

# BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS PRINCIPAIS CONSTITUINTES

## SOBRE *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

por

MAYARA FERNANDES DOS SANTOS

Sob Orientação do Professor Cláudio Augusto Gomes da Camara - UFRPE

### RESUMO

Os compostos bioativos presentes no metabolismo secundário das plantas possuem potencial inseticida. *Lipaphis pseudobrassicae* é praga específica de plantas da família Brassicaceae, causando danos diretos e indiretos. O manejo dessa praga requer métodos de controle eficientes. Os objetivos desse trabalho foram caracterizar a composição química dos óleos essenciais (OEs) de *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* e *Citrus reticulata*, avaliar a atividade aficida, repelente, efeito inibitório enzimático e subletais dos OEs e seus constituintes majoritários (CM) sobre *L. pseudobrassicae*. Os OEs foram identificados através de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM). (*E*)-nerolidol 94,44%, carvacrol 69,11% e limoneno 90,24% foram os CM dos OEs de *M. leucadendra*, *L. gracilis* e *C. reticulata*, respectivamente. Os OE e os CM foram submetidos a testes de toxicidade via contato tópico, atividade inibitória sobre Acetilcolinesterase (AChE) avaliada pelo teste colorimétrico de Ellman e teste de repelência com dupla chance de escolha. Os efeitos subletais foram observados a partir do desenvolvimento de ninfas de primeiro instar (N1) tratadas topicamente com CL<sub>30</sub> de *M. leucadendra* e (*E*)-nerolidol. A maior toxicidade foi observada para *M. leucadendra* (CL<sub>50</sub> 36,85µl.mL<sup>-1</sup>) seguida por *L. gracilis* (52,33µl.mL<sup>-1</sup>) e limoneno (81,11µl.mL<sup>-1</sup>). Todas os OEs e CM testados foram

repelentes para *L. pseudobrassicae*, assim como foram inibitórios para a enzima AChE com destaque para *L. gracilis* (CI 1,83±0,83) e carvacrol (CI 2,29±1,86). (*E*)-nerolidol reduziu significativamente os períodos reprodutivo, longevidade adulta, fecundidade total, ciclo biológico, sobrevivência, reprodutividade líquida ( $R_0$ ), crescimento intrínseco ( $r_m$ ) e aumento finito ( $\lambda$ ), enquanto *M. leucadendra* prolongou a longevidade adulta e tempo entre geração (T) causando hormese a *L. pseudobrassicae*. Os OEs e compostos aqui investigados demonstraram potencial contra afídeo em Brassicaceae, contudo outras pesquisas detalhando a atuação comportamental, enzimática, modo de ação e sobre insetos benéficos dessas moléculas são importantes para melhor visão de futuros formulados contendo esses compostos bioativos.

PALAVRAS-CHAVE: Efeitos subletais, afídeos, Acetilcolinesterase, *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis*, (*E*)-nerolidol, carvacrol, limoneno.

# BIOACTIVITY OF ESSENTIAL OILS AND THEIR MAIN CONSTITUENTS ON

*Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

por

MAYARA FERNANDES DOS SANTOS

Sob Orientação do Professor Cláudio Augusto Gomes da Camara

## ABSTRACT

The bioactive compounds present in the secondary metabolism of plants have high insecticidal potential. *Lipaphis pseudobrassicae* is a specific pest of plants of the Brassicaceae Family, causing direct and indirect damage. The management of this pest requires efficient control methods. The objectives of this research were to characterize the chemical composition of essential oils (EOs) from *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* and *Citrus reticulata*, to evaluate the aphid activity, repellent, enzymatic inhibitory and sublethal effects of EOs and their major constituents (MC) on *L. pseudobrassicae*. The EO were identified through Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC/MS). (*E*)-nerolidol 94.44%, carvacrol 69.11% and limonene 90.24% were the MC of the EOs of *M. leucadendra*, *L. gracilis* and *C. reticulata*, respectively. The EO and CM were submitted to toxicity tests via topical contact, inhibitory activity on Acetylcholinesterase (AChE) evaluated by the Ellman colorimetric test and repellency test with double choice. Sublethal effects were observed from the developing first instar nymphs (N1) treated topically with *M. leucadendra* CL<sub>30</sub> and (*E*)-nerolidol. The highest toxicity was observed for *M. leucadendra* (LC<sub>50</sub> 36.85µl.mL<sup>-1</sup>) followed by *L. gracilis* (52.33µl.mL<sup>-1</sup>) and limonene (81.11µl.mL<sup>-1</sup>). All EO and CM tested were repellent for *L. pseudobrassicae*, as well as inhibitory for the AChE enzyme, especially for *L. gracilis* (IC

1.83±0.83) and carvacrol (IC 2.29±1.86). (*E*)-nerolidol significantly reduced reproductive periods, adult longevity, total fecundity, life cycle, survival, net reproductiveness ( $R_0$ ), intrinsic growth ( $r_m$ ) and finite increase ( $\lambda$ ), while *M. leucadendra* prolonged adult longevity and time between generation (T) causing hormesis to *L. pseudobrassicae*. The EOs and compounds investigated here demonstrated potential against aphids in Brassicaceae, however other research detailing the behavioral, enzymatic, mode of action and on beneficial insects of these molecules are important for a better vision of future formulations containing these bioactive compounds.

KEY WORDS: Sublethal effects, aphids, acetylcholinesterase, *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis*, (*E*)-nerolidol, carvacrol, limonene.

BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS PRINCIPAIS CONSTITUINTES

SOBRE *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

por

MAYARA FERNANDES DOS SANTOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Entomologia.

RECIFE - PE

Maio – 2023

BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS PRINCIPAIS CONSTITUINTES  
SOBRE *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

por

MAYARA FERNANDES DOS SANTOS

**Comitê de Orientação:**

Cláudio Augusto Gomes da Camara – UFRPE

Vaneska Barbosa Monteiro – PNPd/UFRPE

BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS PRINCIPAIS CONSTITUINTES

SOBRE *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

por

MAYARA FERNANDES DOS SANTOS

**Banca Examinadora:**

Cláudio Augusto Gomes da Camara – UFRPE

Kamilla de Andrade Dutra – SEE-PE

Marcilio Martins de Moraes – UFRPE

Solange Maria de França – UEMA

Vaneska Barbosa Monteiro – PNPd/UFRPE

---

Mayara Fernandes dos Santos  
Doutora em Entomologia

---

Prof. Cláudio Augusto Gomes da  
Camara– UFRPE  
Orientador

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S237b

Santos, Mayara Fernandes dos Santos

BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS PRINCIPAIS CONSTITUINTES SOBRE *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE) / Mayara Fernandes dos Santos Santos. - 2023.  
85 f. : il.

Orientador: Claudio Augusto Gomes da Camara.

Coorientadora: Vaneska Barbosa Monteiro.

Inclui referências e apêndice(s).

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, Recife, 2023.

1. efeitos subletais. 2. afídeos. 3. acetilcolinesterase. 4. *Melaleuca leucadendra*. 5. *Lippia gracilis*. I. Camara, Claudio Augusto Gomes da, orient. II. Monteiro, Vaneska Barbosa, coorient. III. Título

CDD 632.7

---

## DEDICATÓRIA

Dedico essa tese de doutorado e mais essa conquista aos meus pais, Antônio Leônidas Cardoso dos Santos e Maria Delfina Fernandes dos Santos;

Aos meus irmãos, Mayelle Fernandes dos Santos e Maycon Fernandes dos Santos e

A meu namorado, Marcos Victor Nunes Galvão.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, proteção, força e oportunidade de vivenciar e vencer essa fase importante da minha vida profissional.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), juntamente ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia (PPGE) por ter proporcionado a realização do meu doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante a execução do doutorado.

Aos meus pais, Antônio Leônidas dos Santos e Maria Delfina Fernandes dos Santos por acreditarem e me incentivarem a seguir meus sonhos e objetivos, pelo amor incondicional, apoio e por compreenderem minha ausência. Vocês sempre serão minha fonte de força, determinação e amor.

Aos meus irmãos, Mayelle Fernandes e Maycon Fernandes pelo amor, incentivo e apoio de sempre.

Ao meu namorado, Marcos Victor Nunes Galvão pelo incentivo e torcida desde o momento da seleção que com muito amor e paciência soube suportar a distância e quando possível pôde me ajudar com a execução dos experimentos.

Ao meu orientador, Prof. Cláudio Camara pela oportunidade de participar do Laboratório de Inseticidas Naturais (LABIQIN), pelos ensinamentos, conhecimentos compartilhados e confiança.

A minha co-orientadora, Dra. Vaneska Barbosa, pela valiosa e criteriosa orientação, que mesmo de licença maternidade esteve sempre a disposição, pela confiança, palavras de carinho e os doces compartilhados, além da amizade e respeito, construídos.

A minha colega de laboratório Carla Helena Maciel pela parceria no cotidiano do laboratório, execução de experimentos e pela amiga, amizade e cuidados ao longo dessa caminhada, tornando-a mais leve e doce com nossas sobremesas indispensáveis.

Aos colegas que fizeram e fazem parte do LABIQUIN, Vaneska, Carla Helena, Laysa, Donald, e Guilherme pela boa convivência, suporte com criações e experimentos, momentos felizes compartilhados com bolos e muitas risadas.

Ao Laboratório de Produtos Naturais Bioativos (LPNBio), em especial ao Prof Marcílio, Lucas Vitor, Alice e Carolina pelo auxílio na extração dos óleos essenciais, análises químicas, dúvidas sobre a área de produtos naturais e os momentos de distração no laboratório.

Ao Prof. Dr. Marcílio Martins que sempre se dispôs a tirar minhas dúvidas, pelo suporte e execuções nas análises químicas, conhecimentos compartilhados e pelos conselhos relevantes.

Aos professores e servidores que compõe o PPGE, por terem contribuído com conhecimentos e serviços importantes para a conclusão dessa etapa.

Aos colegas que o PPGE me proporcionou, em especial, Leidiane, Raphaela, Rian, Andrezo, Érica, Manoely, Nataly, Daniel, Raquel, Jéssika, Felipe, Aline Lira e Edinalda por compartilhar diversos momentos regados com lamentações, café, bolos e muitas risadas.

A Profª Solange França pelo incentivo e torcida durante a seleção de doutorado e pelo suporte quando cheguei em Recife.

Ao professor Douglas Rafael Barbosa pelo auxílio com as análises de tabela de vida e pela disponibilidade quando solicitado.

A todos que torceram e contribuíram de alguma forma para a realização dessa conquista, obrigada!

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                                         | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| DEDICATÓRIA .....                                                                                                                                                                                       | viii   |
| AGRADECIMENTOS .....                                                                                                                                                                                    | ix     |
| CAPÍTULOS                                                                                                                                                                                               |        |
| 1 INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                                      | 1      |
| LITERATURA CITADA.....                                                                                                                                                                                  | 7      |
| 2 TOXICIDADE, REPELÊNCIA E EFEITO ANTICOLINESTERÁSICO DE<br>DIFERENTES ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS CONSTITUINTES MAJORITÁRIOS<br>SOBRE <i>Lipaphis pseudobrassicae</i> (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE) ..... | 14     |
| RESUMO .....                                                                                                                                                                                            | 15     |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                                                          | 16     |
| INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                                                         | 17     |
| MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                                                                                                                                 | 19     |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                                                                                                                             | 24     |
| AGRADECIMENTOS.....                                                                                                                                                                                     | 32     |
| LITERATURA CITADA.....                                                                                                                                                                                  | 32     |
| 3 EFEITOS SUBLETAIS DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Melaleuca leucadendra</i> E (E)-<br>nerolidol SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE <i>Lipaphis pseudobrassicae</i> (DAVIS)<br>(HEMIPTERA: APHIDIDAE).....             | 47     |
| RESUMO .....                                                                                                                                                                                            | 48     |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                                                          | 49     |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO .....                | 50 |
| MATERIAL E MÉTODOS.....         | 52 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO.....     | 54 |
| AGRADECIMENTOS.....             | 61 |
| LITERATURA CITADA.....          | 61 |
| 4    CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... | 73 |

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira encontra-se entre os setores de importância significativa para a economia nacional (IBGE 2020). O Brasil dispõe de recursos e condições edafoclimáticas favoráveis, alta demanda por alimentos, uma vez que o país além de produzir o que consome, ainda consegue exportar boa parte da sua produção (Contini *et al.* 2010, Gasques *et al.* 2010, IBGE 2020).

As hortaliças são um grupo vegetal diversificado que se adaptam bem as condições ambientais brasileira. São plantas de curto ciclo de vida, fácil cultivo, podendo ser cultivado desde pequenas propriedades de agricultores familiares ou em consórcio com outras culturas (Vilela & Henz 2000). O cultivo de hortaliças é intensivo em mão de obra pelo reduzido uso de mecanização agrícola, o que gera empregos e fonte alternativa de renda em toda a cadeia produtiva, pois apresentam boa rentabilidade por área cultivada, fator relevante em espaços reduzidos (Vilela & Luengo 2017, Melo *et al.* 2017).

A família Brassicaceae abrange diversas espécies de hortaliças cultivadas no Brasil, desde sementes como a mostarda (*Brassica juncea*), inflorescência como couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) e folhas como repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) e couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) (Melo *et al.* 2017, Vilela & Luengo 2017). O cultivo de brassicas, sobretudo as folhosas são de grande importância socioeconômica, devido principalmente ao grande volume de produção e valor nutricional das culturas (IBGE 2017, Melo *et al.* 2017).

Dentre as Brassicaceae, a couve (*B. oleracea* var. *acephala*) destaca-se como uma das folhosas mais produzidas do país com uma produção anual de 343.127 toneladas utilizando cerca

de 71.400 propriedades rurais para cultivo (IBGE 2017). Essa cultura também tem grande relevância na alimentação humana principalmente por suas propriedades organolépticas e nutricionais. As folhas de couve são fontes de proteínas, carboidratos, cálcio, ferro, fibras, vitaminas e minerais, sendo consumida in natura no mercado nacional (Bevilacqua 2011, Korus 2012, Ligor *et al.* 2013, Samec *et al.* 2019) e ainda pode ser cultivada durante todo o ano em monocultura ou consórcio com outras culturas como batata, beterraba e cebola (Bevilacqua 2011, Melo *et al.* 2017).

Dentre as Brassicaceae, as folhosas são frequentemente atacadas por um complexo de pragas, como insetos da ordem Lepidoptera, exemplo curuquerê-da-couve (*Ascia monuste orseis* (Latr.)), traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella* L.), lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon* (Hufnagel)), lagarta-mede-palmo (*Trichoplusia ni* (Heub.)), broca-da-couve (*Hellula phidilealis* (Walker)) e Hemiptera representada por mosca-branca (*Bemisia tabaci* Biótipo B (Genn.)) e por afídeos, também conhecidos por pulgão como *Brevicoryne brassicae* (L.), *Myzus persicae* (Sulzer), *Lipaphis erysimi* (Kalt, 1843) e *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis), entre outras (Resende *et al.* 2006, Filgueira 2008, Furlong *et al.* 2013, Holtz *et al.* 2015). Esses insetos infestam as culturas em diferentes fases de crescimento, causando danos significativos durante todo o ciclo da planta (Holtz *et al.* 2015).

Os afídeos possuem ampla distribuição mundial, pois são pragas importantes pelo grande número de plantas hospedeiras que colonizam e pela rápida capacidade de proliferação, ocasionando danos diretos e indiretos à diversas plantas cultivadas no mundo (Blackman & Eastop 2000, 2007, Dedryver *et al.* 2010). Esses insetos formam colônias bastante numerosas, geralmente na face inferior das folhas de plantas hospedeiras (Liu & Sparks Jr. 2001). Os danos diretos provêm da sucção da seiva floemática através de seu estilete, causando deficiência nutricional das plantas, além da injeção de toxinas que podem induzir a má formação dos tecidos foliares, encarquilhamento de folhas e em casos mais severos a formação de galhas, o que pode levar a

morte de plantas jovens (Liu & Sparks Jr. 2001, Zawadneak *et al.* 2015, Moura *et al.* 2019). Os danos indiretos, são atribuídos a produção do “honeydew”, substância com alta concentração de açúcares excretada pelos pulgões que serve de substrato para o crescimento de fungos do gênero *Capnodium* sp. conhecido vulgarmente como fumagina, o que causa a redução da fotossíntese, pois o seu desenvolvimento se dá recobrindo as folhas, tornando-as impalatáveis, além de serem transmissores de viroses (Liu & Sparks Jr. 2001, Adhab & Schoelz 2015, Jayasinghe *et al.* 2021).

Embora os afídeos sejam insetos polípagos, a espécie *L. pseudobrassicae* conhecido como pulgão da mostarda ou pulgão do nabo, é uma praga específica da família Brassicaceae (Agarwala *et al.* 2009, Ali *et al.* 2018). O desenvolvimento e reprodução desse afídeo acontece rapidamente, podendo gerar grandes colônias em curto período de tempo, uma vez que as fêmeas se reproduzem predominantemente por partenogênese telítoca, sem a participação do macho, dando origem apenas descendentes fêmeas vivíparas ápteras e aladas e as ninfas produzidas pelas fêmeas adultas passam por quatro instares até a fase adulta em regiões de clima tropical como o Brasil (Liu & Sparks Jr 2001, Blackman & Eastop 2007, Blackman & Eastop 2007a).

A espécie de afídeo ainda possui dimorfismo alar, e são produzidos indivíduos ápteros e alados na mesma geração, sendo que a produção de fêmeas aladas é estimulada por alguns fatores, como densidade, qualidade do alimento, interação interespecífica, presença de inimigos naturais e fatores abióticos como temperatura e fotoperíodo (Liu & Sparks Jr., 2001, Braendle *et al.* 2006). Adultos de *L. pseudobrassicae* na forma áptera apresentam coloração verde amarelada, verde acinzentado ou verde oliva e possuem uma leve camada cerosa branca em seu corpo com comprimento que varia de 1,85 a 2,05mm contendo um par de sifúnculos levemente escurecido no final do dorso do abdome. As formas aladas têm coloração verde oliva e possuem dois pares de asas variando do transparente com extremidades escuras (Blackman & Eastop 2007).

O centro de origem e classificação de *L. pseudobrassicae* ainda é incerto, pois ao longo do tempo a espécie já recebeu várias nomenclaturas por diferentes autores. Primeiramente, essa espécie foi confundida com *B. brassicae* até em 1914 quando foi renomeada de *Aphis pseudobrassicae* por Davis ao notar diferenças entre as espécies. Adiante, em 1923, Takahashi a renomeou de *Ropalosiphum pseudobrassicae*, pois apresentava sifúnculos levemente clavados. Anos depois, até 1934, foi constatado por Börner, Schilder e Kaltenbach que essa espécie se alimentava apenas de Brassicaceae e era de origem paleártica, por tanto, foi nomeada novamente de *Lipaphis erysimi*. Entretanto, a partir de estudos morfológicos mais detalhados e considerando o número de cromossomos do gênero *Lipaphis*, a espécie *L. pseudobrassicae* foi considerada diferente de *Lipaphis erysimi* (Kalt.), pois a última apresenta dez cromossomos e tem sua ocorrência limitada a brassicas selvagens na Europa, enquanto que *L. pseudobrassicae* contém oito ou nove cromossomos e sua provável origem é no leste asiático. Dessa forma, é possível que todos os registros de ataque de *L. erysimi* a plantas cultivadas pelo mundo diz respeito a *L. pseudobrassicae* (Muller 1986, Blackman & Eastop 2000; 2007).

Devido a ampla distribuição de *L. pseudobrassicae*, o qual tem a capacidade de danificar suas plantas hospedeiras através da alimentação acarretando em prejuízos a cultura (Singh & Dhiman 2018), além de ser vetor de mais de dez tipos de viroses, como o anel preto da couve e os mosaicos de couve-flor (caulimovirus), do nabo (potyvirus) e rabanete (Blackman & Eastop 2007), o manejo e controle deste pulgão é de extrema importância para a proteção de plantas em regiões produtoras das culturas de Brassicaceae (Blackman & Eastop 2000).

O controle de afídeos em Brassicaceae é realizado, normalmente através da utilização de produtos químicos sintéticos (MAPA 2019) devido ao rápido e eficiente controle. No entanto, o uso frequente e inadequado desses produtos, sem respeitar a dose e intervalo recomendados ou rotação de ingredientes ativos, acarretam em desvantagens e prejuízos, como o aumento da

resistência de insetos contra várias moléculas, além de prejudicar espécies não-alvo e o meio ambiente (Swaran 1991, Castro 2009, Mpumi *et al.* 2020, Rajmohan *et al.* 2020). Contudo, não há inseticidas registrados pelo Ministério da Agricultura para o controle da espécie *L. pseudobrassicae* (MAPA 2019). Dessa maneira, são necessárias medidas eficientes de controle e adequadas para o manejo de populações de afídeos em cultivos de Brassicas.

O uso de produtos naturais na forma de extratos e óleos essenciais (OEs) extraídos de plantas vem sendo bastante estudado em virtude de suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, toxicológicas, inseticidas e baixa formação de resíduos que esses produtos apresentam. (Ali *et al.* 2010, Benelli *et al.* 2018, Ikbal & Pavela 2019, Silva *et al.* 2022). O Brasil possui uma grande diversidade de espécies vegetais (SiBBR 2022) que possuem propriedades inseticidas promissoras, sobretudo, aficidas para a utilização em formulações de inseticidas botânicos (Sampson *et al.* 2005, Ikbal & Pavela 2019). Dentre essas espécies, encontram-se os gêneros *Melaleuca* (Albouchi *et al.* 2018, Chohan *et al.* 2018, Ahmed *et al.* 2021), *Lippia* (Teixeira *et al.* 2014, Tia *et al.* 2021) e *Citrus* (Al-Antary *et al.* 2017, Chaieb *et al.* 2017).

Diversos estudos de bioprospecção relatam a atuação das diferentes espécies vegetais dos gêneros citados acima com forte potencial inseticida como o OE de *Melaleuca leucadendra* (L.) L. (Myrtaceae) (Silva *et al.* 2020), *Lippia gracilis* Schauer, (Verbenaceae) (Oliveira *et al.* 2022) e *Citrus reticulata* Blanco (Rutaceae) (Câmara *et al.* 2015), todos testados sobre larvas de uma importante praga das culturas da família Brassicaceae, *P. xylostella*. Os OEs de *M. leucadendra* e *L. gracilis* ainda possuem atividade antimicrobiana e acaricida comprovadas (França *et al.* 2020, Monzote *et al.* 2020, Silva *et al.* 2020) e a primeira também age como anti-inflamatório sendo usada como planta medicinal (Diallo *et al.* 2022). O desempenho dos OEs de vegetais pode estar relacionado a composição química que cada espécie de planta possui (Papachristos *et al.* 2004).

Os compostos químicos que constituem o mecanismo de defesa das plantas contra herbívoros (Taiz & Zeiger 2009) podem ser os fatores que determinam o potencial inseticida das espécies de plantas devido principalmente a presença de compostos fenólicos, terpenos ou terpenóides e alcaloides, os principais responsáveis pelas atividades fisiológicas e biológicas sobre artrópodes-praga (Gobbo-Neto & Lopes 2007, Ruttan 2010, Smith *et al.* 2018), caracterizando assim uma composição extremamente complexa de compostos bioativos dos OEs de plantas, que ainda são lipofílicos e voláteis, além de apresentarem constituintes majoritários, compostos mais abundantes presentes na composição dos OEs podendo ser utilizados isolados também (Koul *et al.* 2008, Fierascu *et al.* 2020).

Os compostos químicos orgânicos presentes nas espécies vegetais como os terpenos, são considerados o maior grupo de produtos naturais de plantas compreendendo os óleos, geralmente armazenados em células de óleo ou tricomas glandulares das plantas, sendo derivados do isopreno que contém 5 carbonos ( $C_5$ ) em sua estrutura, responsável por conferir o cheiro e sabor aos vegetais. Os terpenos ou terpenóides são classificados de acordo com o número de carbonos, os mais comuns são monoterpenos ( $C_{10}$ ), sesquiterpenos ( $C_{15}$ ), diterpenos ( $C_{20}$ ), triterpenos ( $C_{30}$ ), tetraterpenos ( $C_{40}$ ) e politerpenos ( $C_{50}$ ) (Ruttan 2010, Ukoroije & Otoyoy 2020).

Diferentes espécies vegetais ricas em compostos bioativos do grupo dos terpenos são relatadas a potencialidade contra insetos-praga (Abdelgaleil *et al.* 2020, Zhou *et al.* 2021, Alam *et al.* 2022), causando também efeitos subletais, com deterrencia alimentar, repelente, atraente, inibidores de reprodução, de crescimento, de desenvolvimento e supressor de oviposição (Menezes 2005, Adeyemi 2010, Muller 2017, Ukoroije & Otoyoy 2020, Yadav & Upadhyay 2022). Além disso, podem agir em rotas de ação metabólica inibindo a atuação de enzimas que agem no sistema nervoso, como a acetilcolinesterase (Jukic *et al.* 2007, Liu *et al.* 2021). As diferentes atividades atribuídas aos óleos essenciais, bem como seus compostos, provavelmente se

devem a sua complexa composição, pois a mistura desses compostos bioativos nos leva a pensar que esses atuam em sítios de ação diferenciados (Jankowska *et al.* 2017).

Segundo a teoria da coevolução entre plantas e insetos na natureza, na tentativa de se defender, os herbívoros tendem a desenvolver vários mecanismos contra compostos químicos por meio de adaptações biológicas como excreção, sequestro, biodegradação, mudança do sítio de ação, entre outros (Ryan & Byrne 1988, Li *et al.* 2007, Occhipinti 2013), entretanto torna-se necessário a realização de pesquisas que visam esclarecer o mecanismo de ação desses xenobióticos afim de estabelecer a forma de interação no organismo frente as táticas de defesas dos insetos.

A partir dos compostos extraídos de plantas, é possível a formulação de novos inseticidas botânicos, pois estes estão cada vez mais favorecendo plantas e animais e alguns setores onde os botânicos são mais propensos a competir com outros tipos de produtos inseticidas, além de serem considerados componentes importantes nas técnicas de manejo integrado de pragas há pelo menos duas décadas (Said-Al Ahl *et al.* 2017, Isman 2020). No entanto, relatos sobre a atuação de óleos essenciais e compostos vegetais contra *L. pseudobrasicae* ainda são limitadas. Logo, se faz necessário estudos para o desenvolvimento de inseticidas a partir de compostos bioativos de plantas, pois são considerados uma medida adequada para o manejo de pragas em plantas cultivadas (Smith *et al.* 2018, Ikbal & Pavela 2019, Isman 2020), principalmente para a proteção de brassicas contra afídeos.

### Literatura Citada

**Abdelgaleil, S.A.M., H.K. Abou-Taleb., N.M.A. Al-Nagar., M.S. Shawir. 2020.** Antifeedant, growth regulatory and biochemical effects of terpenes and phenylpropenes on *Spodoptera littoralis* Boisduval. Int. J. Trop. Insect. Sci, 40:423-433.

- Adhab, M.A & E. Schoelz. 2015.** Report of the turnip aphid, *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach, 1843) from Missouri, USA. J. Plant Prot. 55:327-328.
- Adeyemi, M.M.H. 2010.** The potential of secondary metabolites in plant material as deterrents against insect pests: A review. Afr. J. Pure Appl. Chem. 4:243-246.
- Agarwala, B.K., K. Das & P. Raychoudhury. 2009.** Morphological, ecological and biological variations in the mustard aphid, *Lipaphis pseudobrassicae* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae) from different host plants. J. Asia-Pac Entomol. 12: 169-173.
- Ahmed, Q., M. Agarwal., R. Al-Obaidi., P. Wang & Y. Ren. 2021.** Evaluation of Aphicidal Effect of Essential Oils and Their Synergistic Effect against *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Molecules. 26:3055.
- Al-Antary, T.M., I.H. Belghasem & S.A. Alaraj. 2017.** Evaluation of ecofriendly lemon oil against the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae) using four solvents. Fresenius Environ Bull 26:8298–8303.
- Albouchi, F., N. Ghazouani., R. Souissi., M. Abderrabba & S. Boukhris-Bouhachem. 2018.** Aphidicidal activities of *Melaleuca styphelioides* Sm. essential oils on three citrus aphids: *Aphis gossypii* Glover; *Aphis spiraecola* Patch and *Myzus persicae* (Sulzer). S. Afr. J. Bot. 117:149–154.
- Alam, T., G. Jilani., A.N. Chaudhry., M.S. Ahmad., R. Aziz & R. Ahmad. 2022.** Terpenes and phenolics in alcoholic extracts of pine needles exhibit biocontrol of weeds (*Melilotus albus* and *Asphodelus tenuifolius*) and insect-pest (*Plutella xylostella*). J. King Saud. Univ. Sci, 34:101913.
- Ali, A., P.Q. Rizvi & F.R. Khan. 2010.** Bio-efficacy of some plant leaf extracts against mustard aphid, *Lipaphis erysimi* kalt. on indian mustard, *Brassica juncea*. J. Plant Prot. Res. 50: 130-132.
- Ali, H.B. 2018.** Abundance of aphids (Homoptera: Aphididae) associated with Brassicaceae crops in Iraq. Biosci. Res. 2: 975-979.
- Benelli, G., R. Pavela, R. Petrelli, L. Cappellacci, A. Canale, S. Senthil-Nathan & F. Maggi. 2018.** Not just popular spices! Essential oils from *Cuminum cyminum* and *Pimpinella anisum* are toxic to insect pests and vectors without affecting non-target invertebrates. Ind. Crops. Prod. 124:236–243.
- Bevilacqua, H.E.C.R. 2011.** Rotação e consorciação de culturas, alelopatia, p.73-76. In H.E.C.R. Bevilacqua (ed.), Cultivo de hortaliças. São Paulo, Prefeitura de São Paulo, 85p.
- Blackman, R.L & V.F. Eastop. 2000.** Aphids on the World's Crops: An Identification and Information Guide. The Natural History Museum. John Wiley and Sons, Ltd., New York, 476p.

- Blackman, R.K. & V.F. Eastop. 2007.** Taxonomic issues, p.1-29. In: H. Van Emden & R. Harrington (eds.), *Aphids as crop pests*, 2ed. CABI Publishing, Wallingford. 679p. Disponível em: <[https://plu.mx/a/?cabi\\_abstract\\_id=20073203984](https://plu.mx/a/?cabi_abstract_id=20073203984)> Acessado em: maio de 2022.
- Blackman, R.L & V.F. Eastop. 2007a.** Aphids on the World's Plants: an online identification and information guide. Disponível em: <[http://www.aphidsonworldsplants.info/d\\_APHIDS\\_L.htm#Lipaphis](http://www.aphidsonworldsplants.info/d_APHIDS_L.htm#Lipaphis)> Acessado em: junho de 2022.
- Braendle, C., G. Davis., J. Brisson & D.L. Stern. 2006.** Wing dimorphism in aphids. *Heredity*. 97:192-199.
- Castro, V.L.S.S. 2009.** Uso de Misturas de Agrotóxicos na Agricultura e Suas Implicações Toxicológicas na Saúde. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.* 4: 87-94.
- Chaieb, I., K. Zarrad, R. Sellam, W. Tayeb, A.B. Hammouda, A. Laarif & S. Bouhachem. 2018.** Chemical composition and aphicidal potential of *Citrus aurantium* peel essential oils. *Entomol. Generalis*. 37:63–75.
- Chohan, T.A., T.A. Chohan., L. Zhou., Q. Yang., L. Min & H. Cao. 2018.** Repellency, Toxicity, Gene Expression Profiling and In Silico Studies to Explore Insecticidal Potential of *Melaleuca alternifolia* Essential Oil against *Myzus persicae*. *Toxins*. 10:425.
- Câmara, C.A.G., J.P.R Melo & M.M.C. Silva. 2015.** Insecticidal activity of *Melaleuca leucadendra* and *Citrus reticulata* essential oils against larvae of *Plutella xylostella*. *Rev. Protec. Veg.* 30: 39.
- Contini, E., J.G. Gasques., E. Alves & E.T. Bastos. 2010.** Dinamismo na Agricultura Brasileira. *Agric. Trop. Embrapa*. 42-64p.
- Dedryver, C.A., Le Ralec, A & F. Fabre. 2010.** The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies. *C. R. Biol.* 333:539–553.
- Diallo, A., Y. Tine., M. Sène., M. Diagne, A. Diop., S. Ngom., I. Ndoeye., C.SB. Boye., G.Y. Sy., J. Costa., A. Wélé & J. Paolini. 2022.** The essential oil of *Melaleuca leucadendra* L. (Myrtaceae) from Fatick (Senegal) as a source of methyleugenol. Composition, antibacterial and anti-inflammatory activities. *J. Essent. Oil Res.* 34:322-328.
- Fierascu, R. C., Fierascu, I. C., Dinu-Pirvu, C. E., Fierascu, I. & Paunescu, A. 2020.** The application of essential oils as a next-generation of pesticides: Recent developments and future perspectives. *Z. Naturforsch Sect. C*, 75: 183-204.
- Filgueira, F.A.R. 2008.** Brassicáceas: couves e plantas relacionadas, p. 279-299. In F.A.R. Filgueira (ed.), *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3ed. Viçosa, Editora UFV, 421p.

- Furlong, M.J., D.J. Wright, L.M. Dosdall. 2013.** *Diamondback* moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annu. Rev. Entomology*. 58: 517-541.
- França, K.R.S., F.M.F. Alves., T.S. Lima., A.L.S. Xavier., P.T.M. Azevedo., I.G. Araújo., L.P. Nóbrega., Y.F. Paiva., H.S. Barboza., A.F. Mendonça Júnior., A.P.M.S. Rodrigues & T.A.L. Cardoso. 2020.** In vitro fungitoxic potential of *Lippia gracilis* (Schauer) essential oil against phytopathogens. *Aust. J. Crop. Sci.* 14:667-6774.
- Gasques, J.G., J.E.R. Vieira Filho & Z. Navarro. 2010.** A Agricultura Brasileira: desempenho, desafios e perspectivas. IPEA. 298p.
- Gobbo-Neto, L & N.P. Lopes. 2007.** Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. *Quím. Nova*. 30: 374-381.
- Holtz, A.M., V.M. Rondelli., F.N. Celestino., L.R. Bestete & J.R. Carvalho. 2015.** Pragas das brassicas. Colatina: IFES, 230p.
- IBGE (Instituto Brasileiro De Pesquisa). 2017.** Produção agrícola municipal: Culturas temporárias e permanentes, v.43. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam\\_2016\\_v43\\_](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_)>. Acesso em: maio de 2022.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2020.** PAM-Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro, 47:1-8. (Documentos PAM 2020).
- Isman, M.B. 2020.** Bioinsecticides based on plant essential oils: a short overview. *Z. Naturforsch.* 75: 179-182.
- Ikbal, C & R, Pavela. 2019.** Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. *J. Pest. Sci.*
- Jankowska M., J. Rogalska., J. Wyszowska & M. Stankiewicz. 2017.** Molecular Targets for Components of Essential Oils in the Insect Nervous System-A Review. *Molecules*. 23:34.
- Jayasinghe, W.H., M.S. Akhter., K. Nakaharab & M.N. Maruthi. 2021.** Effect of aphid biology and morphology on plant virus transmission. *Pest. Manag. Sci.* 78: 416-427.
- Jukic, M., O. Politeo., M. Maksimovic & M. Milos. 2007.** In vitro acetylcholinesterase inhibitory properties of thymol, carvacrol and their derivatives thymoquinone and thymohydroquinone. *Phytother. Res.*, 21:259-26.
- Korus, A. 2012.** Amino acid retention and protein quality in dried kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala). *J. Food. Process. Preserv.* 38: 676-683.
- Koul, O., Walia, S. & Dhaliwal, G. S. 2008.** Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopest. Int.* 4: 63-84.

- Ligor, M., T. Trziszka & B. Buszewski. 2013.** Study of Antioxidant Activity of Biologically Active Compounds Isolated from Green Vegetables by Coupled Analytical Techniques. *Food. Anal. Methods.* 6: 630-636.
- Liu, T.X & A.N. Sparks Jr, 2001.** Aphids on Cruciferous Crops: Identification and Management. 12p. Disponível em: <<http://AgriLifebookstore.org>>. Acessado em maio de 2022.
- Liu, J., J. Hua., B. Gu., X. Guo., Y. Wang., M. Shao & S. Luo. 2021.** Insecticidal terpenes from the essential oils of *Artemisia nakaii* and their inhibitory effects on acetylcholinesterase. *Front. Plant. Sci.* 12: 720816.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários-Agrofit. 2019. Brasília. Disponível em:** <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)> Acessado em maio de 2022.
- Melo, R.A.C., L.P.C. Vendrame., N.R. Madeira., A.D. Blind & N.J. Vilela, 2017.** Caracterização e Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Brássicas nas Principais Regiões Produtoras Brasileiras. Brasília, Embrapa Hortaliças, 104p. (Documentos 157).
- Menezes, E.L.A. 2005.** Inseticidas Botânicos: Seus Princípios Ativos, Modo de Ação e Uso Agrícola. Seropédica. Embrapa Agrobiologia, 32p. (Documentos 205).
- Monzote, L., A.M. Scherbakov., R. Scull., P. Satyal., P. Cos., A.E. Shchekotikhin., L. Gille & W.N. Setzer. 2020.** Essential Oil from *Melaleuca leucadendra*: Antimicrobial, Antikinetoplastid, Antiproliferative and Cytotoxic Assessment. *Molecules.* 25:5514.
- Moura, A.P., J.A. Guimarães., J. Silva., I.M.R. Guedes & D.C.P. Leal. 2019.** Recomendações técnicas para o manejo de pragas em brassicáceas com vistas à produção integrada de hortaliças folhosas. Brasília, Embrapa Hortaliças, 32p. (Documentos 170).
- Müller, C. 2017.** Impacts of sublethal insecticide exposure on insects - Facts and knowledge gaps. *Basic. Appl. Ecol.* 30.
- Muller, F.P. 1986.** The role of subspecies in aphids for affairs of applied entomology. *J. Appl. Entomol.* 101: 295-303.
- Mpumi, N., R.S. Machunda., K.M. Mtei & P.A. Ndakidemi. 2020.** Selected Insect Pests of Economic Importance to *Brassica oleracea*, Their Control Strategies and the Potential Threat to Environmental Pollution in Africa. *Sustainability.* 12: 3824.
- Occhipinti, A. 2013.** Plant coevolution: evidences and new challenges. *J. Plant. Interact.* 8:188-196.

- Oliveira, J.J., E.M. Passos., R.M. Aragão., T.S. Santos., E.M.O. Cruz & M.C. Mendonça. 2022.** Control of diamondback moth with *Lippia gracilis* essential oil. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 57.
- Papachristos, D.P., K.I. Karamanoli., D.C. Stamopoulos & U. Menkissoglu-Spiroudi. 2004.** The relationship between the chemical composition of three essential oils and their insecticidal activity against *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Pest. Manag. Sci.* 60:514–520.
- Rajmohan, K.S., R. Chandrasekaran & S. Varjani. 2020.** A Review on Occurrence of Pesticides in Environment and Current Technologies for Their Remediation and Management. *Indian. J. Microbiol.* 60: 125-138.
- Resende, A.L.S., E.E. Silva., V.B. Silva., R.L.D, Ribeiro., J.G.M, Guerra., & E.L. Aguiar-Menezes. 2006.** Primeiro Registro de *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Hemiptera: Aphididae) e sua Associação com Insetos Predadores, Parasitóides e Formigas em Couve (Cruciferae) no Brasil. *Neotrop. Entomol.* 35: 551-555.
- Ruttan, R.S. 2010.** Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. *Crop. Prot.* 29: 913-920.
- Ryan, M.F & O. Byrne. 1988.** Plant-insect coevolution and inhibition of acetylcholinesterase. *J. Chem. Ecol.* 14: 1965-1975.
- Said-Al Ahl, H.A.H., W.M. Hikal & K.G. Tkachenko. 2017.** Essential Oils with Potential as Insecticidal Agents: A Review. *J. Environ. Plan. Manag.* 3: 23-33.
- Sampson B.J., N. Tabanca, N. Kirimer, B. Demirci, K.H.C. Baser, I.A. Khan, J.M. Spiers & D.E. Wedge. 2005.** Insecticidal activity of 23 essential oils and their major compounds against adult *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Aphididae: Homoptera). *Pest. Manag. Sci.* 61: 1122–1128.
- Samec, D., B. Urlić & B. Salopek-Sondi. 2019.** Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Crit. Ver. Food. Sci. Nutr.* 59: 2411-2422.
- SiBBR (Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira). 2022.** Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>>. Acesso em: junho de 2022
- Silva, M.M.C., C.A.G. Camara., M.M. Moraes., J.P.R. Melo., R.B. Santos & R.C.S. Neves. 2020.** Insecticidal and Acaricidal Activity of Essential Oils Rich in (*E*)-nerolidol from *Melaleuca leucadendra* Occurring in the State of Pernambuco (Brazil) and Effects on Two Important Agricultural Pests. *J. Braz. Chem. Soc.* 31: 813-820.
- Silva, M.E., K.S. Monteiro., P.S. Montes., C.A.G. Camara., M.M. Moraes., C.W. Fagg., D.F. Oliveira., E.F. Gris., I.C.R. Silva., L.C. Sá-Barreto & D.C. Orsi. 2022.** Chemical and

antibacterial properties of *Baccharis dracunculifolia* DC essential oils from different regions of Brazil. J. Essent. oil Res. 34:1-9.

**Singh, N & S. Dhiman, 2018.** Quality and Quantity Loss by Aphid Infestation in Vegetables Grown under Protected Cultivation in Ladakh Region. Def. Life Sci. J. 3: 71-74.

**Smith, G.H., J.M. Roberts & T.W. Pope. 2018.** Terpene based biopesticides as potential alternatives to synthetic insecticides for control of aphid pests on protected ornamentals. Crop. Protection. 110: 125-130.

**Swaran, D. 1991.** Periodic checking to detect development of resistance in mustard aphid, *Lipaphis erysimi* Kalt. to recommended insecticides used for more than two decades. J. Entomol. Res. 15: 88-92.

**Taiz, L & Zeiger, E. 2009.** Secondary Metabolites and Plant Defense, p. 342-372. In: L. Taiz and E. Zeiger (eds.), Plant Physiology, Sinauer Associates Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts U.S.A. 778p.

**Teixeira, M., M. Cardoso., A. Figueiredo., J. Moraes., F. Assis., J. Andrade., D. Nelson, M. Souza Gomes., J. de Souza & L. de Albuquerque. 2014.** Essential Oils from *Lippia origanoides* Kunth. and *Mentha spicata* L.: Chemical Composition, Insecticidal and Antioxidant Activities. Am. J. Plant. Sci. 5: 1181-1190.

**Tia, V.E., S. Gueu., M. Cissé., Y. Tuo., A.J. Gnago & E. Konan. 2021.** Bio-insecticidal effects of essential oil nano-emulsion of *Lippia multiflora* Mold. on major cabbage pests. J. Plant. Prot. Res. 61: 103-109.

**Ukoroije, R.B & R.A. Otoyoye. 2020.** Review on the Bio-insecticidal Properties of Some Plant Secondary Metabolites: Types, Formulations, Modes of Action, Advantages and Limitations. Asian. J. Res. Zool. 3: 27-60.

**Vilela, N.J & R.F.A. Luengo. 2017.** Produção de hortaliças folhosas no Brasil. Camp. Negóc. Horti. 10: 22-27.

**Vilela, N.J & G.P. Henz. 2000.** Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. CC&T. 17: 71-89.

**Yadav, N & R.K. Upadhyay. 2022.** Therapeutic and insecticidal potential of plant terpenes: A review. Int. J. Green Pharm. 16: 14-23.

**Zawadneak, M.A.C., J.M. Schuber., C. Medeiros & R.A. Silva. 2015.** Olericultura: pragas e inimigos naturais. Curitiba: SENAR, 26p. (Documentos PR 306).

**Zhou, L., C. Li., Z. Zhang., X. Li., Y. Dong & H. Cao. 2021.** Biological activity and safety evaluation of monoterpenes against the peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Int. J. Trop. Insect. Sci. 41: 2747-2754.

## CAPÍTULO 2

### TOXICIDADE, REPELÊNCIA E EFEITO ANTICOLINESTERÁSICO DE DIFERENTES ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS CONSTITUINTES MAJORITÁRIOS SOBRE *Lipaphis* *pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

MAYARA F. SANTOS<sup>2</sup>; CLAUDIO A.G. CAMARA<sup>3</sup>; VANESKA B. MONTEIRO<sup>2</sup> &  
MARCÍLIO M. MORAES<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Departamento de Fitossanidade, Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av.  
Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, PE –Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Química, Produtos Naturais, Universidade Federal Rural de Pernambuco.  
Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, PE –Brasil.

---

<sup>1</sup>Santos, M.F., C.A.G. Camara, V.B. Monteiro, M.M Moraes & C.H.M. Lima. Toxicity, Repellence and Anticholinesterasic effect of different essential oils and their majority constituents on *Lipaphis Psudebrasicae* (Davis) (Hemiptera: Aphididae). A ser submetido.

RESUMO – O afídeo *Lipaphis pseudobrassicae* é praga específica de Brassicaceae, onde não há produtos registrado para seu controle. O presente estudo objetivou caracterizar a composição química dos OEs de *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* e *Citrus reticulata*, bem como avaliar a atividade aficida, repelente e efeito inibitório enzimático desses OEs e seus constituintes majoritários sobre *Lipaphis pseudobrassicae*. Os constituintes majoritários identificados foram (*E*)-nerolidol (94,40%), carvacrol (69,11%) e limoneno (90,24%), para *M. leucadendra*, *L. gracilis* e *C. reticulata*, respectivamente. Os bioensaios de toxicidade foram realizados através da aplicação tópica dos OEs e constituintes diluídos sobre fêmeas. A preferência procedeu-se através de chance de dupla escolha com concentração subletal (CL<sub>10</sub> ou CL<sub>30</sub>) de cada produto e controle. Atividade inibitória sobre Acetilcolinesterase (AChE) foi avaliada pelo teste colorimétrico de Ellman. Todas as substâncias testadas foram mais tóxicas que o Azamax<sup>®</sup> (CL<sub>50</sub> 269,54 µl.mL<sup>-1</sup>) para *L. pseudobrassicae*, destacando *M. leucadendra* (CL<sub>50</sub> 36,85 µl.mL<sup>-1</sup>); *L. gracilis* (52,33 µl.mL<sup>-1</sup>) e limoneno (81,11 µl.mL<sup>-1</sup>). Também foram repelentes a *L. pseudobrassicae*, principalmente os OEs de *M. leucadendra* e *L. gracilis*, assim como inibiram a atividade da enzima AChE, sobretudo *L. gracilis* (CI 1,83±0,83) e carvacrol (CI 2,29±1,86). *M. leucadendra*, *L. gracilis*, (*E*)-nerolidol e limoneno foram os que mais se destacaram nas atividade aficida, repelentes e inibitória contra o pulgão *L. pseudobrassicae* e AChE, demonstrando potencial para novo controle dessa praga. No entanto, é importante estudos mais detalhados com efeitos subletais dessas substâncias, sobre a biologia e desenvolvimento desse afídeo e enzimáticos para melhor compreender a atuação destas.

PALAVRAS-CHAVE: toxicidade, repelência, acetilcolinesterase, afídeos, Brassicaceae, *Melaleuca leucadendra* e *Lippia gracilis*.

TOXICITY, REPELLENCE AND ANTICHOLINESTERASIC EFFECT OF DIFFERENT  
ESSENTIAL OILS AND THEIR MAJOR CONSTITUENTS ON *Lipaphis pseudobrassicae*  
(DAVIS) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)

**ABSTRACT** – The aphid *Lipaphis pseudobrassicae* is a specific pest of Brassicaceae, where there are no products registered for its control. The present study aimed to characterize the chemical composition of EOs from *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* and *Citrus reticulata*, as well as to evaluate the aphid, repellent activity and enzyme inhibitory effect of these EOs and their major constituents on *Lipaphis pseudobrassicae*. The major constituents identified were (*E*)-nerolidol (94.4%), carvacrol (69.11%) and limonene (90.24%), for *M. leucadendra*, *L. gracilis* and *C. reticulata*, respectively. Toxicity bioassays were performed by topical application of EOs and diluted constituents on females. The preference proceeded through chance of double choice with sublethal concentration (LC<sub>10</sub> or LC<sub>30</sub>) of each product and control. Inhibitory activity on Acetylcholinesterase (AChE) was evaluated by the Ellman colorimetric test. All substances tested were more toxic than Azamax<sup>®</sup> (LC<sub>50</sub> 269.54µl.mL<sup>-1</sup>) for *L. pseudobrassicae*, highlighting *M. leucadendra* (LC<sub>50</sub> 36.85µl.mL<sup>-1</sup>); *L. gracilis* (52.33µl.mL<sup>-1</sup>) and limonene (81.11µl.mL<sup>-1</sup>). They were also repellent to *L. pseudobrassicae*, mainly the EOs of *M. leucadendra* and *L. gracilis*, as well as inhibiting the activity of the AChE enzyme, mainly *L. gracilis* (IC 1.83±0.83) and carvacrol (IC 2.29 ±1.86). *M. leucadendra*, *L. gracilis*, (*E*)-nerolidol and limonene were the ones that stood out the most in the aphid, repellent and inhibitory activities against the aphid *L. pseudobrassicae* and AChE, demonstrating potential for new control of this pest. However, more detailed studies with sublethal effects of these substances on the biology and development of this aphid and enzymes are important to better understand their performance.

**KEY WORDS:** Toxicity, repellency, acetylcholinesterase, aphids, Brassicaceae, *Melaleuca leucadendra* e *Lippia gracilis*.

## Introdução

O cultivo da couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) é afetado pela presença de insetos-praga sugadores que provocam injúrias e danos ao se alimentarem dessas plantas (Melo *et al.* 2017, Ali 2018, Moura *et al.* 2019, Fening *et al.* 2020). Dentre as espécies de afídeos que atacam a família Brassicaceae, a cosmopolita *Lipaphis pseudobrassicæ* (Davis) está associada a cultura da couve (Resende *et al.* 2006, Sampaio *et al.* 2017), o que pode gerar grandes prejuízos quantitativos e qualitativos à cultura (Singh & Dhiman 2018).

A espécie *L. pseudobrassicæ* se alimenta especificamente da família Brassicaceae (Agarwala *et al.* 2009, Ali 2018), onde ninfas e adultos sugam continuamente a seiva dos tecidos floemáticos das plantas em diferentes estágios de crescimento tornando-as onduladas e murchas, causando danos diretos através da alimentação. Esses afídeos também provocam danos indiretos, pois são considerados vetores de vários vírus não persistentes e ainda produzem “honeydew”, uma excreção açucarada que serve de substrato para o crescimento de uma espécie de fungo conhecido como fumagina, a qual recobre a superfície foliar diminuindo a área fotossintética (Blackman & Eastop 2007, Sampaio *et al.* 2017).

O controle de populações de afídeos em Brassicaceae geralmente é realizado através do método químico utilizando inseticidas sintéticos de amplo espectro (MAPA 2019, Khan *et al.* 2017, Zafar & Khan 2018, Mpumi *et al.* 2020), pois promovem uma resposta rápida. No entanto, ainda não há inseticidas registrados para o controle de *L. pseudobrassicæ* nas culturas de Brassicas (MAPA 2019). Assim, o uso de inseticidas botânicos, como óleos essenciais e seus componentes, pode ser considerado um método de controle promissor para o manejo de pragas de Brassicaceae (Filomeno *et al.* 2017, Amoabeng *et al.* 2018, Mayanglambam *et al.* 2021).

Os óleos essenciais (OEs) extraídos de plantas são conhecidos por suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, toxicológicas, anticolinesterásicas e baixa formação de resíduos

(Benelli *et al.* 2018, Ikbal & Pavela 2019) e apresentam uma composição extremamente complexa a partir de compostos químicos e metabólitos secundários (Koul *et al.* 2008, Fierascu *et al.* 2020). Esses constituintes compõem o mecanismo de defesa das plantas contra herbívoros devido, principalmente, a presença de terpenos e seus derivados, os quais atribuem as atividades biológicas e fisiológicas como toxicidade, repelência e desenvolvimento irregular contra artrópodes-praga (Menezes 2005, Taiz & Zeiger 2009, Ruttan 2010, Sendi & Ebadollahi 2013). Dessa maneira, os OEs, assim como seus constituintes fornecem possibilidades de substâncias ativas para a formulação de novos inseticidas botânicos.

Atividades neurotóxicas também são atribuídas aos OE e componentes químicos (Jankowska *et al.* 2017), como a inibição da Acetilcolinesterase-AChE (Jukic *et al.* 2007, Lopez & Pascual-Villalobos 2010, Liu *et al.* 2021 Georgiev *et al.* 2022), importante enzima do sistema nervoso responsável por catalisar a quebra do neurotransmissor acetilcolina, impedindo a transmissão do impulso nervoso (Kim *et al.* 2006). Os inibidores, sejam sintéticos ou naturais se ligam a AChE, impedindo a união com a acetilcolina e consequente hidrólise, fazendo com que o neurotransmissor fique mais ativo por um tempo maior (Lu *et al.* 2013). Chaubey 2019, destaca que o desempenho que essas substâncias botânicas promovem sobre insetos-pragas sugerem modos de ação neurotóxico equivalente aos inseticidas sintéticos.

Diversos estudos de diferentes espécies vegetais comprovam propriedades inseticidas, sobre afídeos (Sampson *et al.* 2005, Ikbal & Pavela 2019), assim como já foi comprovado essa atividade para espécies dos gêneros *Melaleuca* (Albouchi *et al.* 2018, Ahmed *et al.* 2021), *Lippia* (Teixeira *et al.* 2014, Tia *et al.* 2021) e *Citrus* (Al-Antary *et al.* 2017, Chaieb *et al.* 2017). O OE de *Melaleuca leucadendra* (L.) L. (Silva *et al.* 2020), *Lippia gracilis* Schauer (Oliveira *et al.* 2022) e *Citrus reticulata* Blanco (Câmara *et al.* 2015) são eficazes contra larvas de *Plutella xylostella* L., uma importante praga de Brassicaceae. Ainda, *M. leucadendra* e *L. gracilis* possuem atividade

antimicrobiana (França *et al.* 2020, Monzote *et al.* 2020) e a primeira, usada como planta medicinal também atua como anti-inflamatório (Diallo *et al.* 2022).

Portanto, o presente estudo teve como objetivos caracterizar a composição química dos óleos essenciais de *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* e *Citrus reticulata*, bem como avaliar a atividade aficida e repelente sobre *L. pseudobrassicae* e determinar as Concentrações de Inibição média (CI<sub>50</sub>) da atividade da enzima Acetilcolinesterase para esses óleos essenciais e seus constituintes majoritários.

### **Material e Métodos**

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Investigação Química de Inseticidas Naturais (LABIQIN) do Departamento de Agronomia e no Laboratório de Produtos Naturais Bioativos (LNPBio) do Departamento de Química, ambos localizados na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

**Coleta e Criação de Insetos em Casa de Vegetação.** Para iniciar a criação, foram coletados aproximadamente cem indivíduos da espécie *L. pseudobrassicae* em plantas de couve folha (*B. oleracea* var. *acephala*) na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Entomologia (PPGE) no Departamento de Fitossanidade da UFRPE. A identificação dos insetos foi confirmada pelo Prof. Dr. Marcus Vinícius Sampaio da Universidade Federal de Uberlândia-UFU. A criação de *L. pseudobrassicae* foi mantida em plantas de couve dentro de gaiolas com telas antiafídicas (1x1,20x0,60 m), sobre bancada no interior de casa de vegetação sob condições de temperatura média 30±5° C e 55±5% UR registradas por um termohigrógrafo e Fotoperíodo natural (±12h) (adaptado de Fonseca *et al.* 2003). As sementes de couve manteiga foram semeadas em bandejas de isopor (272x280 mm e 64 células), contendo o substrato do tipo “terra preparada” composta por terra vegetal, esterco animal, pó de coco e pó de carvão, adquirida em lojas de produtos

agropecuários em Recife-PE. Após 20 dias da semeadura as mudas foram transferidas para vasos com capacidade de 3L contendo o mesmo substrato. Foi realizado o plantio semanalmente para obtenção de plantas adequadas para a manutenção da criação e quando necessário as colônias de pulgões foram transferidas para novas plantas.

**Obtenção dos Óleos Essenciais, Compostos Majoritários e Inseticidas.** A obtenção dos óleos essenciais (OEs) de *M. leucadendra* e *L. gracilis* procedeu-se através da coleta do material vegetal de ambas as espécies no Campus da UFRPE (80 01'08" S 34056'43" W) autorizada pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do estado de Pernambuco e do Instituto Chico Mendes (ICMBio). A identificação das espécies vegetais coletadas foi confirmada pela Dra. Maria Rita Cabral Sales de Melo do Departamento de Biologia da UFRPE e uma exsicata de cada espécie foi depositada no herbário Vasconcelos Sobrinho, da UFRPE. Os Óleos Essenciais foram obtidos das folhas frescas de *L. gracilis* e *M. leucadendra* submetidas à técnica de hidrodestilação por 2h em aparelho tipo Clevenger modificado, separados da água por diferença de densidade e após secos com sulfato de sódio anidro. Após a extração, os OEs foram armazenados em frascos de vidros âmbar sob refrigeração (-5°C) para uso posterior. O OE de *C. reticulata* extraído a partir da casca dos frutos, bem como os constituintes majoritários dos OEs foram adquiridos da empresa Sigma-Aldrich Brasil ou Ferquima Ind. e Com. Ltda. Os óleos essenciais e constituintes foram armazenados em ambiente adequado e recomendado com o objetivo de manter a integridade química para o uso posterior. O inseticida botânico Azamax<sup>®</sup> (12 g/L 1,2% m/m -E.I.D. Parry) com o princípio ativo azadiractina e os inseticidas químicos sintéticos Keshet 25 EC<sup>®</sup> (25 g/L 2,5% m/v) com princípio ativo deltametrina, Malathion<sup>®</sup> 1000 EC Cheminova com ingrediente ativo malationa (1000g/L 100% m/v) e o Lannate<sup>®</sup> BR (215g/L 21,5% m/v) com ingrediente ativo metomil, os dois últimos foram usados apenas como controle positivo para atividade da inibição

enzimática e todos foram adquiridos em lojas autorizadas para comercialização de produtos fitossanitários em Recife-PE.

**Análise e Identificação Química dos Constituintes dos Óleos Essenciais.** Foi realizada a análise química por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG/EM) dos OEs de acordo com a metodologia descrita por Adams (2017) para identificar os constituintes majoritários dos OEs de *M. leucadendra*, *L. gracilis* e *C. reticulata*. Este procedimento foi realizado na Central Analítica do Departamento de Química da UFRPE. Os OEs foram analisados com auxílio do CG/EM Varian 220-MS It Mass Spectrometer equipado com coluna de capilaridade com sílica fundida (30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu$ m). Um volume de 1  $\mu$ L de uma solução de 1mg mL<sup>-1</sup> de cada óleo foi injetada no equipamento em split 1:30 com temperatura da coluna programada para 60 °C até 240 a 3 °C min<sup>-1</sup>. As temperaturas do injetor e detector foram de 240 °C e 260 °C, respectivamente e o carreador gasoso foi o hélio, fluxo de 1,0 mL min<sup>-1</sup>, sendo o espectro 14 de massa obtido à 70 eV. A identificação dos constituintes dos OEs foi realizada com base na comparação dos índices de retenção calculados, segundo a equação de Van den Dool & Kratz (1963), para cada componente do óleo com os disponíveis na literatura (Adams 2017), seguida pela comparação do fragmentograma de padrões de massas gerados no relatório dos óleos para cada componente com aqueles fragmentogramas de massas disponíveis na biblioteca do computador e os reportados na literatura (Wiley 2014, com 250.000 compostos). Para obtenção dos índices de retenção foi coinjetado uma amostra de cada óleo essencial com a mistura de hidrocarbonetos lineares C7-C40.

**Bioensaio de Toxicidade de Óleos Essenciais e Constituintes Majoritários Sobre *L. pseudobrassecæ*.** Os bioensaios de toxicidade foram realizados através de aplicação tópica de 2  $\mu$ L das concentrações diluídas dos óleos e constituintes com auxílio de pipeta automática sobre cada fêmea adulta áptera de *L. pseudobrassecæ* (adaptado de Mohamad *et al.* 2013). Foram

preparadas sete concentrações de cada OE que variou de 1 a 90  $\mu\text{L.mL}^{-1}$  para *M. leucadendra* e *L. gracilis*, para *C. reticulata* foi de 0,5 a 90  $\mu\text{L.mL}^{-1}$ , enquanto que os constituintes majoritários foram necessários de 1 a 120  $\mu\text{L.mL}^{-1}$ , todos diluídos em 1% de etanol, 0,5% de wil fix, espalhante adesivo e água destilada (as concentrações e solventes foram definidos mediante testes preliminares). Para cada concentração e controle foram utilizadas dez fêmeas de idade conhecida e, posteriormente, acomodadas em placas de Petri plásticas (5 cm Ø) com aeração na tampa contendo disco de papel filtro úmido (5 cm Ø) e disco de folha de couve (3,5 cm Ø) limpo como substrato alimentar. As placas de Petri foram vedadas com filme plástico e mantidas em sala climatizada sob as condições de  $25\pm 2$  °C,  $70\pm 10\%$  UR e fotoperíodo de 12h. A avaliação de mortalidade ocorreu 24h após a exposição. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com duas repetições em triplicada. Os resultados foram comparados com dois controles positivos, o inseticida botânico Azamax<sup>®</sup>, o inseticida químico sintético Keshet 25 EC<sup>®</sup> e um controle negativo (água destilada, 1% de etanol e 0,5% de wil fix, espalhante adesivo). Os dados de mortalidade para determinar as concentrações subletais CL<sub>10,30</sub> e letais CL<sub>50</sub> com intervalos de confiança de 95% foram analisados pelo protocolo Probit (Finney 1971) através do Polo-Plus<sup>®</sup> software (LeOra Software, Berkeley, CA, USA).

**Bioensaios de Preferência de *L. pseudobrassicae* aos Óleos Essenciais e Constituintes Majoritários.** Para avaliar a preferência de *L. pseudobrassicae*, foram realizados bioensaios com chance de escolha usando discos de folha de couve (3,5 cm Ø) como substrato alimentar. Um disco foliar foi tratado com as concentrações subletais CL<sub>10</sub> ou CL<sub>30</sub> de cada OE, dos constituintes majoritários, Azamax<sup>®</sup> e Keshet 25 EC<sup>®</sup> estimadas no teste de toxicidade e o outro disco tratado com o controle (água destilada, 1% de etanol e 0,5% de wil fix, espalhante adesivo). Esses discos foram mergulhados durante 10 segundos em soluções contendo a CL<sub>10</sub>, CL<sub>30</sub> ou controle e secos em temperatura ambiente por 30 minutos, após foram colocados em placas de Petri (5 cm Ø) com

aeração na tampa, sobrepostos em discos de papel filtro umedecido com água destilada. Os discos foliares foram interligados por uma lâmina de papel pvc (24x32 mm), onde dez fêmeas adultas ápteras foram liberadas. Após 1, 3, 6, 24 e 48 horas foram verificadas a preferência por cada tratamento através do número de insetos adultos que se encontrava em cada disco. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado contendo dez repetições para cada concentração subletal de cada produto. Os dados de preferência foram submetidos ao teste *t* ou Mann-Whitney U ( $P<0,05$ ) para comparação de médias através do software SigmaPlot versão 12.0.

**Determinação da Inibição da Atividade Enzimática da Acetilcolinesterase-AChE.** A atividade inibitória da Acetilcolinesterase foi determinada quantitativamente pelo método descrito por Ellmann (1961) com modificações, utilizando um leitor de microplacas ELISA EZ Read 2000. Em microplacas de 96 poços, foram utilizados por poço: 50µL de tampão fosfato (50mM pH 7,4), 125µL de ácido ditionitrobenzólico (DTNB) (3mM em tampão fosfato 50mM pH 8), 25µL de Acetilcolinesterase (AChE de enguia elétrica) (1 U/mL em tampão fosfato 50mM pH 7,4) adquirida da empresa Sigma-Aldrich Brasil e 25µL de cada OE, constituinte majoritário e inseticida, todos diluídos em água destilada, 1% de etanol e 0,1% de wil fix, espelhante adesivo ou apenas água destilada para os inseticidas sintéticos e após foram incubados por 15 min a 25°C. Em seguida, foi adicionado 25µL de iodeto de acetiltiocolina (ATChI) (15mM em tampão fosfato 50mM pH 7,0) como substrato, e medida a atividade de inibição de AChE com absorbância a 405nm a cada 13 segundos por cinco ciclos. Os OEs utilizados como tratamento, foram *M. leucadendra*, *L. gracilis*, *C. reticulata* e os compostos (*E*)-nerolidol, carvacrol e limoneno. O padrão utilizado como controle positivo foi cloridrato de donepizila e mais os inseticidas comerciais Malathion® 1000 EC (Organofosforado) e Lannate® BR (Carbamato), ambos, inibidores de AChE. As diluições dos tratamentos e controles utilizados nas avaliações quantitativas em microplacas foram as seguintes: 100µl/ml; 50µl/mL; 25µl/mL; 12,5µl/mL; 6,25µl/mL; 3,12µl/mL; 1,56µl/mL e

0,78µl/mL. Todos os tratamentos foram analisados em triplicata e calculadas as concentrações que causaram 50% de inibição da atividade de AChE (CI<sub>50</sub>) pelo programa estatístico GraphPad Prism v7.01.

## Resultados

**Análise e Identificação Química dos Constituintes dos Óleos Essenciais.** Na análise de identificação química, o OE de *M. leucadendra* apresentou nove constituintes, sendo o (*E*)-nerolidol considerado majoritário com uma porcentagem de 94,44%, representando a grande maioria da composição total (95,96%) desse OE. Já para o OE de *L. gracilis* foram registrados dezesseis constituintes, onde o carvacrol (69,11%) seguido do timol (11,98%) foram os compostos majoritários e no OE de *C. reticulata* foram identificados nove constituintes, sendo que o predominante foi o limoneno com 90,24%. A composição do OE de *M. leucadendra* é rica em sesquiterpenos, maior parte (95,44%), enquanto que *L. gracilis* os monoterpenos são predominantes (89,75%) e exclusivos em *C. reticulata* (98,6%) (Tabela 1).

**Bioensaio de Toxicidade dos Óleos Essenciais e Constituintes Majoritários Sobre *L. pseudobrassicae*.** Foram estimadas concentrações subletais (CL<sub>10</sub> e CL<sub>30</sub>) e letais médias (CL<sub>50</sub>) para os OEs e constituintes majoritários. As concentrações que causaram 50% de mortalidade em *L. pseudobrassicae*, seguidos de seus respectivos intervalos de confiança (IC95%), foram 36,85 µl.mL<sup>-1</sup> (29,06-42,42) para *M. leucadendra*, 52,33 µl.mL<sup>-1</sup> (45,11-47,15) *L. gracilis*, 57,98 µl.mL<sup>-1</sup> (45,75-70,43) carvacrol, 66,32 µl.mL<sup>-1</sup> (60,98-70,46) (*E*)-nerolidol, 68,56 µl.mL<sup>-1</sup> (61,95-74,69) *C. reticulata* e 81,11 µl.mL<sup>-1</sup> (75,39-86,55) limoneno. Quando comparados ao controle positivo Azamax<sup>®</sup>, cujo a CL<sub>50</sub> foi 269,54 µl.mL<sup>-1</sup> (226,81-346,51), todos os OEs e constituintes foram mais tóxicos segundo a ordem da razão de toxicidade (RT), *M. leucadendra* foi 7,32 vezes mais tóxico, seguido de *L. gracilis* 5,15 e limoneno 3,32 vezes. Para os compostos carvacrol e (*E*)-nerolidol e o

OE *C. reticulata* não houve diferença estatística devido a sobreposição dos seus intervalos de confiança, mas os dois compostos foram diferentes do limoneno. No entanto, o outro controle positivo Keshet 25 EC® obteve CL<sub>50</sub> igual a 0,269 µL.mL<sup>-1</sup> (0,244-0,298) e RT 1002,00 (Tabela 2).

**Bioensaios de Preferência de *L. pseudobrassicae* aos Óleos Essenciais e Constituintes Majoritários.** Todos os OEs, constituintes e controles positivos utilizados foram repelentes a *L. pseudobrassicae* tratados com a CL<sub>10</sub>, pois os afídios preferiam os discos não tratados as 1, 3, 6, 24 e 48h após a exposição, exceto para Keshet 25 EC® em 1 e 3h quando não houve repelência (Fig. 1). Ao utilizar as CL<sub>30</sub>, não houve diferença estatística para a preferência entre os discos tratados e o controle apenas as 3h após a exposição para *M. leucadendra* e *C. reticulata* e as 1h para o Azamax®. Já para Keshet 25 EC®, esse só foi repelente durante 1h de exposição, após esse intervalo, as 6h o tratamento foi neutro e as 48h foi atraente (Fig. 2).

Os compostos (*E*)-nerolidol, carvacrol e limoneno tanto as CL<sub>10</sub> (Fig. 3), quanto as CL<sub>30</sub> (Fig. 4), mostraram efeitos repelentes significativos ( $P < 0,001$ ) em todos os tempos de avaliação, ou seja, todos os compostos estudados foram repelentes nos parâmetros avaliados, uma vez que os insetos tiveram preferências pelos discos foliares que não continham tratamento.

**Determinação da Inibição da Atividade Enzimática da Acetilcolinesterase-AChE.** Todos os OEs e componentes testados, promoveram inibição da AChE quando comparados aos controles estudados. *L. gracilis* e seu composto carvacrol foram os que tiveram os maiores efeitos inibitórios para a atividade de AChE segundo os valores de CI<sub>50</sub>, 1,83 e 2,29 µL.mL<sup>-1</sup>, respectivamente, seguido de limoneno (11,96 µL.mL<sup>-1</sup>), *M. leucadendra* (13,49 µL.mL<sup>-1</sup>), (*E*)-nerolidol (17,49 µL.mL<sup>-1</sup>) e *C. reticulata* (23,12 µL.mL<sup>-1</sup>). Os valores de CI<sub>50</sub> para os controles positivos utilizados foram, cloridrato de donepizila (5,95 µL.mL<sup>-1</sup>), Azamax® (24,22 µL.mL<sup>-1</sup>) e os inseticidas inibidores de AChE, Lannate® BR (5,0 µL.mL<sup>-1</sup>) e Malathion® 1000 EC (9,20 µL.mL<sup>-1</sup>) (Tabela 3).

## Discussão

Os compostos químicos derivados do metabolismo secundário das plantas também conhecidos como produtos secundários ou produtos naturais, aparentemente não participam do crescimento e desenvolvimento, mas são necessários e compõem o sistema de defesa das plantas em seu habitat natural (Taiz & Zeiger 2009). Sendo que esses compostos variam em quantidade e predominância conforme as condições que se encontram (Vizzotto *et al.* 2010).

Padalia *et al.* 2015 analisaram a composição química do OE extraído das folhas de *M. leucadendra* e obtiveram vinte e nove constituintes sendo o (*E*)-nerolidol (90,85%) majoritário, onde os principais compostos dominantes foram sesquiterpenos (95,34%), assim como foi encontrado na presente pesquisa. Diferente desses relatos, há divergência na composição química do OE de folhas de *M. leucadendra*, como constituintes majoritários o metil eugenol (96,60%) de plantas coletadas em Lavras-MG (Silva *et al.* 2007) e 1,8-cineol (49,00%) com a maioria dos compostos monoterpenicos (67,00%) coletadas no Rio de Janeiro (Siani *et al.* 2016).

A composição do OE de folhas de *L. gracilis* acesso LGRA 109 proveniente do Banco de Germoplasma de Plantas Medicinais e Aromáticas da Universidade Estadual de Sergipe, foi representada por carvacrol (49,35%) e *p*-cimeno (11,29%) como compostos majoritários (Teodoro *et al.* 2021), enquanto que o OE extraído de folhas frescas coletadas na região do Ceará, apresentou trinta e oito constituintes químicos sendo o timol (44,40%) e carvacrol (22,20%) os mais abundantes e consequentemente, constituintes majoritários (Bitu *et al.* 2014), assim como identificado em nossa pesquisa, uma vez que o majoritário foi o carvacrol (69,11%), mas o *p*-cimeno e timol também constituem o OE de *L. gracilis*. Já as análises químicas do OE da casca de tangerina (*C. reticulata*) comercial na Espanha apontou trinta constituintes (Espina *et al.* 2011) e o OE extraído da casca fresca da fruta por hidrodestilação na China, exibiu trinta e três componentes (Lin *et al.* 2021). Esses OEs apresentaram como constituinte majoritário o limoneno com teores de

74,40% e 86,10%, respectivamente para os estudos e ambos tiveram a predominância de monoterpenos, semelhante aos resultados encontrados no presente estudo para o OE de *C. reticulata*.

Outro estudo realizado em Rio Verde-GO revelou que o OE extraído da casca fresca de *C. reticulata* também teve o limoneno (91,60%) como constituinte majoritário, porém a constituição total do óleo continha apenas quatro constituintes (Dias *et al.* 2020), diferente dos demais estudos apresentados que continham muitos componentes, seja do OE extraído ou comercial. Assim, o rendimento do OE e a composição dos constituintes varia conforme a presença de água no material vegetal, fato observado quando a maior quantidade de óleo foi determinada em amostras de cascas secas em estufa de frutos de tangerina comparado a menor produção da casca fresca (Kamal *et al.* 2011), ou seja, a quantidade de água interfere na produtividade e rendimento do OE.

A síntese dos metabólitos secundários em plantas pode ser afetada frequentemente pelas condições ambientais e alguns fatores abióticos circundantes às plantas, como a sazonalidade, temperatura, disponibilidade de água, radiação UV, nutrientes presentes no solo, altitude, estágio de desenvolvimento, idade da planta, danos mecânicos e herbivoria aos tecidos, todos influenciam o metabolismo secundário (Gobbo-Neto & Lopes 2007). Fatores esses que podem explicar a divergência da composição química e síntese dos OEs para as mesmas espécies vegetais, mas coletadas em diferentes regiões, embora o OE passe pelo mesmo processo de extração.

Os óleos essenciais e seus constituintes são substâncias de origem vegetal que têm sido consideradas como agentes de controle natural de insetos-praga, pois possuem várias propriedades biológicas relacionadas a defesa das plantas contra herbívoros (Sendi & Ebadollahi 2013). Nos bioensaios de toxicidade desse estudo, as fêmeas adultas de *L. pseudobrassicae* mostraram ser mais sensíveis ao OE de *M. leucadendra* por contato tópico da mesma forma que o afídeo *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) tratado com 5  $\mu\text{L mL}^{-1}$  do OE de *Melaleuca alternifolia* Cheel em 24h, o

qual tem o terpinen-4-ol como componente majoritário (Ahmed *et al.* 2021). Resultados distintos foram relatados por Albouchi *et al.* 2018 quando adultas de *Aphis gossypii* (Glover) demonstraram ser mais resistentes ao OE de *Melaleuca styphelioides* Sm. (majoritário óxido de cariofileno) com CL<sub>50</sub> 3360,99 µl/L por contato. Já, o OE de *L. gracilis* e seu constituinte majoritário, carvacrol foram eficientes inseticidas tanto para *L. pseudobrassicae* na presente pesquisa, quanto para a traça-das-crucíferas (*P. xylostella*) por contato (Oliveira *et al.* 2022), ao mesmo tempo que 10% do OE de *Lippia multiflora* Mold. na forma de nanoemulsão promoveu efeito aficida sobre *Brevicoryne brassicae* L. (Tia *et al.* 2021). Assim, o presente estudo demonstrou que o potencial aficida dos OEs de *M. leucadendra*, *L. gracilis* e *C. reticulata*, bem como seus constituintes majoritários é superior ao inseticida botânico comercial Azamax<sup>®</sup> sobre o pulgão *L. pseudobrassicae*.

Os OEs do gênero *Citrus*, como *Citrus limon* (L.) ao usar a CL<sub>50</sub> 0,008 v/v diluído em clorofórmio sobre ninfas de *M. persicae* (Al-Antary *et al.* 2017) e *Citrus aurantium* L. com as CL<sub>50</sub> 16,12 µl/L sobre o pulgão da ervilha *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) e 31,22 µl/L contra *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) (Chaieb *et al.* 2017) também são tóxicos para esse afídeos por fumigação, enquanto que no presente estudo foram necessários 68,56 µl.mL<sup>-1</sup> de *C. reticulata* para causar 50% de mortalidade na população de *L. pseudobrassicae* por contato em condições de laboratório. Segundo Albouchi *et al.* 2018, a suscetibilidade de insetos-praga a OEs leva em conta alguns fatores, como as concentrações utilizadas, o tempo de exposição, os estágios de desenvolvimento do inseto e outros. Esses fatores também podem ter influenciado na atividade aficida dos OEs estudados nessa pesquisa sobre *L. pseudobrassicae*, exigindo quantidades maiores ou menores para os diferentes OE. Além do fato de que condições edafoclimáticas podem alterar a composição química dos OEs e consequentemente sua eficiência na atividade biológica e controle de pragas (Gobbo-Neto & Lopes 2007).

Os compostos bioativos do tipo terpenos estão entre os principais componentes dos OEs aqui estudados. Dentre esses, os monoterpenos possuem uma série de atividades, uma delas é a atividade inseticida (Zhang *et al.* 2017, Smith *et al.* 2018), que foi comprovada em nosso estudo através dos monoterpenos carvacrol e limomeno sobre *L. pseudobrassicae* com atividade de contato. Zhou *et al.* 2021 também observaram atividade semelhante para o carvacrol contra *M. periccae* com CL<sub>50</sub> 1,56 mg.L por fumigação, além da seletividade a insetos benéficos, assim como Gorur *et al.* 2008 verificaram que 2µl do OE de *Thymus vulgaris* L. reduziu significativamente a fecundidade e sobrevivência de *B. brassicae* em condições de laboratório, sendo essa atividade atribuída a predominância de timol e carvacrol na composição deste OE. A mesma atividade foi exibida para o OE de *C. aurantium* e o composto limoneno com CL<sub>50</sub> 3,97 e 4,71 µl.L, respectivamente contra adultos de *Bemisia tabaci* por fumigação (Zarrad *et al.* 2015).

Além dos monoterpenos, os sesquiterpenos, como o (*E*)-nerolidol também são frequentemente encontrados de forma majoritária nos OEs de muitas espécies vegetais (Chan *et al.* 2016, Moura *et al.* 2020) e apontado com potencial inseticida sobre adultos do pulgão dos cereais *Metopolophium dirhodum* (Walker) proporcionando CL<sub>50</sub> de 3,5 mL.L<sup>-1</sup> (Benelli *et al.* 2020) e contra larvas de *P. xylostella* com CL<sub>50</sub> 0,18 µl.mL<sup>-1</sup> (Silva *et al.* 2020). Esses resultados são correspondentes as atividades aficidas encontrados nesse estudo sobre *L. pseudobrassicae*, ressaltando a eficácia inseticida de compostos majoritários, que embora tenham apresentados concentrações, individualmente mais elevadas quando compardos aos OEs do qual fazem parte da composição, ainda assim tiveram bom desempenho inseticida.

Todos os OEs e seus respectivos compostos majoritários testados no presente estudo foram repelentes assim como o Azamax<sup>®</sup>. O valor das concentrações consideradas subletais (CL<sub>10,30</sub>) desses xenobióticos foram inferiores as de Azamax<sup>®</sup>, mas com altas taxas de repelência variando de 63% a 100%, demonstrando assim o potencial repelente ao longo do tempo após a exposição. A

ação de repelência pode ser explicada pelo fato de que concentrações subletais conseguem modificar os comportamentos dos insetos, incluindo acasalamento, busca por hospedeiros, alimentação e oviposição (Isman 2006, Sendi & Ebadollahi 2013, Guedes *et al.* 2016), fazendo com que os insetos sejam repelidos. Valores médios de repelência que variaram de 26,50% a 42,06%, menores do que os observados em nosso estudo, foram relatados para aos OEs de *Aster indamellus* Grierson, *Calamintha umbrosa* Benth. e *Erigeron annuus* (L.) Pres e o composto majotitário éster cis-lachonfilium contra *Lipaphis erysimi* (Kalt) (Kumar & Mathela 2017). Os autores ainda ressaltam que essa resposta é influenciada pela concentração e tempo de exposição das substâncias, o que justifica o OE de *C. reticulata* atuar como repelente na concentração de 23,87  $\mu\text{L}^{-1}$  e agir como atraente quando utiliza concentrações menores de 1,19 e 0,6  $\mu\text{L}^{-1}$  para *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Bedini *et al.* 2020). Ainda, espécies vegetais dos mesmos gêneros estudados nessa pesquisa possuem potencial repelente sobre diferentes insetos-praga, como *Melaleuca* sp. sobre formigas cortadeiras *Acromyrmex* ssp. em concentrações de 1 e 10% (Buteler *et al.* 2021), o OE de *Lippia alba* ( Mill ) N. E. Brown contra *Tribolium castaneum* (H.), praga de grãos armazenados com concentração de 5,0  $\mu\text{L}^{-1}$  (Peixoto *et al.* 2015), assim como o OE de *Citrus* sp. e os compostos limoneno e nerolidol são repelentes para os mosquitos *Aedes albopictus* (Skuse) a 25% de cada composto (Giatropoulos *et al.* 2012, Evergetis *et al.* 2018) e *Aedes aegypti* L. 1762 (Portilla-Pulido *et al.* 2020).

Além de efeitos tóxicos e repelentes sobre insetos, todos os OEs e compostos estudados na presente pesquisa, também se demonstraram potentes inibidores enzimáticos da AChE. Ao comparar o desempenho de inibição dos controles, cloridrato de donepizila e o inseticida sintético Lannate<sup>®</sup> BR, ambos anticolinesterásicos com o OE de *L. gracilis* e o composto carvacrol, é visível que os dois últimos foram superiores, pois apresentaram as menores concentrações para inibir 50% da atividade da AChE. Resultados correspondentes aos nossos estudos, foram encontrados por

Jukic *et al.* 2007 ao descrever que os compostos carvacrol e timol promoveram forte inibição da AChE (extraída de enguia elétrica) com pequenos valores de  $CI_{50}$  igual a 0,063 e 0,74 mg.mL, respectivamente, assim como foi observado para o OE de *Melaleuca citrina* (Curtis), o qual inibiu 71,77% da atividade enzimática com  $CI_{50}$  0,037 mg.mL (Petrachaianan *et al.* 2019). O OE de *Citrus aurantium* (L.) conseguiu diminuir a atividade da AChE (extraída de enguia elétrica) em 85,8% com valores de  $CI_{50}$  iguais a 139  $\mu\text{g.mL}^{-1}$  (Chaiyana & Okonogi 2012) e  $CI_{50}$  2,94 mM, assim como seu composto limoneno nas concentrações de  $CI_{50}$  3,54 mM (Zarrad *et al.* 2015) e  $CI_{50}$  7,7 mg.mL promovendo inibição até 78,4% sobre essa enzima (Piccialli *et al.* 2021). Segundo Lu *et al.* 2013, com o aumento na inibição da AChE ocorre a alteração da coordenação do sistema neuromuscular, causando paralisia e morte. Dessa maneira os OEs e compostos químicos podem atuar como neurotóxicos sobre os insetos, através da inibição enzimática (Jankowska *et al.* 2017). Estudos apontam que grande parte dos inibidores naturais da AChE identificados a partir de OE são substâncias terpênicas (Miyazawa & Yamafuji 2006, Lopez & Pascual-Villalobos 2010), concordando com a atividade inibitória dos metabólitos estudados nessa pesquisa, também terpenos, podendo ter rota da AChE como modo de ação. Os demais OEs e compostos aqui avaliados também merecem notoriedade, pois além da significativa inibição da atividade da AChE, o fato de terem sido menos tóxicos com valores de CI maiores, os tornam relevantes perante essa atividade.

Os OEs estudados nessa pesquisa demonstraram-se tóxicos e repelentes contra o pulgão *L. pseudobrassicae*. Contudo, os óleos de *M. leucadendra* e *L. gracilis* e o constituinte majoritário limoneno foram os que mais se destacaram na atividade aficida. Os resultados apresentados nesse estudo, ressaltam que novas substâncias ativas derivadas das plantas *M. leucadendra*, *L. gracilis* e *C. reticulata* possuem potencial para síntese de novas moléculas inseticidas bioativas ou repelentes que possam ser introduzidas no manejo integrado de pragas, sobretudo para afídeos em

Brassicaceae, como método de controle, além de ser uma proposta biodegradável e menos nociva comparada aos métodos de controle químico sintético.

A alta atividade inibitória promovida pelos OEs de *M. leucadendra*, *L. gracilis*, *C. reticulata* e compostos (*E*)-nerolidol, carvacrol e limoneno estudados nessa pesquisa, com destaque para *L. gracilis* e carvacrol, sugere que essas substâncias podem ser promissoras para novas fontes de anticolinesterásicos, especialmente contra a enzima AChE. No entanto, além de efeitos tóxicos, repelentes e inibitórios apontados nessa pesquisa, ressalta-se a importância de estudos mais detalhados sobre efeitos subletais dos OEs e constituintes majoritários sobre a biologia e desenvolvimento do afídeo *L. pseudobrasicae*, assim como estudos enzimáticos mais aprofundados e moleculares sobre enzima AChE e outros modos de ação em insetos-praga e inimigos naturais para melhor compreender a atuação das substâncias aqui estudadas.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e ao Prof. Dr. Marcus Vinícius Sampaio - UFU por ter contribuído com a confirmação da espécie do inseto.

### Literatura Citada

- Ahmed, Q., M. Agarwal., R. Al-Obaidi., P. Wang & Y. Ren. 2021.** Evaluation of Aphicidal Effect of Essential Oils and Their Synergistic Effect against *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). *Molecules*. 26:3055.
- Al-Antary, T.M., I.H. Belghasem & S.A. Alaraj. 2017.** Evaluation of ecofriendly lemon oil against the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae) using four solvents. *Fresenius Environ Bull* 26:8298–8303.
- Albouchi, F., N. Ghazouani., R. Souissi., M. Abderrabba & S. Boukhris-Bouhachem. 2018.** Aphidicidal activities of *Melaleuca styphelioides* Sm. essential oils on three citrus aphids:

- Aphis gossypii* Glover; *Aphis spiraecola* Patch and *Myzus persicae* (Sulzer). S Afr J Bot 117:149–154.
- Adams, R.P. 2017.** Identification of essential oil components by gas chromatography-mass spectrometry, 4.1th ed., Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois, USA.
- Agarwala, B.K., K. Das & P. Raychoudhury. 2009.** Morphological, ecological and biological variations in the mustard aphid, *Lipaphis pseudobrassicae* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae) from different host plants. J. Asia-Pac Entomol. 12: 169-173.
- Ali, H.B. 2018.** Abundance of aphids (Homoptera: Aphididae) associated with Brassicaceae crops in Iraq. Biosci. Res. 2: 975-979.
- Amoabeng, B.W., P.C. Stevenson., S. Pandey., M.B. Mochiah & M.G. Gurr. 2018.** Insecticidal activity of a native Australian tobacco, *Nicotiana megalosiphon* Van Heurck & Muell. Arg (Solanales: Solanaceae) against key insect pests of brassicas. Crop Prot.106: 6-12.
- Atri, C., B. Kumar, H. Kumar, S. Kumar, S. Sharma & S.S. Banga, 2012.** Development and characterization of *Brassica juncea* – fruticulosa introgression lines exhibiting resistance to mustard aphid (*Lipaphis erysimi* Kalt). BMC Genetics, 13:104.
- Bedini, S., F. Cosci., C. Tani., E.C. Pierattini., F. Venturi., A. Lucchi., C. Ioriatti., R. Ascrizzi., G. Flamini & G. Ferroni. 2020.** Essential Oils as Post-Harvest Crop Protectants against the Fruit Fly *Drosophila suzukii*: Bioactivity and Organoleptic Profile. Insects. 11:508.
- Benelli, G., R. Pavela, R. Petrelli, L. Cappellacci, A. Canale, S. Senthil-Nathan & F. Maggi. 2018.** Not just popular spices! Essential oils from *Cuminum cyminum* and *Pimpinella anisum* are toxic to insect pests and vectors without affecting non-target invertebrates. Ind Crops Prod 124:236–243.
- Benelli, G., R. Pavela., E. Drenaggid., N. Desneuxe & F. Maggi. 2020.** Phytol, (E)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. Ind Crops Prod. 155: 112844.
- Bevilacqua, H.E.C.R. 2011.** Rotação e consorciação de culturas, alelopatia, p.73-76. In H.E.C.R. Bevilacqua (ed.), Cultivo de hortaliças. São Paulo, Prefeitura de São Paulo, 85p.
- Bitu, V.C.N., H.D.T.F. Fecundo., J.G.M. Costa., H.D.M. Coutinho., F.F.G. Rodrigues., N.M. Santana., M.A. Botelho & I.R.A. Menezes. 2014.** Chemical composition of the essential oil of *Lippia gracilis* Schauer leaves and its potential as modulator of bacterial resistance. Nat. Prod. Res, 28:399-402.
- Blackman, R.K. & V.F. Eastop. 2007.** Taxonomic issues, p.1-29. In: H. Van Emden & R. Harrington (eds.), Aphids as crop pests, 2ed. CABI Publishing, Wallingford. 679p. Disponível em: [https://plu.mx/a/?cabi\\_abstract\\_id=20073203984](https://plu.mx/a/?cabi_abstract_id=20073203984) Acessado em: maio de 2022

- Buteler, M., A.M. Alma., M.L. Herrera., N.B. Gorosito & P.C. Fernández. 2021.** Novel organic repellent for leaf-cutting ants: tea tree oil and its potential use as a management tool. *Int J Pest Manag.* 67:1-9.
- Chaieb, I., K. Zarrad, R. Sellam, W. Tayeb, A.B. Hammouda, A. Laarif & S. Bouhachem. 2017.** Chemical composition and aphicidal potential of *Citrus aurantium* peel essential oils. *Entomol Generalis.* 37:63–75.
- Chan, W.K., L.T.H. Tan., K.G. Chan., L.H. Lee & B.H. Goh. 2016.** Nerolidol: A Sesquiterpene Alcohol with Multi-Faceted Pharmacological and Biological Activities. *Molecules.* 21: 529.
- Chaiyana, W & S. Okonogi. 2012.** Inhibition of cholinesterase by essential oil from food plant. *Phytomedicine.* 19: 836-839.
- Dias, A.L.B., W.C. Sousa., H.R.F. Batista., C.C.F. Alves., E.L. Souchie., F.G. Silva., P.S. Pereira., E.M. Sperandio., C.M. Cazal., M.R. Forim & M.L.D. Miranda. 2020.** Chemical composition and in vitro inhibitory effects of essential oils from fruit peel of three Citrus species and limonene on mycelial growth of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Braz. J. Biol.,* 80: 460-464.
- Ebadollahi, A. 2013.** Essential Oils Isolated from Myrtaceae Family as Natural Insecticides. *Annu Rev Plant Biol.* 3: 148-175.
- Espina, L., M. Somolinos., S. Lorán., P. Conchello., D. García & R. Pagán. 2011.** Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes. *Food Control,* 22: 896-902.
- Evergetis, E., R. Benelli., G. Balatsos., A. Michaelakis., M. Carrieri., R. Veronesi., et al. 2018.** From Bio-Prospecting to Field Assessment: The Case of carvacrol Rich Essential Oil as a Potent Mosquito Larvicidal and Repellent Agent. *Front. Ecol. Evol.* 6: 204.
- Fening, K.O., E.E. Forchibe., F.O. Wamonje., I. Adama., K. Afreh-Nuamah & J. P. Carr. 2020.** First Report and Distribution of the Indian Mustard Aphid, *Lipaphis erysimi pseudobrassicae* (Hemiptera: Aphididae) on Cabbage (*Brassica oleracea* var capitata) in Ghana. *J. Econ. Entomol.* 20: 1-10.
- Fierascu, R.C., I.C. Fierascu., C.E. Dinu-Pirvu., I. Fierascu & A. Paunescu. 2020.** The application of essential oils as a next-generation of pesticides: Recent developments and future perspectives. *Z Naturforsch Sect C,* 75: 183-204.
- Filomeno, C.A., L.C.A. Barbosa., R.R. Teixeira., A.L. Pinheiro., E.S. Farias., E.M.P. Silva & M.C. Picanço. 2021.** Corymbia spp. and Eucalyptus spp. essential oils have insecticidal activity against *Plutella xylostella*. *Ind Crops Prod.* 109: 374-383.
- Finney, D.J. 1971.** Probit analysis. London, Cambridge University Press, 333p.

- Fonseca, A.R., C.F. Carvalho, B. Souza & I. Cruz. 2003.** Desenvolvimento de *Rhopalosiphum maidis* (fitch, 1856) (hemiptera: aphididae) em sorgo, cultivar BR304. Ciênc. agrotec. 1470-1478.
- Giatropoulos, A., D.P. Papachristos., A. Kimbaris, et al. 2012.** Evaluation of bioefficacy of three *Citrus* essential oils against the dengue vector *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in correlation to their components enantiomeric distribution. Parasitol Res. 111: 2253-2263.
- Gobbo-Neto, L & N.P. Lopes. 2007.** Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. Quím. Nova, 30: 374-381.
- Gorur, G., M.I. Abdullah & M. Işik. 2008.** Insecticidal activity of the *Thymus*, *Veronica* and *Agrimonia*'s essential oils against the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. Acta Phytopathol. Entomol. Hung. 43: 201-208.
- Guedes, R.N.C., G. Smagghe., J.D. Stark & N. Desneux. 2016.** Pesticide-Induced Stress in Arthropod Pests for Optimized Integrated Pest Management Programs. Annu. Rev. Entomol. 61:43-62.
- IBGE (Instituto Brasileiro De Pesquisa). 2017. Produção agrícola municipal: Culturas temporárias e permanentes, v.43.** Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam\\_2016\\_v43\\_](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_)>. Acesso em: maio de 2022.
- Ikbal, C & R, Pavela. 2019.** Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. J Pest Sci.
- Isman, M.B. 2006.** Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annu Rev Entomol 51:45-66.
- Isman, M.B. 2015.** A renaissance for botanical insecticides? Pest Manag Sci. 71:1587-1590.
- Kamal, G.M., F. Anwar., A.I. Hussain., N. Sarri & M.Y. Ashraf. 2011.** Yield and chemical composition of Citrus essential oils as affected by drying pretreatment of peels. Int. Food Res. J. 18: 1275-1282.
- Khan, M.M., I. Akhtar & S.W.H. Shah. 2017.** Efficacy of different insecticides against aphid on brassica juncea. J Entomol Zool Stud. 5: 1216-1218.
- Kogan, M & R.D. Goeden. 1970.** The Host-Plant Range of *Lema trilineata daturaphila* (Coleoptera: Chrysomelidae). Ann. Entomol. Soc. Am, 63:1175–1180.
- Kumar, V & C.S. Mathela. 2017.** Toxicity and repellent effect of essential oils and a major component against *Lipaphis erysimi*. J. Crop. Prot. 1: 15-23.

- Korus, A. 2012.** Amino acid retention and protein quality in dried kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala). J. Food Process. Preserv. 38: 676-683.
- Koul, O., Walia, S. & Dhaliwal, G. S. 2008.** Essential oils as green pesticides: potential and constraints. Biopest. Int., 4: 63-84.
- Ligor, M., T. Trziszka & B. Buszewski. 2013.** Study of Antioxidant Activity of Biologically Active Compounds Isolated from Green Vegetables by Coupled Analytical Techniques. Food Anal. Methods. 6: 630–636.
- Lin, X., S. Cao., J. Sun., D. Lu., B. Zhong & J. Chun. 2021.** The Chemical Compositions, and Antibacterial and Antioxidant Activities of Four Types of Citrus Essential Oils. Molecules, 26: 3412.
- Lorenzi, H., H.M. Souza., M.A.V. Torres & L.B. Bacher. 2003.** Árvores Exóticas no Brasil: Madeiras, Ornamentais e Aromáticas. Instituto Plantarum: Nova Odessa, Brazil. 385p.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários-Agrofit. 2019. Brasília. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)> Acessado em maio de 2022.
- Mayanglambam, S., K.D. Singh & Y. Rajashekar. 2021.** Current biological approaches for management of crucifer pests. Sci Rep. 11: 11831.
- Melo, R.A.C., L.P.C. Vendrame., N.R. Madeira., A.D. Blind & N.J. Vilela, 2017.** Caracterização e Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Brássicas nas Principais Regiões Produtoras Brasileiras. Brasília, Embrapa Hortaliças, 104p. (Documentos 157).
- Menezes, E.L.A. 2005.** Inseticidas Botânicos: Seus Princípios Ativos, Modo de Ação e Uso Agrícola. Seropédica. Embrapa Agrobiologia, 32p. (Documentos 205).
- Mohamad, S.F.S., S. Mohamad & A.A. Aziz. 2013.** The Susceptibility of Aphids, *Aphis gossypii* Glover to Lauric Acid based Natural Pesticide. Procedia Eng. 53:20-28.
- Moura, A.P., J.A. Guimarães., J. Silva., I.M.R. Guedes & D.C.P. Leal. 2019.** Recomendações técnicas para o manejo de pragas em brassicaceas com vistas à produção integrada de hortaliças folhosas. Brasília, Embrapa Hortaliças, 32p. (Documentos 170).
- Moura, D.F., R.D. Martins & M.V. Silva. 2020.** Nerolidol: Fitoconstituente de Óleos Essenciais de Plantas da Caatinga. Braz. J. of Develop. 5: 33402-33416.
- Mpumi, N., R.S. Machunda., K.M. Mtei & P.A. Ndakidemi. 2020.** Selected Insect Pests of Economic Importance to *Brassica oleracea*, Their Control Strategies and the Potential Threat to Environmental Pollution in Africa. Sustainability. 12: 3824.

- Obeng-Ofori, D. 1995.** Plant oils as grain protectants against infestations of *Cryptolestes pusillus* and *Rhyzopertha dominica* in stored grain. Entomol. Exp. Appl. 77: 133-139.
- Oliveira, J.J., E.M. Passos., R.M. Aragão., T.S. Santos., E.M.O. Cruz & M.C. Mendonça. 2022.** Control of diamondback moth with *Lippia gracilis* essential oil. Pesqui. Agropecu. Bras. 57.
- Padalia, C.R., R.S. Verma., A. Chauhan & C.S. Chanotiya. 2015.** The essential oil composition of *Melaleuca leucadendra* L. grown in India: A novel source of *E*-Nerolidol. Ind Crops Prod, 69:224-227.
- Pavela, R & G. Benelli. 2016.** Essential oils as eco-friendly biopesticides? Challenges and constraints. Trends Plant Sci. 21:1000-1007.
- Peixoto, M.V., L. Bacci., A.F. Blank., A.P.A. Araújo & P.B. Alves. 2015.** Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. Ind Crops Prod. 71: 31-36.
- Portilla-Pulido, J.S., R.M. Castillo-Morales., M.A. Barón-Rodríguez., J.E. Duque & S.C. Mendez-Sanchez. 2020.** Design of a Repellent Against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Using in silico Simulations With AegOBP1 Protein. J. Med. Entomol. 57: 463-476.
- Resende, A.L.S., E.E. Silva., V.B. Silva., R.L.D, Ribeiro., J.G.M, Guerra., & E.L. Aguiar-Menezes. 2006.** Primeiro Registro de *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Hemiptera: Aphididae) e sua Associação com Insetos Predadores, Parasitóides e Formigas em Couve (Cruciferae) no Brasil. Neotrop. Entomol. 35: 551-555.
- Ruttan, R.S. 2010.** Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. Crop Prot. 29:913-920.
- Sampson B.J., N. Tabanca, N. Kirimer, B. Demirci, K.H.C. Baser, I.A. Khan, J.M. Spiers & D.E. Wedge. 2005.** Insecticidal activity of 23 essential oils and their major compounds against adult *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Aphididae: Homoptera). Pest Manag Sci 61:1122–1128.
- Sampaio, M.V., A.P. Korndörfer., J. Pujade-Villar., J.E.A. Hubaide., S.E. Ferreira., S.O. Arantes., D.M. Bortoletto., C.M. Guimarães., J.A. Sánchez-Espigares & B. Caballero-López. 2017.** Brassica Aphid (Hemiptera: Aphididae) Populations Are Conditioned by Climatic Variables and Parasitism Level: a Study Case of Triângulo Mineiro, Brazil. Bull. Entomol. Res. 107: 410–418.
- Sendi, J.J & A. Ebadollahi. 2013.** Biological Activities of Essential Oils on Insects, p. 129-150. In: J.N. Govil & S. Bhattacharya (eds.), Recent Progress in Medicinal Plants: Essential Oils–II, Studium Press, 388p.

- Siani, A.C., M.J. Nakamura, G.P. Neves, S.S. Monteiro & M.F.S. Ramos. 2016.** Leaf Essential Oil from Three Exotic Myrtaceae Species Growing in the Botanical Garden of Rio de Janeiro, Brazil. *Am. J. Bot.* 7:834-840.
- SiBBR (Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira). 2019.** Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acesso em: junho de 2022.
- Silva, C.J., L.C.A. Barbosa, C.R.A. Maltha, A.L. Pinheiro & F.M.D. Ismail. 2007.** Comparative study of the essential oils of seven *Melaleuca* (Myrtaceae) species grown in Brazil. *Flavour Fragr. J.* 22:474-478.
- Silva, M.M.C., C.A.G. Camara, M.M. Moraes, J.P.R. Melo, R.B. Santos & R.C.S. Neves. 2020.** Insecticidal and Acaricidal Activity of Essential Oils Rich in (*E*)-nerolidol from *Melaleuca leucadendra* Occurring in the State of Pernambuco (Brazil) and Effects on Two Important Agricultural Pests. *J. Braz. Chem. Soc.* 31:813-820.
- SigmaPlot version 12.0.** Systat Software, Inc., San Jose, California, USA. Available online: <<http://www.sigmaplot.co.uk/products/sigmaplot/sigmaplot-details.php>> Acessado março 2023.
- Singh, N & S. Dhiman, 2018.** Quality and Quantity Loss by Aphid Infestation in Vegetables Grown under Protected Cultivation in Ladakh Region. *Def. Life Sci. J.* 3:71-74.
- Smith G.H., J.M. Roberts & T.W. Pope. 2018.** Terpene based biopesticides as potential alternatives to synthetic insecticides for control of aphid pests on protected ornamentals. *Crop Prot.* 110: 125-130.
- Taiz, L & Zaiger, E. 2009.** Secondary Metabolites and Plant Defense, p. 342-372. In: L. Taiz and E. Zeiger (eds.), *Plant Physiology*, Sinauer Associates Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts U.S.A. 778p.
- Teixeira, M., M. Cardoso, A. Figueiredo, J. Moraes, F. Assis, J. Andrade, D. Nelson, M. Souza Gomes, J. de Souza & L. de Albuquerque. 2014.** Essential Oils from *Lippia organoides* Kunth. and *Mentha spicata* L.: Chemical Composition, Insecticidal and Antioxidant Activities. *Am. J. Plant Sci.* 5: 1181-1190.
- Teodoro, A.V., D.M. Pinto-Zevallos, M.S. Menezes, M.F. Arrigoni-Blank, E.M.C. Oliveira, T.S. Sampaio, J.F. Vasconcelos & A.F. Blank. 2021.** Toxicity and repellency of the essential oil from *Lippia gracilis* to the coconut mite *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae). *Int. J. Acarol.* 47:414-417.
- Tia, V.E., S. Gueu, M. Cissé, Y. Tuo, A.J. Gnago & E. Konan. 2021.** Bio-insecticidal effects of essential oil nano-emulsion of *Lippia multiflora* Mold. on major cabbage pests. *J Plant Prot Res.* 61: 103-109.

- Van Den Dool, H. & P.D. Kratz. 1963.** A Generalization of the Retention Index System Including Linear Temperature Programmed Gas-Liquid Partition Chromatography. *J. Chromatogr.*, A. 11: 463-471.
- Vizzotto, M., A.C. Krolow & G.E.B. Weber. 2010.** Metabólitos Secundários Encontrados em Plantas e sua Importância. Pelotas-RS, Embrapa Clima Temperado, 17p. (Documentos 316).
- Zafar, M & M.K.A. Khan. 2018.** Efficacy of chlorpyrifos, imidacloprid and bifenthrin insecticides against aphid population (*Lipaphis erysimi*) within the response of *Brassica napus*. *Fuuast J. Biol.* 8: 319-322.
- Zarrad, K., A.B. Hamouda., I. Chaieb., A. Laarif & J.M. Jemâa. 2015.** Chemical composition, fumigant and anti-acetylcholinesterase activity of the Tunisian Citrus aurantium L. essential oils. *Ind Crops Prod.* 76:121-127.
- Zhang, Z.L., Y.J. Xie., Y. Wang., Z.F. Lin., L.H. Wang & G.Y. Li. 2017.** Toxicities of monoterpenes against housefly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Environ Sci Pollut Res* 24: 24708-24713.
- Zhou, L., C. Li., Z. Zhang., X. Li., Y. Dong & H. Cao. 2021.** Biological activity and safety evaluation of monoterpenes against the peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Int J Trop Insect Sci.* 41:2747–2754.

Tabela 1. Composição química dos OEs de *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* e *Citrus reticulata*.

| Compostos                       | RI <sup>1</sup> | RI <sup>2</sup> | <i>Melaleuca leucadendra</i><br>(%) | <i>Lippia gracilis</i><br>(%) | <i>Citrus reticulata</i><br>(%) |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| $\alpha$ -Pineno                | 933             | 932             | 0,05 $\pm$ 0,00                     | 0,12 $\pm$ 0,01               | 1,20 $\pm$ 0,21                 |
| Sabineno                        | 970             | 969             | -                                   | -                             | 0,52 $\pm$ 0,02                 |
| $\beta$ -Pineno                 | 974             | 974             | 0,34 $\pm$ 0,02                     | -                             | 0,41 $\pm$ 0,03                 |
| Mirceno                         | 990             | 988             | -                                   | 0,14 $\pm$ 0,02               | 1,93 $\pm$ 0,15                 |
| $\alpha$ -Terpineno             | 1013            | 1014            | -                                   | 0,22 $\pm$ 0,05               | -                               |
| $\rho$ -Cimeno                  | 1021            | 1020            | -                                   | 3,33 $\pm$ 0,12               | -                               |
| <i>o</i> -Cimeno                | 1023            | 1022            | -                                   | -                             | 1,04 $\pm$ 0,16                 |
| limoneno                        | 1026            | 1024            | 0,05 $\pm$ 0,00                     | -                             | 90,24 $\pm$ 1,35                |
| <i>B-Z</i> -Ocimeno             | 1032            | 1032            | 0,02 $\pm$ 0,00                     | -                             | -                               |
| $\gamma$ -Terpineno             | 1054            | 1054            | -                                   | 2,86 $\pm$ 0,19               | 3,25 $\pm$ 0,81                 |
| Terpinoleno                     | 1089            | 1086            | -                                   | 0,25 $\pm$ 0,00               | 0,22 $\pm$ 0,05                 |
| Linalool                        | 1099            | 1095            | -                                   | -                             | 0,43 $\pm$ 0,05                 |
| 1,3,8- $\rho$ -Mentatrieno      | 1107            | 1108            | -                                   | 1,01 $\pm$ 0,12               | -                               |
| <i>cis</i> - $\beta$ -Terpineol | 1142            | 1140            | -                                   | 0,73 $\pm$ 0,09               | -                               |
| Timol                           | 1283            | 1289            | -                                   | 11,98 $\pm$ 0,38              | -                               |
| carvacrol                       | 1295            | 1298            | -                                   | 69,11 $\pm$ 1,11              | -                               |
| $\alpha$ -Copaeno               | 1372            | 1374            | -                                   | 0,46 $\pm$ 0,05               | -                               |
| $\beta$ -Cariofileno            | 1422            | 1417            | 0,57 $\pm$ 0,04                     | 4,30 $\pm$ 0,26               | -                               |
| $\alpha$ -Humuleno              | 1455            | 1452            | 0,04 $\pm$ 0,01                     | -                             | -                               |
| $\alpha$ -Tujaplicinol          | 1509            | 1509            | -                                   | 1,06 $\pm$ 0,00               | -                               |
| $\delta$ -Cadineno              | 1528            | 1522            | -                                   | 0,39 $\pm$ 0,00               | -                               |
| <i>Z</i> -Nerolidol             | 1531            | 1533            | 0,03 $\pm$ 0,00                     | -                             | -                               |
| $\beta$ -Vetiveneno             | 1559            | 1554            | -                                   | 0,62 $\pm$ 0,09               | -                               |
| Germacreno B                    | 1561            | 1559            | -                                   | 1,66 $\pm$ 0,09               | -                               |
| <i>Z</i> -diidro-Apofarnesol    | 1571            | 1572            | 0,36 $\pm$ 0,02                     | -                             | -                               |
| ( <i>E</i> )-nerolidol          | 1661            | 1660            | 94,44 $\pm$ 1,09                    | -                             | -                               |
| Total                           |                 |                 | 95,96 $\pm$ 1,12                    | 98,24 $\pm$ 1,18              | 98,6 $\pm$ 1,36                 |
| Monoterpenos                    |                 |                 | 0,52 $\pm$ 0,02                     | 89,75 $\pm$ 1,20              | 98,6 $\pm$ 1,36                 |
| Sesquiterpenos                  |                 |                 | 95,44 $\pm$ 1,11                    | 8,49 $\pm$ 0,26               | -                               |

<sup>1</sup>Índices de retenção calculados a partir dos tempos de retenção em relação aos de uma série C7-C40 de n-alcenos em uma coluna capilar DB-5 de 30m.

<sup>2</sup>Índices de retenção da literatura.

Tabela 2. Toxicidade dos óleos essenciais de *Melaleuca leucadendra*, *Lippia gracilis* e *Citrus reticulata* por ação tópica sobre fêmeas de *Lipaphis pseudobrassicae*.

| Tratamento                   | N <sup>1</sup> | $\chi^2$ (GL) <sup>2</sup> | Inclinação±EPM <sup>3</sup> | CL <sub>10</sub><br>(IC95%) <sup>4</sup> | CL <sub>30</sub><br>(IC95%) | CL <sub>50</sub><br>(IC95%) | RT <sub>50</sub> <sup>5</sup> |
|------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| <i>Melaleuca leucadendra</i> | 421            | 2,78 (5)                   | 4,72±0,80                   | 19,73<br>(11,67-25,89)                   | 28,54<br>(20,11-34,50)      | 36,85<br>(29,06-42,42)      | 7,32                          |
| <i>Lippia gracilis</i>       | 418            | 1,84 (5)                   | 4,64±0,62                   | 27,71<br>(20,76-33,04)                   | 40,34<br>(34,07-45,11)      | 52,33<br>(45,11-47,15)      | 5,15                          |
| carvacrol                    | 436            | 16,13 (5)                  | 4,41±0,40                   | 29,71<br>(16,06-39,40)                   | 44,11<br>(30,51-54,14)      | 57,98<br>(45,57-70,43)      | 4,65                          |
| (E)-nerolidol                | 422            | 4,40 (5)                   | 9,27±1,30                   | 48,24<br>(40,05-53,92)                   | 58,22<br>(51,53-62,93)      | 66,32<br>(60,98-70,46)      | 4,06                          |
| <i>Citrus reticulata</i>     | 424            | 1,62 (5)                   | 6,32±1,21                   | 42,98<br>(30,10-50,36)                   | 56,64<br>(47,42-62,55)      | 68,56<br>(61,95-74,69)      | 3,93                          |
| limoneno                     | 421            | 6,23 (5)                   | 10,31±1,06                  | 60,93<br>(52,03-66,98)                   | 72,15<br>(65,24-77,38)      | 81,11<br>(75,39-86,55)      | 3,32                          |
| Azamax <sup>®</sup>          | 419            | 4,75 (5)                   | 2,12±0,31                   | 67,14<br>(44,38-86,14)                   | 152,62<br>(128,11-178,05)   | 269,54<br>(226,81-346,51)   | -                             |
| Keshet 25 EC <sup>®</sup>    | 427            | 0,36 (5)                   | 5,86±0,68                   | 0,163<br>(0,136-0,185)                   | 0,193<br>(0,167-0,216)      | 0,269<br>(0,244-0,298)      | 1002,00                       |

<sup>1</sup>Número total de afídios usados para calcular a curva de concentração-resposta

<sup>2</sup>Valor de qui-quadrado ( $P < 0,05$ ) e Grau de Liberdade

<sup>3</sup>Inclinação e erro padrão da média

<sup>4</sup>Concentração subletal/letal ( $\mu\text{l.mL}^{-1}$ ) e intervalo de confiança a 95%

<sup>5</sup>Razão de Toxicidade (Fórmula:  $RT = >CL_{50} / <CL_{50}$ , individualmente).

Tabela 3. Concentração de Inibição média (CI<sub>50</sub>) de óleos essenciais e seus constituintes majoritários sobre a atividade da enzima Acetilcolinesterase.

| Tratamentos                    | CI <sub>50</sub> (μL.mL <sup>-1</sup> ) (±DP) <sup>1</sup> |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <i>Lippia gracilis</i>         | 1,83±0,83                                                  |
| carvacrol                      | 2,29±1,86                                                  |
| limoneno                       | 11,96±1,05                                                 |
| <i>Melaleuca leucadendra</i>   | 13,49±2,80                                                 |
| ( <i>E</i> )-nerolidol         | 17,49±2,17                                                 |
| <i>Citrus reticulata</i>       | 23,12±3,23                                                 |
| Azamax <sup>®</sup>            | 24,22±2,36                                                 |
| Malathion <sup>®</sup> 1000 EC | 9,20±0,33                                                  |
| Lannate <sup>®</sup> BR        | 5,08±0,89                                                  |
| Cloridrato de donepizila       | 5,95±1,45                                                  |

<sup>1</sup>DP = Desvio Padrão (Intervalo de Confiança 95%).

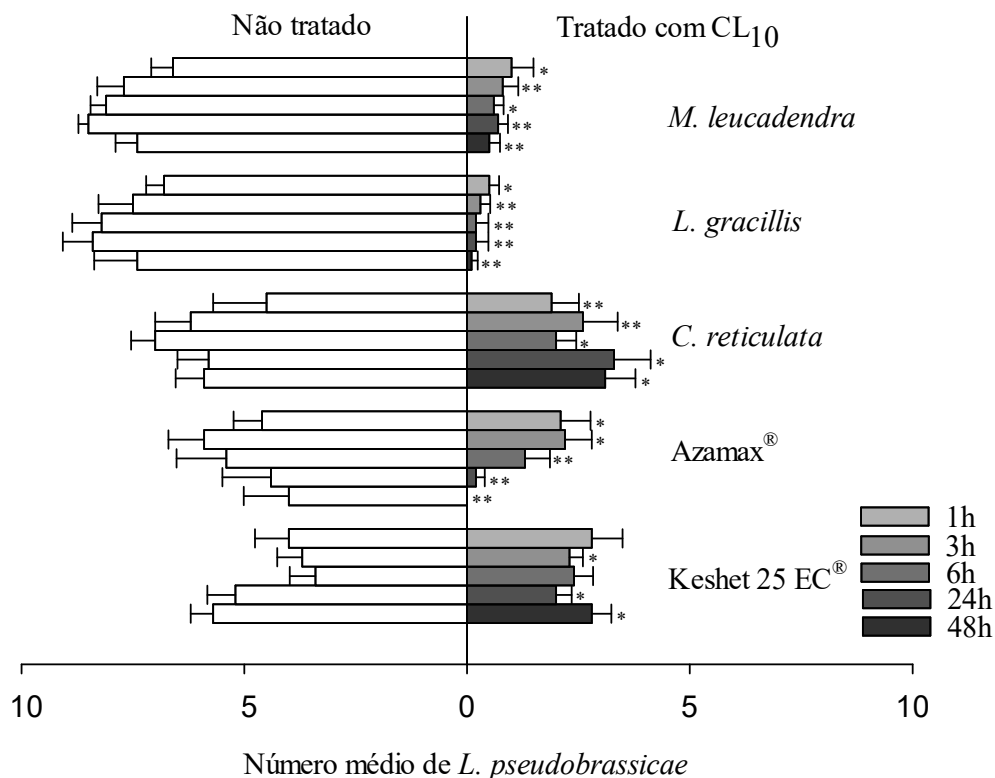


Figura 1. Média ( $\pm$ EP) de preferência de *L. pseudobrassicae* por discos foliares de couve não tratados e tratados com a CL<sub>10</sub> dos OEs de *M. leucadendra* (19,73  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), *L. gracilis* (27,71  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), *C. reticulata* (42,98  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), Azamax<sup>®</sup> (67,14  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>) e Keshet 25 EC<sup>®</sup> (0,163  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>). (\*) indica diferença estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste t ( $P<0,05$ ). (\*\*) indicam diferenças estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste de Mann-Whitney U ( $P<0,05$ )

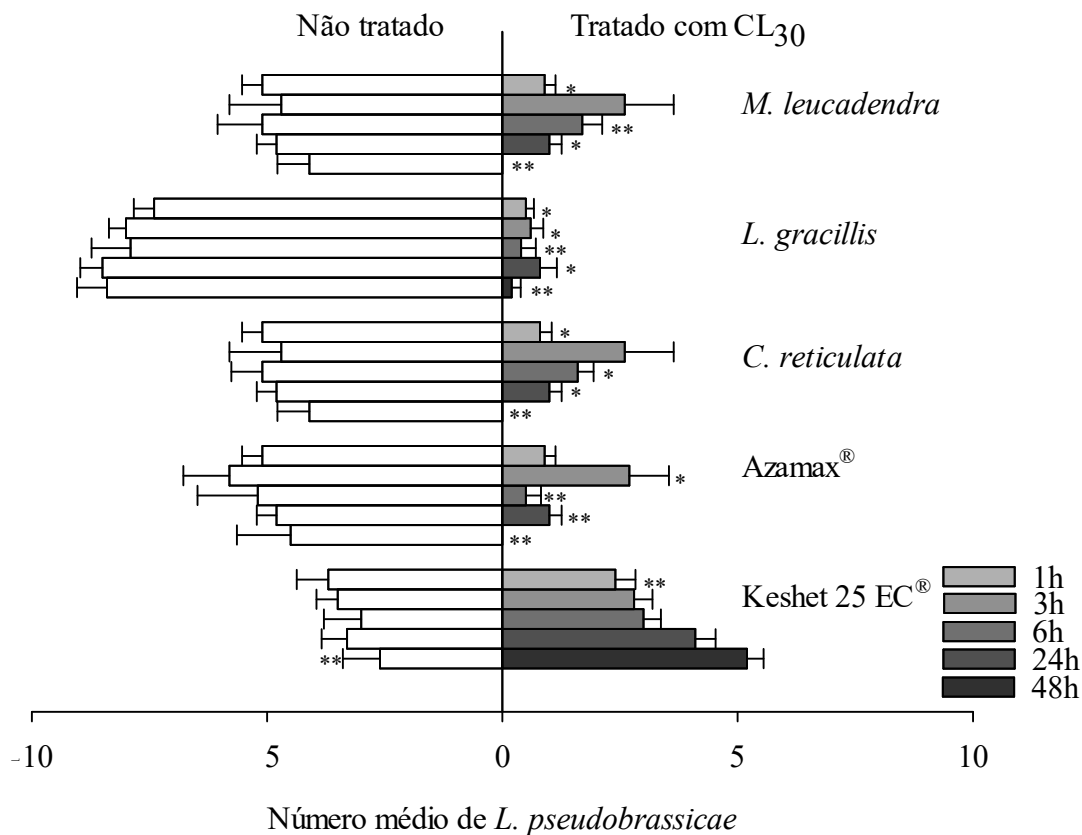


Figura 2. Média ( $\pm$ EP) de preferência de *L. pseudobrassicae* por discos foliares de couve não tratados e tratados com a CL<sub>30</sub> dos OEs de *M. leucadendra* (28,54  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), *L. gracilis* (40,34  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), *C. reticulata* (56,64  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), Azamax® (152,62  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>) e Keshet 25 EC® (0,193  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>). (\*) indica diferença estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste t ( $P < 0,05$ ). (\*\*) indicam diferenças estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste de Mann-Whitney U ( $P < 0,05$ ).

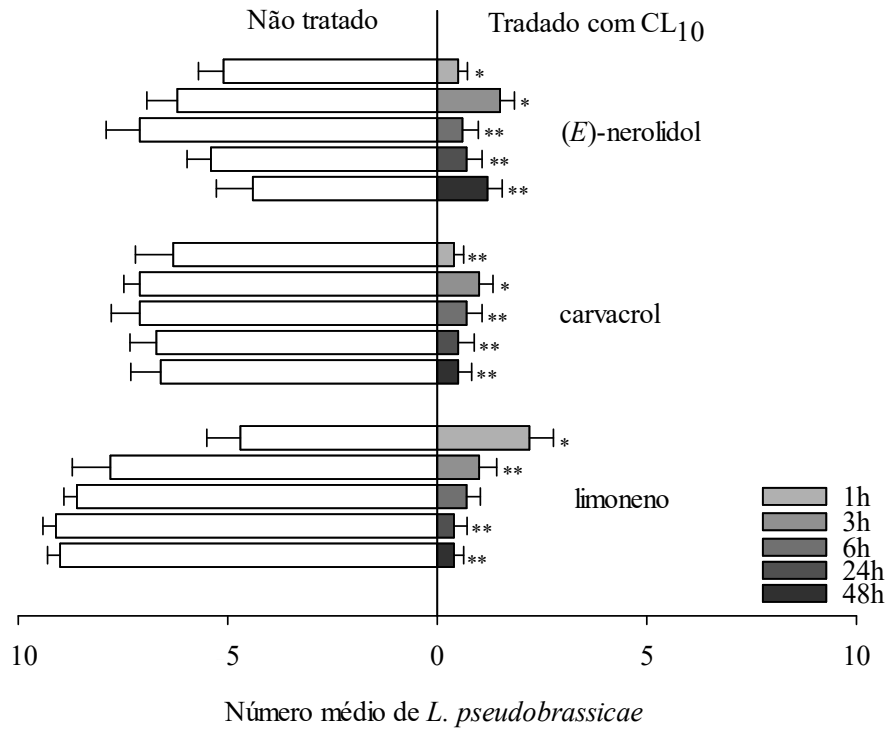


Figura 3. Média ( $\pm$ EP) de preferência de *L. pseudobrassicae* por discos foliares de couve não tratados e tratados com a CL<sub>10</sub> dos constituintes majoritários (*E*)-nerolidol (48,24  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>), carvacrol (29,71  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>) e limoneno (60,93  $\mu$ l.mL<sup>-1</sup>). (\*) indica diferença estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste t ( $P<0,05$ ). (\*\*) indicam diferenças estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste de Mann-Whitney U ( $P<0,05$ ).

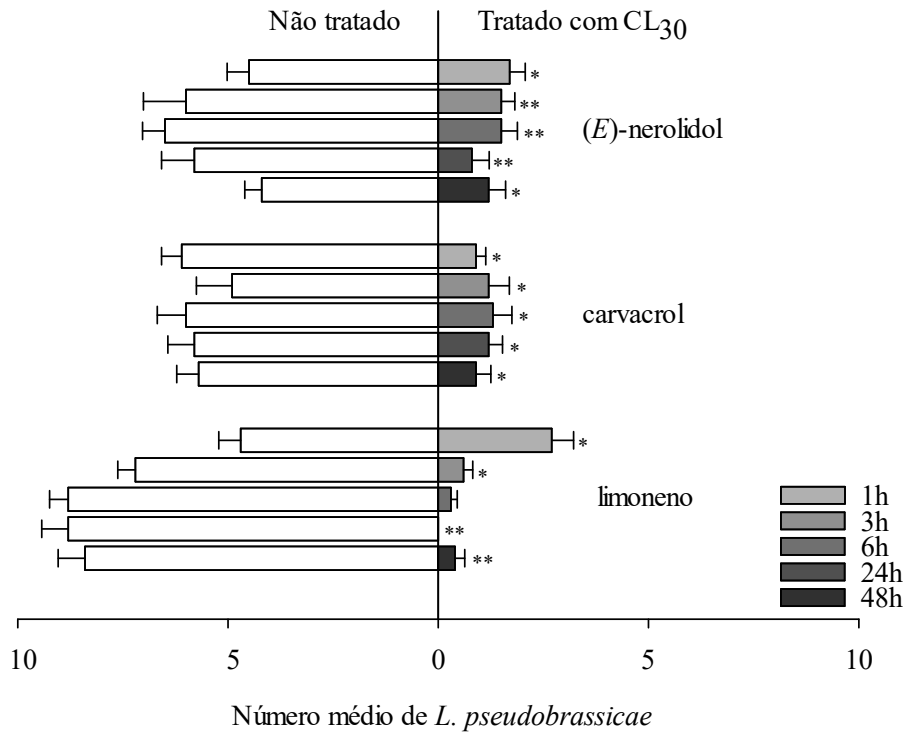


Figura 4. Média ( $\pm$ EP) de preferência de *L. pseudobrassicae* por discos foliares de couve não tratados e tratados com a CL<sub>30</sub> dos constituintes majoritários (*E*)-nerolidol (58,22  $\mu\text{l.mL}^{-1}$ ), carvacrol (44,11  $\mu\text{l.mL}^{-1}$ ) e limoneno (72,15  $\mu\text{l.mL}^{-1}$ ). (\*) indica diferença estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste t ( $P<0,05$ ). (\*\*) indicam diferenças estatística entre os tratamentos e o controle pelo teste de Mann-Whitney U ( $P<0,05$ ).

### CAPÍTULO 3

EFEITOS SUBLETAIS DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Melaleuca leucadendra* e (*E*)-  
nerolidol SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS)  
(HEMIPTERA: APHIDIDAE)

MAYARA F. SANTOS<sup>2</sup>; CLAUDIO A.G. CAMARA<sup>3</sup>; VANESKA B. MONTEIRO<sup>2</sup> &  
MARCÍLIO M. MORAES<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Departamento de Fitossanidade, Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, PE –Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Química, Produtos Naturais, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900, Recife, PE –Brasil.

---

<sup>1</sup>Santos, M.F., C.A.G. Camara, V.B. Monteiro, M.M Moraes, C.H.M. Lima, A.M.S. Almeida & L.D. Ferreira. Sublethal effects of *Melaleuca leucadendra* essential oil and (*E*)-nerolidol on the development of *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Hemiptera: Aphididae) and anticholinesterase effects of different essential oils. A ser submetido.

RESUMO – Os Inseticidas promovem efeitos letais e subletais aos insetos-praga. Tabela de vida e fertilidade é uma ferramenta para avaliar parâmetros populacionais e biológicos de uma espécie. Este trabalho objetivou investigar os efeitos subletais do óleo essencial (OE) de *Melaleuca leucadendra* e (*E*)-nerolidol sobre o desenvolvimento de *Lipaphis pseudobrassicae* através da construção de tabela de vida. Ninfas (N1) foram tratadas com a CL<sub>30</sub> de *M. leucadendra* (2,85µl.mL<sup>-1</sup>) e (*E*)-nerolidol (5,82µl.mL<sup>-1</sup>) e avaliadas diariamente até sua morte. (*E*)-nerolidol reduziu o período reprodutivo, pós-reprodutivo, longevidade de adultos, fecundidade total e ciclo biológico, enquanto *M. leucadendra* prorrogou a longevidade de adultos. A taxa de sobrevivência ( $s_{xj}$ ) regrediu, a fecundidade específica ( $m_x$ ) retardou quando foram tratadas com (*E*)-nerolidol. Sobrevivência específica ( $l_x$ ) e maternidade líquida ( $l_x m_x$ ) tiveram redução acentuada para (*E*)-Nerolidol, seguido de *M. leucadendra*. O Tempo médio entre geração (T) e Taxa líquida reprodutiva ( $R_0$ ), foram significativamente aumentados e reduzidos, respectivamente por *M. leucadendra* e (*E*)-Nerolidol. A taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) e finita de aumento ( $\lambda$ ) foram reduzidas por (*E*)-Nerolidol, seguido de *M. leucadendra*, a ultima também prolongou algumas características biológicas, causando hormese. Esses resultados são importantes para direcionar estratégias para manejo contra esse inseto-praga utilizando o composto bioativo (*E*)-Nerolidol. No entanto, é importante a realização de estudos mais precisos sobre a atuação de concentrações subletais do OE de *M. leucadendra* sobre *L. pseudobrassicae*, sobretudo, em seu comportamento e influencia em inimigos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Composto majoritário, parâmetros biológicos, parâmetros populacionais, tabela de vida, biologia.

SUBLETHAL EFFECTS OF *Melaleuca leucadendra* ESSENTIAL OIL AND (*E*)-nerolidol  
ON THE DEVELOPMENT OF *Lipaphis pseudobrassicae* (DAVIS) (HEMIPTERA:  
APHIDIDAE)

**ABSTRACT** – Insecticides promote lethal and sublethal effects on insect pests. Life and fertility table is a tool to evaluate population and biological parameters of a species. This work aimed to investigate the sublethal effects of essential oil (EO) of *Melaleuca leucadendra* and (*E*)-nerolidol on the development of *Lipaphis pseudobrassicae* through the construction of a life table. Nymphs (N1) were treated with *M. leucadendra* LC<sub>30</sub> (LC<sub>30</sub> 2.85µl.mL<sup>-1</sup>) and (*E*)-nerolidol (5.82µl.mL<sup>-1</sup>) and evaluated daily until death. (*E*)-nerolidol reduced the reproductive period, post-reproductive, adult longevity, total fecundity and biological cycle, while *M. leucadendra* prolonged adult longevity. Survival rate ( $s_{xj}$ ) regressed, specific fecundity ( $m_x$ ) delayed when they were treated with (*E*)-nerolidol. Specific survival ( $l_x$ ) and net maternity ( $l_x m_x$ ) were markedly reduced for (*E*)-Nerolidol, followed by *M. leucadendra*. Mean time between generation (*T*) and net reproductive rate ( $R_0$ ) were significantly increased and reduced, respectively by *M. leucadendra* and (*E*)-nerolidol. The intrinsic rate of growth ( $r_m$ ) and finite of increase ( $\lambda$ ) were reduced by (*E*)-nerolidol, followed by *M. leucadendra*, the latter also prolonged some biological characteristics, causing hormesis. These results are important to guide management strategies against this pest using the bioactive compound (*E*)-nerolidol. However, it is important to carry out more precise studies on the performance of sublethal concentrations of *M. leucadendra* EO on *L. pseudobrassicae*, especially on its behavior and influence on natural enemies.

**KEY WORDS:** majority compound, biological parameters, population parameters, life table, biology.

## Introdução

A espécie *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Hemiptera: Aphididae), o pulgão da mostarda ou do nabo tem alimentação específica em hospedeiros cultivados da família Brassicaceae no mundo (Blackman & Eastop 2000, Agarwala *et al.* 2009, Ali *et al.* 2018, Fening *et al.* 2020, Adenka *et al.* 2021). Esses afídeos danificam as plantas diretamente através da alimentação, sugando a seiva tanto por imaturos quanto por adultos e ainda injetam toxinas (Liu & Sparks Jr. 2001, Singh & Dhiman 2018, Moura *et al.* 2019) e indiretamente com a excreção do “honeydew”, fonte para o crescimento de fungos conhecido como fumagina que se desenvolve recobrando a folha e consequentemente dificultando a fotossíntese, além de serem vetores de viroses (Liu & Sparks Jr. 2001).

O afídeo em questão é uma espécie altamente prolífica, podendo chegar até 35 gerações por ano em condições tropicais (Blackman & Eastop 2000), se desenvolvendo rapidamente, gerando grandes colônias em curto período de tempo. A reprodução das fêmeas ocorre predominantemente por partenogênese telítica, dando origem apenas descendentes fêmeas vivíparas ápteras e aladas com estágio ninfal dividido em quatro instares até a fase adulta em regiões tropicais (Liu & Sparks Jr 2001, Blackman & Eastop 2007, 2007a).

Os pesticidas, sejam sintéticos ou naturais, além de causar a mortalidade através de uma dose ou concentração letal, ainda promovem os efeitos subletais (Ma *et al.* 2019, Mahmoodi *et al.* 2020, Mostafiz *et al.* 2020, Rajabi *et al.* 2022) que também devem ser considerados para verificar o total desempenho do produto. Embora, doses e concentrações subletais de inseticidas não sejam letais para uma população de determinado inseto-praga, é possível que após a exposição haja efeitos negativos sobre parâmetros de dinâmica populacional, comportamental e biológicos, uma vez que podem alterar o desenvolvimento, a longevidade e a reprodução desses indivíduos (Stark & Banks

2003, Andrade *et al.* 2012, Djomaha *et al.* 2016, Chen *et al.* 2016, França *et al.* 2017, Ma *et al.* 2019, Mostafiz *et al.* 2020).

Como não há nenhum tipo de inseticida registrado para o manejo e controle do afídeo *L. pseudobrassicae* em Brassicaceae (MAPA, 2019), se faz necessário o desenvolvimento de estratégias eficientes de controle de insetos-praga. Para isso, é importante o uso de ferramentas que estude e compreenda a ecologia, interação e dinâmica populacional dos insetos para que haja um manejo correto (Huang & Chi 2011, Chi *et al.* 2020). Estudos de tabela de vida é uma prática confiável, uma vez que avalia dados sobre parâmetros populacionais e biológicos e pode fornecer informações abrangentes sobre o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de uma população de insetos-praga (Acka *et al.* 2015, Chi *et al.* 2020). Sendo que o método da tabela de vida de dois sexos e idade, considera a diferença de crescimento entre os indivíduos e estágio de desenvolvimento (Chi *et al.* 2020), o que nos trará dados importantes sobre a dinâmica de uma população sob determinada circunstância.

O uso de óleos essenciais e compostos químicos, oriundo do metabolismo de defesa das plantas (Gabo-Neto & Lopes 2007) vem sendo estudados com frequência como potencial inseticida de diversas espécies vegetais (Ikbali & Pavela 2019, Isman 2020). Assim como, o óleo essencial de *Melaleuca leucadendra* (L.) L. e seu composto majoritário, o sesquiterpeno (*E*)-nerolidol, os quais possuem potencial biopesticida já comprovados como, atividades inseticida e acaricida (Câmara *et al.* 2015, Silva *et al.* 2020, Ghoneim *et al.* 2021), antimicrobiana e anti-inflamatória (Chan *et al.* 2016, Monzote *et al.* 2020, Diallo *et al.* 2022), onde derivados de nerolidol são facilmente encontrados em biomas brasileiros (Moura *et al.* 2020). No entanto, ainda não há estudos sobre os efeitos subletais de *M. leucadendra* e (*E*)-nerolidol sobre *L. pseudobrassicae*.

Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos subletais do óleo essencial de *M. leucadendra* e seu constituinte majoritário (*E*)-nerolidol sobre os parâmetros populacionais e biológicos de *L. pseudobrassicae* através da elaboração de tabela de vida.

## **Material e Métodos**

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Investigação Química de Inseticidas Naturais (LABIQIN) no Departamento de Fitossanidade, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

**Obtenção dos Óleos Essenciais e Compostos Majoritários.** O Óleo Essencial (OE) de *M. leucadendra* e *Lippia gracilis* foram obtidos a partir das folhas frescas submetidas à técnica de hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger modificado, separados da água por diferença de densidade e após secos com sulfato de sódio anidro. Após a extração, o OE foi armazenado em frascos de vidros âmbar sob refrigeração (-5°C) para uso posterior. O OE de *Citrus reticulata* extraído a partir da casca dos frutos e os constituintes majoritários (*E*)-nerolidol, limoneno e carvacrol foram adquiridos da empresa Sigma-Aldrich Brasil ou Ferquímica Ind. e Com. Ltda, os quais permaneceram armazenados em ambiente recomendado para o uso posterior.

**Criação de Insetos em Casa de Vegetação.** Foi utilizada a criação pré-estabelecida de *L. pseudobrassicae* mantida em plantas de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) dentro de gaiolas com telas antiafídicas (1x1,20x0,60 m), sobre bancada no interior de casa de vegetação sob condições de temperatura média 30±5° C e 55±5% UR registradas por um termohigrógrafo e Fotoperíodo natural (±12h) (adaptado de Fonseca *et al.* 2003). As sementes de couve manteiga foram semeadas em bandejas de isopor (272x280 mm e 64 células), contendo o substrato do tipo “terra preparada” composta por terra vegetal, esterco animal, pó de coco e pó de carvão, adquirida em lojas de produtos agropecuários em Recife-PE. Após 20 dias da semeadura as mudas foram

transferidas para vasos com capacidade de 3L contendo o mesmo substrato. Foi realizado o plantio semanalmente para obtenção de plantas com idade adequadas para a manutenção da criação e quando necessário as colônias de pulgões foram transferidas para novas plantas.

**Desenvolvimento de *Lipaphis pseudobrassicae* Submetido a Concentração Subletal.** A concentração subletal utilizada foi a  $CL_{30}$  do OE de *M. leucadendra* ( $28,45 \mu\text{l.mL}^{-1}$ ) e seu constituinte majoritário (*E*)-nerolidol ( $58,2 \mu\text{l.mL}^{-1}$ ), definidas em bioensaios de toxicidade por contato tópico sobre fêmeas adultas. Para os bioensaios da construção da tabela de vida e fertilidade, fêmeas adultas provenientes da criação foram transferidas para placas de Petri plásticas (5 cm Ø) com aeração na tampa contendo disco de papel filtro úmido (5 cm Ø) e disco de folha de couve (3,5 cm Ø) durante 24h. Após esse período, os adultos foram removidos e apenas uma ninfa de primeiro instar (N1) com até 24h de idade foi deixada em cada placa e em seguida tratada topicamente com  $0,2 \mu\text{l}$  de cada solução a partir das  $CL_{30}$  que foram divididas por dez, por tanto, foi utilizado  $2,85$  e  $5,82 \mu\text{l.mL}^{-1}$  para *M. leucadendra* e (*E*)-nerolidol, respectivamente, diluídos em água destilada, 1% de etanol e 0,5% de wil fix, espalhante adesivo, também usados como controle (adaptado de Mohamad *et al.* 2013). Cada tratamento continha 30 ou 40 ninfas N1 individualizadas em placas de Petri. A avaliação foi realizada diariamente com auxílio de um pincel de cerdas finas e estereomicroscópio até a morte do adulto para registro dos parâmetros duração do desenvolvimento ninfal, diferenciado pela presença de exúvias dos diferentes instares que foram retiradas após avaliação. Na fase adulta foram registrados o período reprodutivo e o número de descendentes através da contagem e em seguida descarte das ninfas produzidas por cada fêmea adulta e a mortalidade, diariamente. Os discos foliares de couve foram trocados a cada 2 dias e os discos de filtro eram umedecidos diariamente. Os bioensaios foram conduzidos em sala climatizada sob condições de  $25 \pm 2$  °C,  $70 \pm 10\%$  UR e fotoperíodo de 12h.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos mais o controle e 30 a 40 repetições. Os dados dos parâmetros biológicos, como duração do período ninfal, pré-reprodutivo, reprodutivo, pós-reprodutivo, longevidade, ciclo biológico, fecundidade e mortalidade foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) não paramétrica de Kruskal Wallis e ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnett ( $P < 0,05$ ) através do software SigmaPlot 12.0. A tabela de vida de dois sexos e idade foi estimada a partir dos parâmetros biológicos, a qual utilizou os seguintes parâmetros demográficos: (T) intervalo médio entre gerações, indica o intervalo de tempo em dias desde o nascimento de indivíduos entre duas gerações, ( $R_0$ ) taxa líquida de reprodução, indica o número total médio de ninfas produzido por uma fêmea durante uma geração, ( $r_m$ ) taxa de crescimento intrínseco, sugere como uma população crescerá sob condições ambientais constantes, ( $\lambda$ ) taxa finita de aumento, indica o número de indivíduos acrescentados à população por dia. A análise e cálculo dos parâmetros demográficos foram realizadas através do software TWOSEX-MSChart (Chi, 2017). As diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de bootstrap pareado ( $P \leq 0,05$ ) e os erros padrão médio foram calculados pelo método bootstraps (cem mil bootstraps) (Efron & Tibshirani, 1993).

## Resultados

### **Desenvolvimento de *Lipaphis pseudobrassicae* Submetido a Concentração Subletal.**

Para os parâmetros biológicos avaliados de *L. pseudobrassicae* tratados com a  $CL_{30}$  de *M. leucadendra* e (*E*)-nerolidol, foram registrados quatro períodos ninfais, havendo diferença entre o controle e os tratamentos para os instares 1 (N1) e 4 (N4), enquanto que o período ninfal total e período pré-reprodutivo não tiveram diferenças significativas entre os tratamentos e controle (Tabela 1). Já, o período reprodutivo em dias, foi menor para (*E*)-nerolidol ( $8,62 \pm 0,87$ ), quando

comparado ao resultado de *M. leucadendra* ( $18,26 \pm 0,67$ ) e controle ( $14,27 \pm 0,80$ ) (Tabela 1). O período pós-reprodutivo foi maior para *M. leucadendra* ( $3,00 \pm 0,61$ ), diferente de (*E*)-nerolidol ( $1,08 \pm 0,08$ ) com o menor tempo, mas ambos foram iguais estatisticamente ao controle ( $2,04 \pm 0,40$ ). Os adultos de *L. pseudobrassicae* apresentaram maior longevidade quando tratados com *M. leucadendra* ( $20,06 \pm 1,21$ ), diferindo do controle ( $16,83 \pm 0,95$ ) e (*E*)-nerolidol ( $9,64 \pm 0,95$ ) que apresentou menor longevidade. Para a fecundidade diária, referente ao número de ninfas produzida por dia, houve diferenças entre o controle ( $4,41 \pm 0,10$ ) e (*E*)-nerolidol ( $3,79 \pm 0,18$ ), enquanto que a fecundidade total (número de ninfas produzidas por fêmeas), foi menor para (*E*)-nerolidol ( $31,18 \pm 3,98$ ) e maior para *M. leucadendra* ( $66,41 \pm 4,66$ ) que foi igual ao controle ( $62,9 \pm 5,01$ ) (Tabela 1). O ciclo biológico, período em dias desde o nascimento da N1 até a morte do adulto, foi menor para (*E*)-nerolidol ( $17,36 \pm 0,99$ ) e maior para *M. leucadendra* ( $27,32 \pm 1,28$ ) que não houve diferença do controle ( $23,43 \pm 0,90$ ) (Tabela 1).

A taxa de sobrevivência por estágio de idade ( $s_{xj}$ ) para ninfas e fêmeas adultas de *L. pseudobrassicae* que foram tratadas topicamente com a  $CL_{30}$  de *M. leucadendra*, (*E*)-nerolidol e controle no primeiro dia de vida de ninfa (N1), foram acompanhadas seu desenvolvimento até a morte das adultas. As curvas representam a probabilidade de sobrevivência de uma ninfa (N1) recém-emergida até a idade  $x$  e estágio  $j$ , abrangendo a sobrevivência com diferenças de estágios de todos os indivíduos. A probabilidade de uma ninfa recém-emergida sobreviver até o estágio adulto foi menor para (*E*)-nerolidol com 0,7 no intervalo de trinta dias, diferente de *M. leucadendra* com 0,8, mas que ofereceu o intervalo de tempo maior, trinta e seis dias, quando comparada ao controle com 1,0 no período de trinta e três dias (Fig. 1).

A taxa de sobrevivência específica por idade ( $l_x$ ) não considera a diferenciação entre os estágios, uma vez que a curva de  $l_x$  teve redução acentuada nos grupos expostos a (*E*)-nerolidol (a partir do terceiro dia) e *M. leucadendra* (a partir do sexto dia) em comparação ao controle (a partir

do décimo segundo dia) (Fig. 2). Para a fecundidade específica ( $m_x$ ), o início do período reprodutivo de fêmeas do tratamento (*E*)-nerolidol foi retardado em um dia, enquanto que as fêmeas do tratamento com *M. leucadendra* e controle iniciaram antes, no sexto dia. O pico de fecundidade foi de 6,0; 5,3 e 5,9 para (*E*)-nerolidol, *M. leucadendra* e controle, respectivamente aos vinte e três, dezenove e treze dias de idade (Figura 2). Os valores de maternidade líquida ( $l_x m_x$ ) foram menores para os tratamentos (*E*)-nerolidol, alcançando o pico de 3,63 ninfas aos 13 dias, seguido de *M. leucadendra* com 4,0 ninfas aos 18 dias e controle 5,77 ninfas aos 12 dias.

Os parâmetros demográficos obtidos da população de *L. pseudobrassicae*, onde as ninfas (N1) foram tratadas topicamente com a CL<sub>30</sub> de *M. leucadendra*, (*E*)-nerolidol e controle são expostos na Tabela 2. O intervalo médio entre gerações (T) apresentou o maior período para *L. pseudobrassicae* submetidos a *M. leucadendra* com 14,11 dias e menor quando submetidos a (*E*)-nerolidol com 12,58 dias, embora o último não tenha diferido do controle. A taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) foi menor quando tratados com (*E*)-nerolidol com apenas 22,86 ninfas, diferente dos tratados com *M. leucadendra* e controle com uma  $R_0$  de 56,45 e 62,90 ninfas, respectivamente, não havendo diferença significativa entre si. Para a taxa de crescimento intrínseco ( $r_m$ ) e taxa finita de aumento ( $\lambda$ ), houve diferenças estatísticas entre os tratamentos e controle. A menor  $r_m$  foi observado para *L. pseudobrassicae* tratados com (*E*)-nerolidol (0,25) e maior quando submetidos ao controle (0,33), enquanto que a taxa finita de aumento foi maior no controle (1,38), seguido pelos submetidos a *M. leucadendra* (1,33) e (*E*)-nerolidol (1,28) (Tabela 2).

## Discussão

Os inseticidas naturais, derivados do metabolismo secundário das plantas, assim como óleos essenciais e compostos químicos bioativos (Taiz & Zeiger 2009, Vizzotto *et al.* 2010), atuam

gerando efeitos tóxicos e também subletais sobre insetos-praga (Guedes *et al.* 2016, Ma *et al.* 2019, Benelli *et al.* 2020, Mahmoodi *et al.* 2020, Mostafiz *et al.* 2020). Qualquer efeito que um inseticida possa causar na biologia ou características populacionais sobre insetos-praga sobreviventes, seja reduzindo a longevidade, fertilidade e ou alterando o período de desenvolvimento, também compreende o seu potencial inseticida e devem ser levados em consideração para o controle de pragas (Stark & Banks 2003, Ma *et al.* 2019, Müller 2017, Mostafiz *et al.* 2020). Ainda, as doses e concentrações de pesticidas usadas para alcançar efeitos subletais são inferiores as concentrações tóxicas (Stark & Banks 2003).

A presente pesquisa investigou os efeitos que as concentrações subletais estimadas, CL<sub>30</sub> de *M. leucadendra* e (*E*)-nerolidol ocasionam no desenvolvimento de *L. pseudobrassicae*. Foi observado que o (*E*)-nerolidol reduziu os seguintes parâmetros biológicos: período reprodutivo, pós-reprodutivo, longevidade de adultos, fecundidade total e ciclo biológico, enquanto que *M. leucadendra* prolongou significativamente a longevidade total de adultos. Alguns estudos que investigaram efeitos subletais sobre parâmetros biológicos de diferentes espécies de afídeos, se depararam com situações similares. Como exemplo, a concentração subletal de 20 mg/L de ácido tânico proporcionou o aumento do período pré-reprodutivo e reduziu a fecundidade de *Aphis gossypii* Glover (Ma *et al.* 2019). Fêmeas do pulgão dos cereais, *Metopolophium dirhodum* (Walker) expostas a CL<sub>20</sub> dos OE *Tagetes terniflora* Kunth e *Schinus areira* L. tiveram o período pré-reprodutivo aumentado, enquanto o tempo de reprodução foi regredido (Chopa & Descamps 2012). Já o benzoato de metila, um éster derivado do ácido benzoico na CL<sub>30</sub> (0,22%), a longevidade e fecundidade da geração parental F0 de *A. gossypii*, foram encurtadas (Mostafiz *et al.* 2020), e as CL<sub>20</sub> e CL<sub>40</sub> do óleo essencial de *Teucrium polium* L. também restringiu a longevidade e fertilidade de fêmeas de *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) (Ravan *et al.* 2019).

Segundo Müller 2018, em alguns casos, pequenas doses ou concentrações de inseticidas que não ocasionam a mortalidade, induzem o aumento de alguma característica do seu desenvolvimento. Fenômeno conhecido por hormese, assim, as populações de insetos em ambientes com baixas doses de inseticidas são induzidas ao aumento, ao contrário de ambientes com doses maiores de inseticidas, essa é uma resposta inversa também chamada bifásica (Guedes & Cutler 2014, Guedes *et al.* 2022), fato observado em *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) que teve a fecundidade significativamente aumentada quando submetido a concentrações subletais de inseticida sintéticos (Wang *et al.* 2017, Sial *et al.* 2018). Esse fenômeno pode nos esclarecer o motivo pelo o qual a concentração subletal CL<sub>30</sub> de *M. leucadendra* em nossa pesquisa, induziu um aumento significativo de algumas características biológicas e populacionais como longevidade de adultos e tempo médio entre gerações, o chamado hormese induzida por inseticidas. Dessa maneira, uma resposta bifásica pode influenciar o aumento de uma população de insetos-praga.

Após exposição de uma população a substâncias tóxicas, os insetos sobreviventes ainda podem ter danos significativos (Müller 2018), o que normalmente ocorre durante o manejo em campo quando há aplicações de concentrações que causam a morte rápida das espécies-praga e os resíduos desses inseticidas permanecem no ambiente e se degradam em longo prazo, caracterizando a exposição subletal das espécies ali presentes (Badji *et al.* 2007, Guedes *et al.* 2016). Em nossa pesquisa foi observado que a concentração subletal de (*E*)-nerolidol proporcionou as menores taxas de sobrevivência e fecundidade específica de *L. pseudobrassicae*, assim como, os OEs de *Achillea millefolium* L. e *Mentha pulegium* L. também reduziram a taxa de sobrevivência específica de *A. gossypii* em concentrações subletais (Akbari & Aramideh 2022). De acordo com estudos demográficos sobre a atuação de substâncias tóxicas contra populações de insetos-praga, normalmente confeccionados através de tabela de vida, a qual disponibiliza respostas sobre o efeito no crescimento populacional ao longo da vida do organismo, a demografia é considerada a forma

mais adequada para avaliar o efeito de substâncias tóxicas sobre uma população (Starks & Banks 2003).

Os parâmetros demográficos de *L. pseudobrassicae* avaliados em nosso estudo, sofreram influências das concentrações subletais  $CL_{30}$  de *M. leucadendra*, a qual aumentou o tempo médio entre as gerações (T) e (E)-nerolidol reduziu as Taxas líquida de reprodução ( $R_0$ ), intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) e finita de aumento ( $\lambda$ ). Resultados equivalentes foram notados quando os OEs de *T. terniflora* e *S. areira* na  $CL_{20}$  aumentaram o T e reduziram a  $R_0$ ,  $r_m$  e  $\lambda$ , comparados ao controle sobre a população do afídeo *M. dirhodum* (Chopa & Descamps 2012), assim como, foi registrada uma regressão da  $R_0$  e  $r_m$  de *A. gossypii* submetidos as concentrações subletais dos OEs de *M. pulegium* e *A. millefoliu* (Akbari & Aramideh 2022). O fator de redução também foi observado mais uma vez para *A. gossypii* sobre  $R_0$ ,  $r_m$  e  $\lambda$  em insetos que tiveram contato com concentrações subletais de ácido tânico, gossipol (Ma *et al.* 2019), e benzoato de metila sobre a geração F1 (Mostafiz *et al.* 2020). Também houve decréscimo na  $r_m$  de *A. fabae* sobre as  $CL_{20}$  e  $CL_{40}$  do OE de *T. polium* (Ravan *et al.* 2019) e nas características populacionais, T,  $R_0$ ,  $r_m$  e  $\lambda$  de *Brevicoryne brassicae* L. tratados com concentrações subletais do OE de *Thymus daenensis* Celak. (Heidary *et al.* 2020).

Os diferentes parâmetros demográficos além de apontar o desempenho dos insetos, identifica o momento oportuno para minimizar a população, através do tempo médio de geração, taxa líquida de reprodução, intrínseca de crescimento e taxa finita de aumento, pois esses sugerem o crescimento populacional da espécie (Carey 1993, Maia *et al.* 2000). A taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) propõe como uma população crescerá exponencialmente em condições estáveis, parâmetro relevante para estudos que desejam avaliar a capacidade de populações de insetos sobreviver em ambientes instáveis (Birch 1948, Stark & Banks 2003). Para calcular a  $r_m$ , se faz necessário informações a respeito da sobrevivência e fecundidade de uma população, geralmente

obtidos a partir de estudos individuais ou grupos. Assim, uma população está crescendo quando  $r_m > 0$ , está estável quando  $r_m = 0$ , e está declinando quando  $r_m < 0$  (Carey 1993, Stark & Banks 2003). Uma vez que as  $r_m$  observados para *L. pseudobrassicae* submetido a concentrações subletais de *M. leucacendra* e (*E*)-nerolidol no presente estudo, foram maiores do que zero, mesmo sendo menores do que o controle, indicando que há crescimento exponencial da população. De acordo com Starks & Banks 2003, os sobreviventes de uma população tendem a aumentar o potencial reprodutivo, pois há menor concorrência por recursos, caracterizando assim a compensação populacional, fato que acontece sob condição de estresse das populações.

Essa pesquisa fornece novas informações importantes sobre os parâmetros populacionais e características da biologia e desenvolvimento de *L. pseudobrassicae* exposto a concentrações subletais do OE de *M. leucadendra* e o composto (*E*)-Nerolidol, o qual proporcionou a redução do período reprodutivo, pós-reprodutivo, longevidade de adultos, fecundidade total, ciclo biológico, taxa de sobrevivência, fecundidade específica, taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) e taxa finita de aumento ( $\lambda$ ), enquanto *M. leucadendra* prolongou a longevidade de adultos e o Tempo médio entre geração ( $T$ ), podendo ter ocasionado a hormese induzida por inseticidas. Esses resultados mostram a importância do composto bioativo (*E*)-nerolidol sobre a dinâmica populacional de *L. pseudobrassicae*, que pode direcionar estratégias de manejo dessa praga, principalmente em culturas de Brassicaceae. No entanto, é de grande importância a realização de estudos mais precisos sobre a atuação de concentrações subletais do OE de *M. leucadendra* sobre *L. pseudobrassicae*, sobretudo, em seu comportamento e influencia em inimigos naturais.

## Agradecimentos

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

## Literatura Citada

- Akbari, S & S. Aramideh. 2022.** Fumigant toxicity and sublethal effects of *Achillea millefolium* (Asteraceae) and *Mentha pulegium* (Lamiaceae) essential oils on life table parameters of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). Open Access J. Medicinal Aromat. Plants. 38.
- Akca, I., T. Ayvaz., E. Yazici., C.L. Smith & H. Chi. 2015.** Demography and population projection of (Hemiptera: Aphididae): with additional comments on life table research criteria. J Econ Entomol. 108: 1466-1478.
- Adenka, K.D., K.O. Fening., K. Afreh-Nuamah., F.O. Wamonje & J.P. Carr. 2021.** Susceptibility of five cabbage varieties to attack by aphids (Hemiptera: Aphididae) in the Accra plains of Ghana. Phytoparasitica. 49: 33-47.
- Ali, H.B. 2018.** Abundance of aphids (Homoptera: Aphididae) associated with *Brassicaceae* crops in Iraq. Biosci. Res. 2: 975-979.
- Agarwala, B.K., K. Das & P. Raychoudhury. 2009.** Morphological, ecological and biological variations in the mustard aphid, *Lipaphis pseudobrassicae* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae) from different host plants. J. Asia-Pac Entomol. 12: 169-173.
- Andrade, L.H., J.V. Oliveira., M.O. Breda., E.J. Marques & I.M.M., Lima. 2012.** Effects of botanical insecticides on the instantaneous population growth rate of *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) in cotton. Acta Scient. 34: 119-124.
- Badji, C.A., R.N.C, Guedes., A.A, Silva., A.S, Corrêa., M.E.L.R, Queiroz & M. Michereff-Filho. 2007.** Non-target impact of deltamethrin on soil arthropods of maize fields under conventional and no-tillage cultivation. J. Appl. Entomol. 131:50-58.
- Benelli, G., R. Pavela., E. Drenaggid., N. Desneuxe & F. Maggi. 2020.** Phyto, (E)-nerolidol and spathulenol from *Stevia rebaudiana* leaf essential oil as effective and eco-friendly botanical insecticides against *Metopolophium dirhodum*. Ind Crops Prod. 155: 112844.
- Birch, L. 1948.** The intrinsic rate of natural increase of an insect population. J Anim Ecol. 1:15 -26.

- Blackman, R.L & V.F. Eastop. 2000.** Aphids on the World's Crops: An Identification and Information Guide. The Natural History Museum. John Wiley and Sons, Ltd., New York, 476p.
- Blackman, R.K. & V.F. Eastop. 2007.** Taxonomic issues, p.1-29. In: H. Van Emden & R. Harrington (eds.), Aphids as crop pests, 2ed. CABI Publishing, Wallingford. 679p. Disponível em: [https://plu.mx/a/?cabi\\_abstract\\_id=20073203984](https://plu.mx/a/?cabi_abstract_id=20073203984) Acessado em: fev de 2023.
- Blackman, R.L & V.F. Eastop. 2007a.** Aphids on the World's Plants: an online identification and information guide. Disponível em: [http://www.aphidsonworldsplants.info/d\\_APHIDS\\_L.htm#Lipaphis](http://www.aphidsonworldsplants.info/d_APHIDS_L.htm#Lipaphis) Acessado: fev de 2023.
- Câmara, C.A.G., J.P.R. Melo & M.M.C. Silva. 2015.** Insecticidal activity of *Melaleuca leucadendra* and *Citrus reticulata* essential oils against larvae of *Plutella xylostella*. Rev. Protec. Veg. 30: 39.
- Carey, J.R. 1993.** Applied demography for biologists: with special emphasis on insects. Oxf J Leg Stud.
- Chaiyana, W & S. Okonogi. 2012.** Inhibition of cholinesterase by essential oil from food plant. Phytomedicine. 19: 836-839.
- Chan, W.K., L.T.H. Tan., K.G. Chan., L.H. Lee & B.H. Goh. 2016.** Nerolidol: A Sesquiterpene Alcohol with Multi-Faceted Pharmacological and Biological Activities. Molecules. 21: 529.
- Chaubey, M.K. 2019.** Essential oils as green pesticides of stored grain insects. Eur J Biol Res. 9: 202-244.
- Chen, X., K. Ma., F. Li., P. Liang., Y. Liu., T. Guo., D. Song., N. Desneux & X. Gao. 2016.** Sublethal and transgenerational effects of sulfoxaflor on the biological traits of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). Ecotoxicology. 25: 1841–1848.
- Chi, H. 2017.** TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chunh Hsing University, Taichung, Taiwan. Disponível em: <http://140.120.x197.173/Ecology/Dawnload/Twosex-MSChart-B100000.rar> Acessado em fev de 2023.
- Chi, H., M. You., R. Athhan., C.L. Smith., A. Kavousi., M.S. Özgökçe., A. Güncan., S.J. Tuan., J.W. Fu., Y.Y. Xu, et al. 2020.** Age-Stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. Entomol. Gen. 40: 103-124.
- Chopa, C.S & L.R. Descamps. 2012.** Composition and biological activity of essential oils against *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae) cereal crop pest. Pest Manag Sci. 68: 1492-1500.
- Diallo, A., Y. Tine., M. Sène., M. Diagne, A. Diop., S. Ngom., I. Ndoye., C.SB. Boye., G.Y. Sy., J. Costa., A. Wélé & J. Paolini. 2022.** The essential oil of *Melaleuca leucadendra* L.

(Myrtaceae) from Fatick (Senegal) as a source of methyleugenol. Composition, antibacterial and anti-inflammatory activities. J. Essent. Oil Res. 34:322-328.

**Djomaha, E.S., R.T. Ghogomu., R. Hanna., E.S. Ngatat., N.F. Lontchi. 2016.** The effects of extract of *Azadirachta indica* (Neem) oil and Imidacloprid (IRON 30SC) on the population dynamics of *Brevicoryne brassicae*, *Lipaphis pseudobrassicae* and *Plutella xylostella* on white cabbage. Int. J. Agri. Agri. R. 8: 135-142.

**Efron, B & Tibshirani, R. 1993.** An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall.

**Ellman, G.L., K.D. Courtney, V. Andres Jr & R.M. Featherstone. 1961.** A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. Biochem. Pharmacol. 7:88-95.

**Fening, K.O., E.E. Forchibe., F.O. Wamonje., I. Adama., K. Afreh-Nuamah & J.P. Carr. 2020.** First Report and Distribution of the Indian Mustard Aphid, *Lipaphis erysimi pseudobrassicae* (Hemiptera: Aphididae) on Cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata*) in Ghana, J. Econ. Entomol. 113: 1363-1372.

**França, S.M., M.O. Breda., D.R.S. Barbosa., A.M.N. Araujo & C.A. Guedes. 2017.** The Sublethal Effects of Insecticides in Insects, p. 23-39. In. Shields, V.D.C (ed), Biological Control of Pest and Vector Insects. InTech, 360p.

**Georgiev, B., M. Nikolova., I. Aneva., A. Dzhurmanski., B. Sidjimova & S. Berkov. 2022.** Plant products with acetylcholinesterase inhibitory activity for insect control. BioRisk. 17: 309-315.

**Ghoneim, K., K. Hamadah., S. Selim & H. Waheeb. 2021.** Biopesticidal potential of nerolidol, a sesquiterpene compound, and its drastic impact on growth and metamorphosis of the cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). Scholars Acad. J. Biosci. 9: 36-57.

**Gobbo-Neto, L & N.P. Lopes. 2007.** Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. Quím. Nova 30: 374-381.

**Guedes, R.N.C & G.C. Cutler. 2014.** Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. Pest Management Science. 70: 690-697.

**Guedes, R.N.C., G. Smagghe., J.D. Stark & N. Desneux. 2016.** Pesticide-Induced Stress in Arthropod Pests for Optimized Integrated Pest Management Programs. Annu. Rev. Entomol. 61:43-62.

**Guedes, R.N.C., R.R. Rix & G.C. Cutler. 2022.** Pesticide-induced hormesis in arthropods: Towards biological systems. Curr. Opin. Toxicol. 29: 43-50.

**Heidary, M., S. Jafari., J. Karimzadeh., M. Negahban & J. Shakarami. 2020.** The effects of pure and nanocapsulated formulations of *Thymus daenensis* Celak. (Lamiaceae) essential oil

on life-table parameters of cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) (Hem.: Aphididae). Pest Manag. Sci. 10: 15-32.

**Huang, Y.B & H. Chi. 2011.** The Age-Stage, Two-Sex Life Table with an Offspring Sex Ratio Dependent on Female Age. J. Agri. & Fore. 60: 337-345.

**Ikbal, C & R, Pavela. 2019.** Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. J. Pest Sci.

**Isman, M.B. 2020.** Bioinsecticides based on plant essential oils: a short overview. Z. Naturforsch, 75: 179-182.

**Jankowska, M., J. Rogalska., J. Wyszowska & M. Stankiewicz. 2017.** Molecular Targets for Components of Essential Oils in the Insect Nervous System-A Review. Molecules. 23: 34.

**Jukic, M., O. Politeo., M. Maksimovic & M. Milos. 2007.** In vitro acetylcholinesterase inhibitory properties of thymol, carvacrol and their derivatives thymoquinone and thymohydroquinone. Phytother. Res., 21:259-26.

**Kim, J.I., C.S. Jung., Y.H. Koh & S.H. Lee. 2006.** Molecular, biochemical and histochemical characterization of two acetylcholinesterase cDNAs from the German cockroach *Blattella germanica*. Insect Biochem. Mol. Biol. 15: 513-522.

**Liu, T.X & A.N. Sparks Jr, 2001.** Aphids on Cruciferous Crops: Identification and Management. 12p. Disponível em: <<http://AgriLifebookstore.org>>. Acessado em fev de 2023.

**Liu, J., J. Hua., B. Gu., X. Guo., Y. Wang., M. Shao & S. Luo. 2021.** Insecticidal terpenes from the essential oils of *Artemisia nakaii* and their inhibitory effects on acetylcholinesterase. Front. Plant Sci. 12: 720816.

**Lopez, M.D & M.J. Pascual-Villalobos. 2010.** Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. Ind Crops Prod.31: 284-288.

**Lu, Y.H., He, Y.P & X.W. Gao. 2013.** Comparative studies on acetylcholinesterase characteristics between the aphids, *Sitobion avenae* and *Rhopalosiphum padi*, J. Insect Sci. 13: 9.

**Ma, K., Q. Tang., P. Liang., J. Xia., B. Zhang & X. Gao. 2019.** Toxicity and sublethal effects of two plant allelochemicals on the demographical traits of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). PLoS One. 14: e0221646.

**Mahmoodi, L., F. Mehrkhoo., N. Guz., M. Forouzan & R. Atlihan, 2020.** Sublethal effects of three insecticides on fitness parameters and population projection of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). J. Econ. Entomol. 113: 2713-2722.

- Maia, A.H.N., A.J.B. Luiz & C. Campanhola. 2000.** Statistical inference on parameters associated with fertility life tables using the jackknife technique: Computational aspects. *J. Econ. Entomol.* 93: 511-518.
- MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários-Agrofit. 2019. Brasília. Disponível em: <[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)> Acessado em maio de 2022.
- Miyazawa, M. & C. Yamafuji. 2006.** Inhibition of acetylcholinesterase activity by tea tree oil and constituent terpenoids. *Flavour Fragr J.* 21:198-201.
- Mohamad, S.F.S., S. Mohamad & A.A. Aziz. 2013.** The Susceptibility of Aphids, *Aphis gossypii* Glover to Lauric Acid based Natural Pesticide. *Procedia Eng.* 53:20-28.
- Monzote, L., A.M. Scherbakov., R. Scull., P. Satyal., P. Cos., A.E. Shchekotikhin., L. Gille & W.N. Setzer. 2020.** Essential Oil from *Melaleuca leucadendra*: Antimicrobial, Antikinetoplastid, Antiproliferative and Cytotoxic Assessment. *Molecules.* 25:5514.
- Moura, A.P., J.A. Guimarães., J. Silva., I.M.R. Guedes & D.C.P. Leal. 2019.** Recomendações técnicas para o manejo de pragas em brassicaceas com vistas à produção integrada de hortaliças folhosas. Brasília, Embrapa Hortaliças, 32p. (Documentos 170).
- Moura, D.F., R.D. Martins & M.V. Silva. 2020.** Nerolidol: Fitoconstituente de Óleos Essenciais de Plantas da Caatinga. *Braz. J. of Develop.* 5: 33402-33416.
- Mostafiz, M.M., M.B. Alam., H. Chi., E. Hassan., J.K. Shim & K.Y. Lee. 2020.** Effects of Sublethal Doses of Methyl Benzoate on the Life History Traits and Acetylcholinesterase (AChE) Activity of *Aphis gossypii*. *Agronomy.* 10: 1313.
- Müller, C. 2017.** Impacts of sublethal insecticide exposure on insects - Facts and knowledge gaps. *Basic Appl Ecol.* 30.
- Petrachaiyanan, T., S. Chaiyasirisuwan., S. Athikomkulchai & V. Sareedenchai. 2019.** Screening of acetylcholinesterase inhibitory activity in essential oil from Myrtaceae. *Thai J. Pharm. Sci.*43: 63-68.
- Piccialli, I., V. Tedeschi., L. Caputo., G. Amato., L. De Martino., V. De Feo., A. Secondo & A. Pannaccione. 2021.** The Antioxidant Activity of Limonene Counteracts Neurotoxicity Triggered by A $\beta$ <sub>1-42</sub> Oligomers in Primary Cortical Neurons. *Antioxidants.* 10:937.
- Rajabi, H., S.A. Safavi & M. Fourouzan. 2022.** Biological parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*, encountering the sublethal concentration (LC25) of chlorfluazuron. *Plant dis. pests.* 12: 21-34.
- Ravan, S., A. Khani & S. Sufi. 2019.** Fumigant toxicity and sublethal effects of *Teucrium polium* essential oil on *Aphis fabae scopoli* A. *Chinese Herb. Med.* 11: 231-235.

- Sial, M.U., Z. Zhao., L. Zhang., Y. Zhang., L. Maolt & H. Jiang. 2018.** Evaluation of insecticide-induced hormesis on the demographic parameters of *Myzus persicae* and alterations in the expression of metabolic resistance detoxification genes. *Sci Rep.* 8: 16601.
- Silva, M.M.C., C.A.G. Camara., M.M. Moraes., J.P.R. Melo., R.B. Santos & R.C.S. Neves. 2020.** Insecticidal and Acaricidal Activity of Essential Oils Rich in (*E*)-nerolidol from *Melaleuca leucadendra* Occurring in the State of Pernambuco (Brazil) and Effects on Two Important Agricultural Pests. *J. Braz. Chem. Soc.* 31:813-820.
- Singh, N & S. Dhiman, 2018.** Quality and Quantity Loss by Aphid Infestation in Vegetables Grown under Protected Cultivation in Ladakh Region. *Def. Life Sci. J.* 3:71-74.
- Stark, J.D & J.E. Banks. 2003.** Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annu Rev Entomol.* 48: 505–519.
- Taiz, L & Zeiger, E. 2009.** Secondary Metabolites and Plant Defense, p. 342-372. In: L. Taiz and E. Zeiger (eds.), *Plant Physiology*, Sinauer Associates Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts U.S.A. 778p.
- Vizzotto, M., A.C. Krolow & G.E.B. Weber. 2010.** Metabólitos Secundários Encontrados em Plantas e sua Importância. Pelotas-RS, Embrapa Clima Temperado, 17p. (Documentos 316).
- Wang, P., L.L. Zhou., F. Yang., M. Li., X.M. Liu., Y. Wang., C.L. Lei & S.Y. Si. 2017.** Sublethal effects of thiamethoxam on the demographic parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 110: 1750-1754.

Tabela 1. Parâmetros biológicos de *Lipaphis pseudobrasicae* submetidos a concentração subletal (CL<sub>30</sub>) de *Melaleuca leucadendra* e (E)-nerolidol em condições de laboratório.

| Parâmetros biológicos            | Média±EPM <sup>1</sup> |                                              |                                      |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                  | Controle               | <i>M. leucadendra</i><br>(CL <sub>30</sub> ) | (E)-nerolidol<br>(CL <sub>30</sub> ) |
| Ninfa de instar 1 (N1)           | 1,13±0,06 b            | 1,70±0,11 a                                  | 1,90±0,14 a                          |
| Ninfa de instar 2 (N2)           | 1,67±0,10 a            | 1,88±0,11 a                                  | 1,82±0,15 a                          |
| Ninfa de instar 3 (N3)           | 1,70±0,08 a            | 1,90±0,11 a                                  | 2,05±0,12 a                          |
| Ninfa de instar 4 (N4)           | 2,07±0,13 a            | 1,91±0,14 b                                  | 1,95±0,14 b                          |
| Período ninfal (total)           | 6,60±0,15 a            | 7,26±0,16 a                                  | 7,73±0,24 a                          |
| Período pré-reprodutivo (dias)   | 0,57±0,09 a            | 0,35±0,08 a                                  | 0,48±0,15 a                          |
| Período reprodutivo (dias)       | 14,27±0,80 a           | 18,26±0,67 a                                 | 8,62±0,87 b                          |
| Período pós-reprodutivo (dias)   | 2,04±0,40 ab           | 3,00±0,61 a                                  | 1,08±0,08 b                          |
| Longevidade adulto (dias)        | 16,83±0,95 b           | 20,06±1,21 a                                 | 9,64±0,95 c                          |
| Fecundidade diária (ninfas/dia)  | 4,41±0,10 a            | 3,99±0,08 ab                                 | 3,79±0,18 b                          |
| Fecundidade total (ninfas/fêmea) | 62,9±5,01 a            | 66,41±4,66 a                                 | 31,18±3,98 b                         |
| Ciclo biológico                  | 23,43±0,90 a           | 27,32±1,28 a                                 | 17,36±0,99 b                         |

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem pelo teste de Dunnett a 5% (P<0,05).

<sup>1</sup>Erro Padrão Médio

Tabela 2. Parâmetros demográficos de *Lipaphis pseudobrasicae* submetidos a concentração subletal (CL<sub>30</sub>) de *Melaleuca leucadendra* e (*E*)-nerolidol em condições de laboratório.

| Tratamentos                                | Média±EPM <sup>0</sup> |                             |                             |                |
|--------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
|                                            | T (dias) <sup>1</sup>  | R <sub>0</sub> <sup>2</sup> | r <sub>m</sub> <sup>3</sup> | λ <sup>4</sup> |
| Controle                                   | 12,61±0,20 b           | 62,90±4,92 a                | 0,33±0,01 a                 | 1,38±0,01 a    |
| <i>M. leucadendra</i> (CL <sub>30</sub> )  | 14,11±0,26 a           | 56,45±5,42 a                | 0,28±0,01 b                 | 1,33±0,01 b    |
| ( <i>E</i> )-nerolidol (CL <sub>30</sub> ) | 12,58±0,37 b           | 22,86±3,81 b                | 0,25±0,01 c                 | 1,28±0,17 c    |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste bootstrap pareado (m=100000,00), nível de significância 5% (P≤0,05).

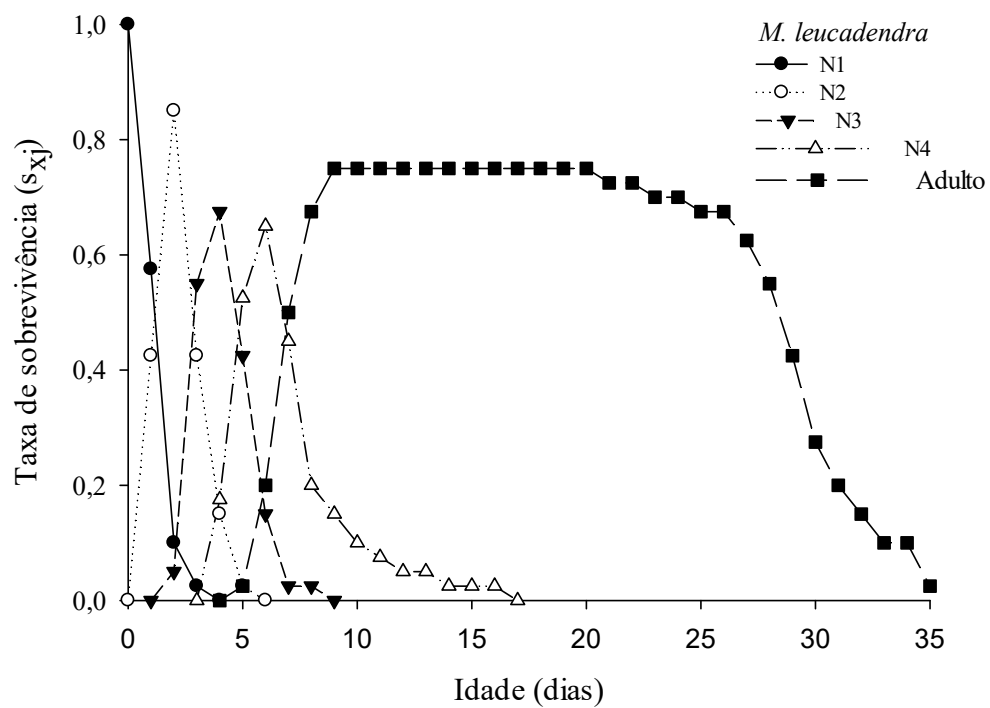
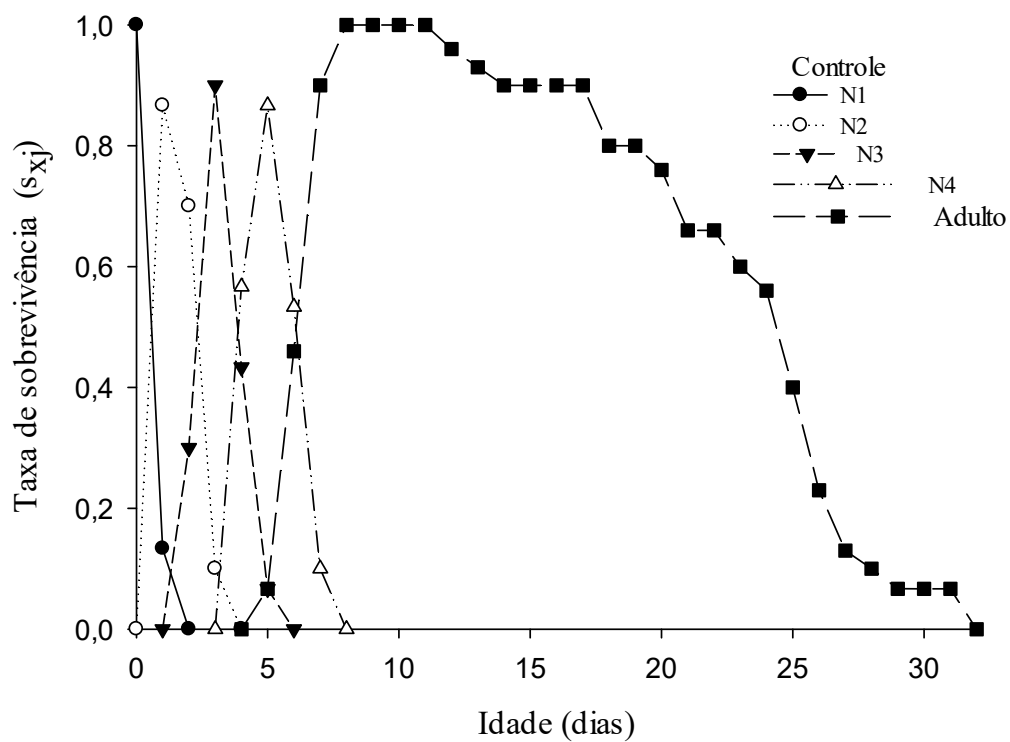
<sup>0</sup>Erro Padrão Médio

<sup>1</sup>Tempo médio entre geração

<sup>2</sup>Taxa líquida de reprodução

<sup>3</sup>Taxa intrínseca de crescimento

<sup>4</sup>Taxa finita de aumento



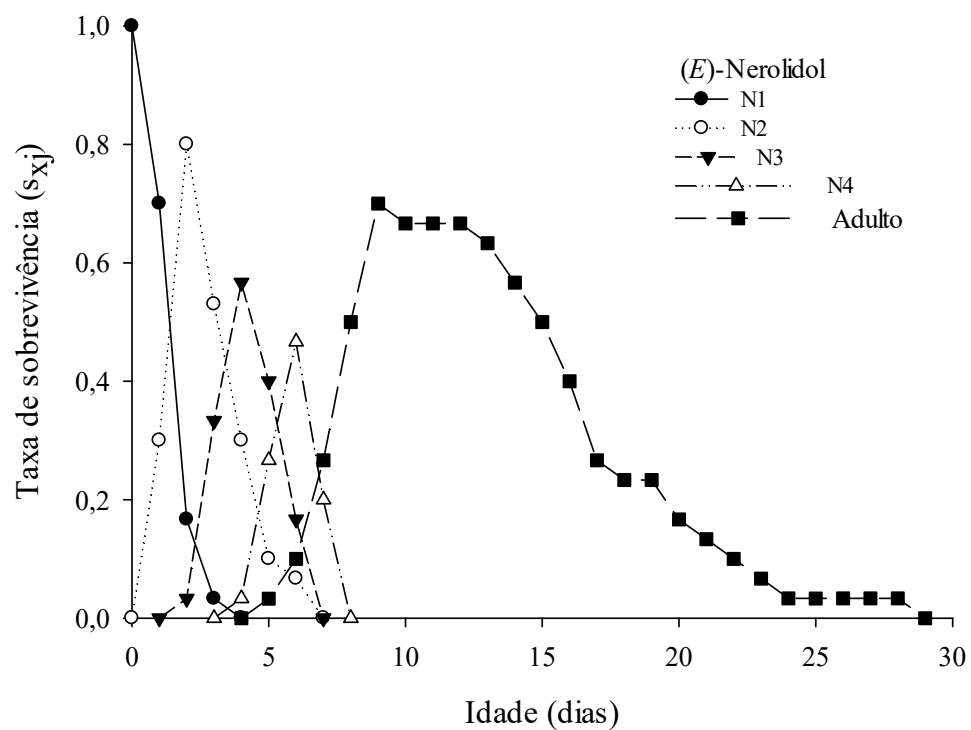
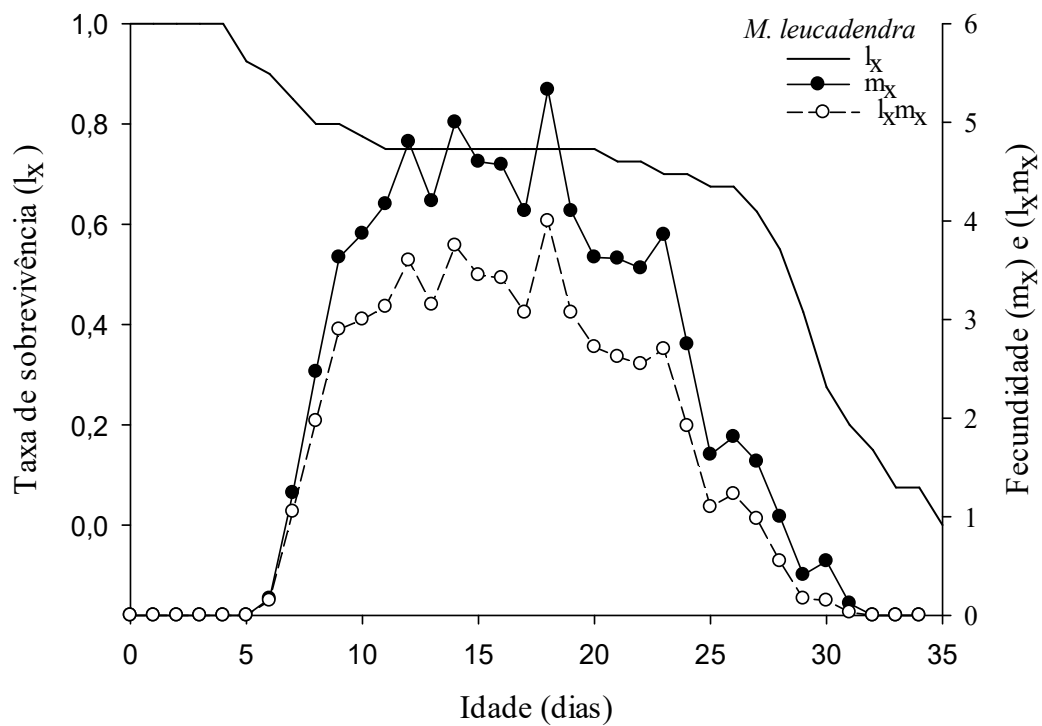
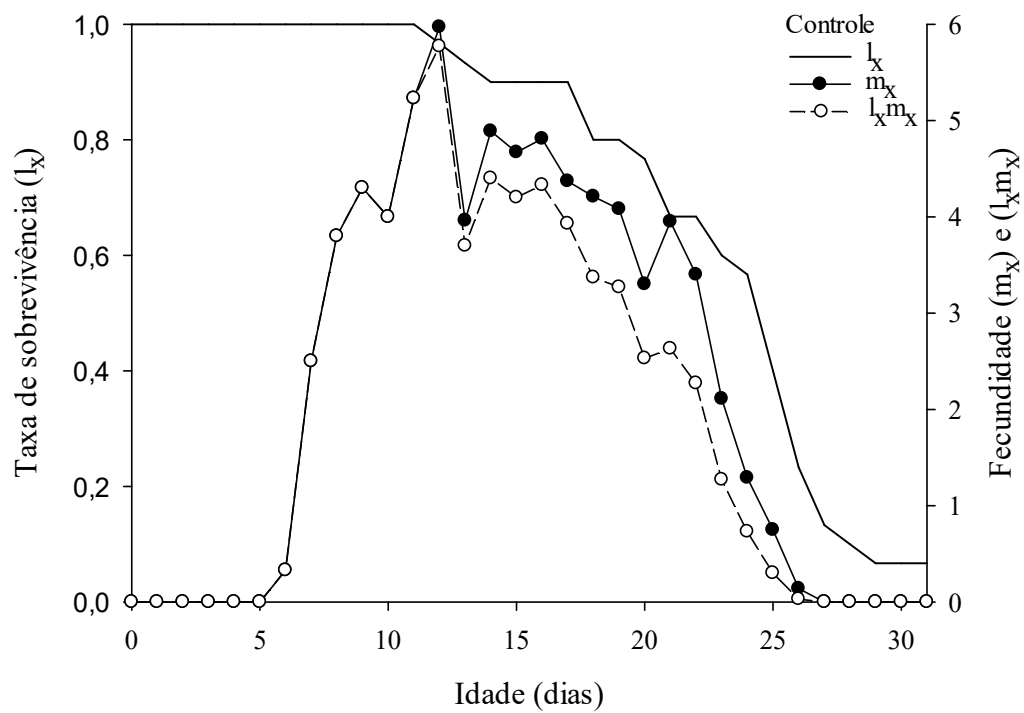


Figura 1. Taxa de sobrevivência por estágio de idade ( $s_{xj}$ ) de ninfas de instar 1 (N1), N2, N3, N4 e fêmeas adultas de *Lipaphis pseudobrassicae*, uma vez que as ninfas N1 foram expostas a CL<sub>30</sub> de *M. leucadendra*, (*E*)-nerolidol e controle.



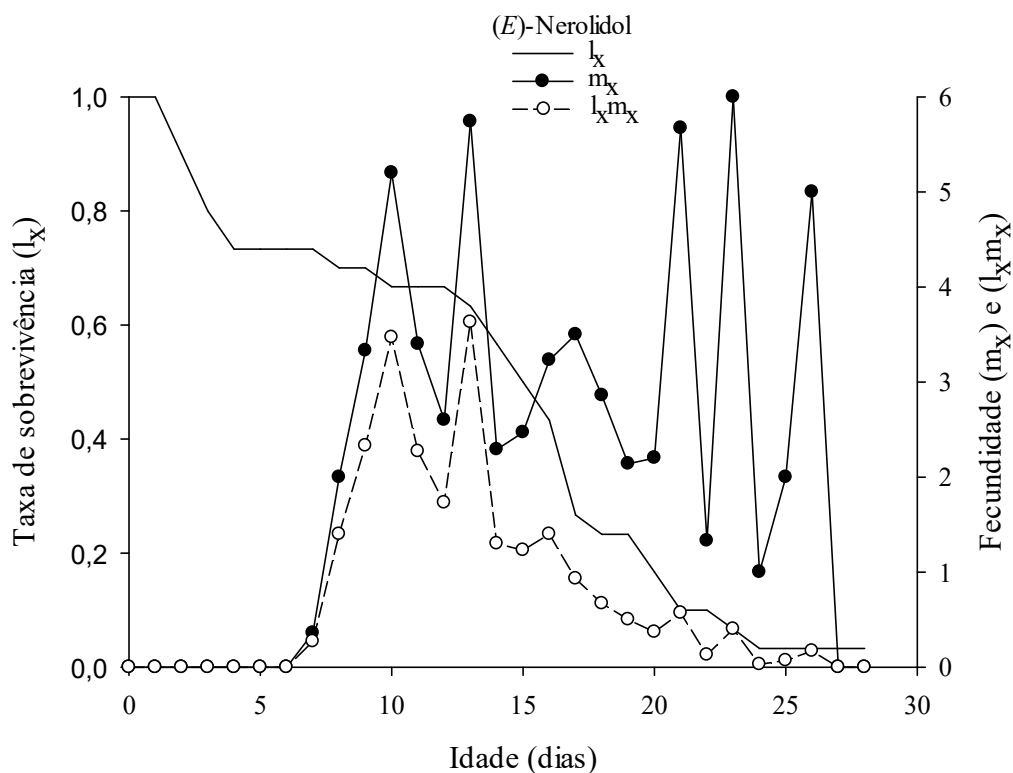


Figura 2. Taxa de sobrevivência específica por idade ( $l_x$ ), fecundidade específica por idade ( $m_x$ ) e maternidade líquida ( $l_x m_x$ ) de fêmeas de *Lipaphis pseudobrassicae*, uma vez que no estágio de ninfa (N1) foram expostas a  $CL_{30}$  de *M. leucadendra*, (E)-nerolidol e controle.

## CAPÍTULO 4

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais e compostos majotitários estudados nessa pesquisa, *M. leucadendra*, *L. gracilis*, *C. reticulata*, (*E*)-nerolidol, carvacrol e limoneno apresentaram alto potencial inseticida sobre o afídeo *L. pseudobrassicae* e anticolinesterásicos, pois foram tóxicos, repelentes e inibitórios nas concentrações utilizadas. Especialmente, *M. leucadendra*, *L. gracilis* e o constituinte majoritário limoneno se destacaram na atividade aficida, além do (*E*)-nerolidol que proporcionou efeitos subletais através da redução de importantes parâmetros biológicos e populacionais do inseto-praga estudado usando concentrações subletais, bem como *L. gracilis* e carvacrol que proporcionaram a maior inibição da atividade da AChE. Os resultados gerados através dessa pesquisa indicam que a atividade inseticida dos OEs e compostos aqui estudados se correlacionam com a capacidade de inibir a enzima AChE, ainda apresenta novas substâncias bioativas derivadas de plantas que possam ser usadas para síntese de novas moléculas bioativas inseticidas e repelentes contra insetos-pragas e inibitória para enzimas, direcionando estratégias de manejo adequadas, sobretudo para afídeos em Brassicaceae. Apesar dos efeitos aficida, repelente, subletal e inibitório relatado no presente estudo sobre *L. pseudobrassicae*, é importante estudos adicionais que visem a atuação dessas substâncias, sobre fitotoxicidade para a cultura, efeitos enzimáticos, outros modos de ação, comportamento e inimigos naturais de *L. pseudobrassicae*, organismo não-alvo e outros afídeos-pragas associados a família Brassicaceae.