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H12	NIST14.L				15001.1
32.7813	1,3-Cyclohexadiene, 5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-2-methyl-, [S-(R*,S*)]-	76.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST17.L				91412.2
32.1026	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-(2-pentenyl)-, (Z)-	77.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H16O	NIST14.L				72888.1
32.0411	Benzaldehyde, 2,4-dihydroxy-6-methyl-	82.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H8O3	NIST14.L				412789.8
32.0400	Vanillin	80.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H8O3	NIST14.L				410623.6
32.0387	Hexadecane	78.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C16H34	NIST14.L				184601.9
31.7454	1-Tetradecene	98.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H28	NIST14.L				1320572.9
30.0565	(1S,4S,4aS)-1-Isopropyl-4,7-dimethyl-1,2,3,4,4a,5-hexahydronaphthalene	75.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C15H24	NIST14.L				31634.2
29.1198	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	93.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H36O6Si6	NIST14.L				222035.9
28.5320	2,4-Decadienal, (E,E)-	89.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H16O	NIST14.L				602696.2
28.3113	Naphthalene, 2-methyl-	91.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H10	NIST14.L				29181.2
27.8160	10-Undecenal	87.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H20O	NIST17.L				157332.8
27.8119	Tridecane	84.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H28	NIST14.L				149840.8
27.5674	Naphthalene, 2-methyl-	85.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H10	NIST14.L				59177.0
27.5513	2,4-Decadienal, (E,E)-	75.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H16O	NIST14.L				414809.1
26.3175	1H-1,3,2-Benzodiazaborole, 2-ethyl-2,3-dihydro-	79.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H11BN2	NIST14.L				25374.6
26.3174	1H-Indene, 2,3-dihydro-4,7-dimethyl-	79.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H14	NIST14.L				17599.5
24.2730	Ethanol, 2-phenoxy-	88.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H10O2	NIST17.L				115543.2
24.1930	2H-Pyran-2-one, 5,6-dihydro-	76.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H6O2	NIST14.L				216020.3
23.3972	Dodecane	96.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H26	NIST14.L				2462992.0

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
23.2176	3-Dodecene, (E)-	96.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H24	NIST14.L				299886.9
22.9975	1-Dodecene	98.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H24	NIST14.L				330233.8
22.9176	1H-Indene, 2,3-dihydro-4,7-dimethyl-	82.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H14	NIST14.L				36233.5
22.9171	1H-Indene, 2,3-dihydro-4,6-dimethyl-	80.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H14	NIST14.L				36277.4
22.6325	1-Acetoxy-1-phenylbut-2-yne	75.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C12H12O2	NIST14.L				61575.6
21.6510	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-	75.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H12	NIST17.L				53801.0
21.4224	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	94.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H30O5Si5	NIST14.L				356013.0
21.2170	Benzene, 1,3-diethyl-	77.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H14	NIST14.L				112820.9
21.1137	Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethyl-	85.5	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H12	NIST14.L				62151.3
20.8895	Benzene, 1,3-diethyl-5-methyl-	76.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H16	NIST14.L				98782.2
20.5933	1H-Indene, 2,3-dihydro-5-methyl-	78.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H12	NIST14.L				31515.3
19.7423	Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	89.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H14	NIST17.L				163470.9
19.5652	Dodecane, 4-methyl-	78.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H28	NIST14.L				478843.8
19.3022	2-Propenal, 3-(2-furanyl)-	97.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C7H6O2	NIST14.L				690832.3
19.3015	Diethyl sulfone	75.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C4H10O2S	NIST14.L				608727.9
18.7934	Undecane	96.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C11H24	NIST14.L				1439875.7
18.2419	Decane, 2,3,5-trimethyl-	75.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H28	NIST14.L				238752.8
18.1867	Indan, 1-methyl-	76.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H12	NIST14.L				56300.5
18.1299	Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	81.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H14	NIST14.L				140888.6
17.1242	Sulfurous acid, 2-ethylhexyl hexyl ester	83.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C14H30O3S	NIST14.L				168640.5
16.8972	Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	82.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H14	NIST14.L				154587.4
16.5668	Benzene, 1-methyl-4-propyl-	83.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H14	NIST14.L				156208.9
15.8967	Indane	83.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H10	NIST14.L				38696.1
15.3680	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	84.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C7H12	NIST14.L				348341.8
14.4679	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	79.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C7H12	NIST14.L				194497.6
14.4098	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	90.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H14O3	NIST14.L				88453.2
14.2045	Decane	95.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H22	NIST14.L				649681.4

Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
14.1823	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	96.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H24O4Si4	NIST14.L				808332.1
14.0245	3-Nonen-5-one	76.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H16O	NIST14.L				98606.7
14.0245	Diethylcyanamide	81.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H10N2	NIST14.L				98606.7
13.9519	Mesitylene	96.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H12	NIST14.L				469826.0
13.8231	1-Decene	96.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C10H20	NIST17.L				326374.5
13.3534	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	91.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H12	NIST14.L				451602.6
12.9626	2-Pentanone	85.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H10O	NIST17.L				290882.3
12.8307	3-Hexene-2,5-diol	84.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H12O2	NIST14.L				1752925.3
12.6656	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	90.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H8O	NIST14.L				385244.0
12.6640	1-Butyne, 3-methyl-	84.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H8	NIST14.L				185568.7
12.6005	2,4-Dihydroxybenzaldehyde, 2TMS derivative	77.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C13H22O3Si2	NIST17.L				27719.6
12.5660	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	98.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H12	NIST14.L				2393917.1
12.2805	Hydroperoxide, 1-methylpentyl	88.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H14O2	NIST14.L				411461.7
12.2207	Benzene, propyl-	93.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C9H12	NIST14.L				540074.1
11.8745	Hydroperoxide, 1-ethylbutyl	86.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H14O2	NIST14.L				303839.1
11.3177	But-1-ene-3-yne, 1-ethoxy-	82.9	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H8O	NIST14.L				57062.5
10.9983	2-Hexanone, 3,4-dimethyl-	76.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H16O	NIST14.L				2433791.9
10.7600	2-Butanol, 1-methoxy-	76.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H12O2	NIST14.L				28344.3
10.4865	(3-Methyl-oxiran-2-yl)-methanol	78.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C4H8O2	NIST14.L				238263.7
10.3378	Tetrahydrofuran, 2,2-dimethyl-	78.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H12O	NIST14.L				2945067.3
10.2769	Ethanol, 2-butoxy-	78.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H14O2	NIST14.L				3293333.1
10.2162	2-Acetyl-2-methyltetrahydrofuran	77.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C7H12O2	NIST14.L				908091.1
9.9965	(2-Methyloxan-2-yl)methanol	75.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C7H14O2	NIST17.L				150887.0
9.7813	o-Xylene	99.1	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H10	NIST14.L				2309212.5
8.9186	o-Xylene	99.0	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H10	NIST14.L				4042116.0
8.7958	2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	86.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H8O3	NIST17.L				381633.1
8.6441	Ethylbenzene	96.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H10	NIST14.L				1584174.4
Component RT	Compound Name	Match Factor	Best Hit	Formula	Library File	Area %	CAS#	Area % Max.	Base Peak Area
8.6438	Benzene, 1,3-dimethyl-	96.8	<input checked="" type="checkbox"/>	C8H10	NIST14.L				1584163.3
7.6261	Furfural	88.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H4O2	NIST14.L				193783.9
7.3071	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	88.3	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H18O3Si3	NIST14.L				85994.2
7.0497	1,3-Butadiene, 1-(methylthio)-	79.4	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H8S	NIST14.L				43546.1
6.6683	Cyclobutanone, 2-methyl-4-hydroxy-	85.2	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H8O2	NIST14.L				150884.8
6.5366	Amylene hydrate	75.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H12O	NIST14.L				146477.9
6.3981	Methyl Isobutyl Ketone	96.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H12O	NIST17.L				724526.2
6.2994	Acetaldehyde, propylhydrazone	84.6	<input checked="" type="checkbox"/>	C5H12N2	NIST17.L				188714.0
6.2982	3-Hexanone	89.7	<input checked="" type="checkbox"/>	C6H12O	NIST14.L				188714.0