



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E BIOTECNOLOGIA

ANITA LARA FERREIRA MELO

**INSETICIDAS BOTÂNICOS: O EFEITO DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL EM
*DYSDERCUS PERUVIANUS***

Tese de Mestrado submetida à Universidade Federal Fluminense visando à
obtenção do grau de Mestre em Ciências e Biotecnologia

Orientadora: Dra. Maria Denise Feder

Co-orientadora: Dra. Patricia de Azambuja Penna

2026
NITERÓI

ANITA LARA FERREIRA MELO

**INSETICIDAS BOTÂNICOS: O EFEITO DO ÓLEO
ESSENCIAL DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL EM
DYSDERCUS PERUVIANUS.**

Trabalho desenvolvido no Laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Biologia Geral do Instituto de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia, Universidade Federal Fluminense. Apoio Financeiro: CAPES

Dissertação de Mestrado submetida a Universidade Federal Fluminense como requisito parcial visando à obtenção do grau de Mestre em Ciências e Biotecnologia.

Orientadora: Dra. Maria Denise Feder

Co-orientadora: Dra. Patricia de Azambuja Penna

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica automática - SDC/BCV
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M528i Melo, Anita Lara Ferreira
 INSETICIDAS BOTÂNICOS: O EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE
 EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL EM DYSDERCUS PERUVIANUS / Anita
 Lara Ferreira Melo. - 2026.
 102 f.: il.

 Orientador: Maria Denise Feder.
 Coorientador: Patricia de Azambuja Penna.
 Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
 Instituto de Biologia, Niterói, 2026.

 1. Dysdercus peruvianus. 2. Bioinseticida. 3. Pragas
 agrícolas. 4. Produção intelectual. I. Feder, Maria Denise,
 orientador. II. Penna, Patricia de Azambuja, coorientador.
 III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Biologia.
 IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

ANITA LARA FERREIRA MELO

**INSETICIDAS BOTÂNICOS: O EFEITO DO ÓLEO
ESSENCIAL DE EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL EM
DYSDERCUS PERUVIANUS.**

Tese de Mestrado submetida a
Universidade Federal Fluminense
como requisito parcial visando à
obtenção do grau de Mestre em
Ciências e Biotecnologia

Banca Examinadora:

Dra. Maria Denise Feder – Departamento de Biologia Geral- UFF
(Presidente)

Dr. Raul Victor da Cruz Apolinário- Fundação Oswaldo Cruz

Dra. Suzete Araújo Oliveira Gomes – Departamento de Biologia Geral- UFF

Dra. Cecilia Stahl Vieira– Pesquisadora visitante UFF

Dra. Débora Passos de Mattos de Menezes- Departamento de Biologia Geral- UFF
(Suplente)

“A educação é a arma mais poderosa que
você pode usar para mudar o mundo.”

— *Nelson Mandela*

AGRADECIMENTOS

Durante minha trajetória acadêmica, recebi diversos apoios para prosseguir, mesmo diante das inúmeras dificuldades encontradas ao longo do caminho. Venho de uma família que se enquadra na categoria de extrema pobreza, fui moradora de comunidade e vivi sem estrutura adequada dentro da própria residência, especialmente no que se refere a saneamento básico, água encanada e violências existentes na região. Destaco essa realidade porque foi o contexto que marcou minha vida antes de ingressar em um curso de graduação na Universidade Federal Fluminense (UFF). Então, meu primeiro e mais profundo agradecimento é pela oportunidade e pelo privilégio de ter tido acesso a uma educação pública, gratuita e de qualidade, capaz de transformar completamente a trajetória da minha vida. A universidade pública não foi apenas um espaço de formação acadêmica, mas um ambiente de crescimento pessoal, amadurecimento e construção de um novo caminho. Realizar uma graduação na UFF e, posteriormente, dar continuidade a essa caminhada no tão sonhado mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia, ao lado de professores extremamente qualificados, representa a concretização de um sonho que um dia pareceu distante. A educação transforma vidas e transformou a minha história.

Nada disso teria sido possível sem o apoio incondicional das pessoas que caminharam ao meu lado. Agradeço, com todo o meu amor, ao meu marido, Eduardo Kirk, que foi fundamental em cada etapa desse processo, oferecendo apoio, incentivo, paciência e companheirismo nos momentos mais desafiadores. À minha avó Anita, a quem meus pais me deram o nome Anita em homenagem, agradeço por me ensinar, desde cedo, a ser forte, perseverante e a manter a fé de que, no final, tudo dará certo. Às minhas irmãs caçulas, Júlia Melo e Gabriela Terra, que são fundamentais em cada etapa da minha vida e que me inspiram a ser exemplo de dedicação e superação.

À minha grande amiga e irmã de coração, Camila Almeida, e ao seu marido, Gabriel Neves, cuja amizade é essencial e me fortalece em todos os momentos. À Fabiana Teixeira, minha companheira desde a graduação até o mestrado, cuja parceria e apoio foram indispensáveis para enfrentar os desafios acadêmicos com coragem e determinação, à minha querida amiga Sulamita Murray que me apoiou muito nesse momento.

À minha orientadora, Denise Feder, deixo minha profunda gratidão pela paciência, pelos ensinamentos, pela orientação e pela oportunidade de desenvolver meu projeto de mestrado sob sua supervisão. Sua dedicação foi essencial para o meu crescimento científico e profissional. Agradeço também a minha Co-orientadora Patrícia que contribuiu muito na minha co-orientação.

Agradeço também à Débora, pelas conversas enriquecedoras e pelos ensinamentos no laboratório, à querida Ana Beatriz, que foi fundamental durante todo o processo, à querida Mariana Ferreira com seu entusiasmo e positividade e ao Raul Apolinário, que dedicou tempo e paciência para me ensinar as técnicas experimentais, contribuindo diretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Cada pessoa mencionada faz parte da construção dessa conquista. Este mestrado não representa apenas um título acadêmico, mas a superação de barreiras sociais, econômicas e emocionais. É a prova de que, com apoio, perseverança e acesso à educação de qualidade, é possível transformar em realidade.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. REVISÃO DA LITERATURA	1
1.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO USO DE PESTICIDAS	3
1.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PESTICIDAS	6
1.4. CONSEQUÊNCIAS DOS INSETICIDAS	8
1.5. INSETICIDAS BOTÂNICOS	10
1.6. ESPÉCIE <i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i> LABILL	13
1.7. ORDEM HEMIPTERA, SUBORDEM HETEROPTERA	15
1.8. <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i> (PYRRHOCORIDAE)	17
1.9. SISTEMA FISIOLÓGICO DO INSETO	19
1.10. REGULADORES DE CRESCIMENTO DOS INSETOS	22
1.10.1. INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE QUITINA	22
1.10.2. AGONISTAS DE ECDISONA	24
1.10.3. ANÁLOGOS DO HORMÔNIO JUVENIL	25
1.10.4. HORMÔNIO ANTI-JUVENIL (ANTAGONISTA DO HORMÔNIO JUVENIL)...	26
2. OBJETIVOS.....	27
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	27
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. COLÔNIA DE INSETOS.....	28
3.2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL.....	28
3.3. BIOENSAIOS	29
3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	36
4. RESULTADOS.....	37
4.1. TRATAMENTO POR CONTATO EM <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i>	37
4.1.1. ECDISE DO 4º PARA O 5º INSTAR EM <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i>	39
4.1.2. METAMORFOSE DO 5º INSTAR NINFAL PARA ADULTOS EM <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i>	41
4.2. TRATAMENTO TÓPICO EM <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i>	43

4.2.1. ECDISE DO 4º PARA O 5º <i>INSTAR</i> EM <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i> NO TRATAMENTO TÓPICO	46
4.2.2. METAMORFOSE DO 5º <i>INSTAR</i> NINFAL PARA ADULTOS EM <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i> EM TRATAMENTO TÓPICO	47
4.3. EFEITO DO TRATAMENTO POR CONTATO E TÓPICO SOBRE OVIPOSIÇÃO DE <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i>	49
4.3.1. OVIPOSIÇÃO NO TRATAMENTO POR CONTATO	49
4.3.2. OVIPOSIÇÃO NO TRATAMENTO TÓPICO.....	50
4.4. DEFORMAÇÕES DOS INSETOS TRATADOS POR EXPERIMENTO TÓPICO E POR CONTATO.....	51
4.4.1. PERCENTUAL DE INSETOS DEFORMADOS POR TRATAMENTO POR CONTATO.....	51
4.4.2. PERCENTUAL DE INSETOS DEFORMADOS POR TRATAMENTO TÓPICO .	52
4.4.3. IMAGENS CAPTURADAS DAS DEFORMAÇÕES.....	53
4.5. EFEITO DO TRATAMENTO POR FUMIGAÇÃO SOBRE A SOBREVIVÊNCIA DE <i>DYSDERCUS PERUVIANUS</i>	55
5. DISCUSSÃO.....	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
6.1. CONCLUSÃO.....	66
6.2. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

anti-HJ = Antagonista do hormônio juvenil

cm²= Centímetro quadrado

DAT= Dias após o tratamento

DDT= diclorodifeniltricloroetano

DNA= Ácido Desoxirribonucleico

HJ= hormônio juvenil

IPP= isopentenil difosfato

ISQ =inibidores da síntese de quitina

MEP= via do metileritritol fosfato

mg= miligrama

mg/L= miligramas por litro

mg/μL= miligrama por microlitro

mL= mililitros

μg= Micrograma

μL= microlitro

OE= Óleo essencial

p = p-valor

RNA= Ácido Ribonucleico

v/v= Concentração volumétrica de uma solução

χ^2 = qui-quadrado

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Colheita mecanizada de algodão em área de cultivo extensivo	3
Figura 2- Estrutura química do dicloro-difenil-tricloroetano (DDT)	4
Figura 3- Representações estruturais das principais classes de inseticidas sintéticos	7
Figura 4- Esquema geral das vias de biossíntese do metabolismo secundário vegetal.....	12
Figura 5 – Estrutura química do 1,8-cineol (eucaliptol), principal monoterpeneo presente nos óleos voláteis de espécies do gênero <i>Eucalyptus</i>	14
Figura 6 – Fotografia de <i>Eucalyptus globulus</i>	14
Figura 7- Relações filogenéticas entre os principais grupos da ordem Hemiptera.....	15
Figura 8- Morfologia externa de <i>Dysdercus peruvianus</i> (Hemiptera: Pyrrhocoridae).....	18
Figura 9- Desenvolvimento hemimetábolo de <i>Dysdercus peruvianus</i> , ilustrando o ovo, os cinco instars ninfais e o adulto	19
Figura 10- Representação esquemática do tegumento de insetos em corte transversal, evidenciando a organização em camadas.	20
Figura 11- Composição química do óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill, agrupada por funções orgânicas.....	29
Figura 12- Representação esquemática do delineamento experimental do bioensaio por aplicação tópica em ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i>	32
Figura 13- Esquema do bioensaio por contato em <i>Dysdercus peruvianus</i> , com aplicação das soluções sobre papel-filtro disposto no fundo das placas de Petri.....	34
Figura 14- Representação esquemática do ensaio de fumigação em <i>Dysdercus peruvianus</i>	36
Figura 15- Curva de sobrevivência de ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i> submetidos ao tratamento por contato com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill...	38
Figura 16- Percentual médio de <i>Dysdercus peruvianus</i> no 5º instar ao longo de 10 dias após tratamento por contato	41
Figura 17- Percentual médio de <i>Dysdercus peruvianus</i> na fase adulta entre 12 e 20 dias após tratamento por contato	43
Figura 18- Curva de sobrevivência (%) de ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i> ao longo de 20 dias após tratamento tópico com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	45
Figura 19- Percentual médio de <i>Dysdercus peruvianus</i> no 5º instar ao longo de 10 dias após tratamento tópico	46
Figura 20- Percentual médio de <i>Dysdercus peruvianus</i> na fase adulta entre 12 e 20 dias após tratamento tópico.....	48

Figura 21- Registro fotográfico das deformações externas em ninfas de quinto <i>instar</i> de <i>Dysdercus peruvianus</i> decorrentes do tratamento experimental com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	54
Figura 22- Registro fotográfico das deformações externas em adultos de <i>Dysdercus peruvianus</i> após tratamento experimental com óleo essencial <i>Eucalyptus globulus</i> Labill ..	55
Figura 23- Curva de sobrevivência (%) de ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i> ao longo de 96 horas de exposição ao tratamento por fumigação com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição do óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> (obtida por cromatografia) fornecido pela empresa WNF, com identificação dos principais compostos.....	29
Tabela 2- Preparação das diluições do óleo essencial, volume aplicado no dorso do inseto, volume no inseto e respectivas concentrações finais e superficiais utilizadas no bioensaio tópico em ninfas de <i>Dysdercus peruvianus</i>	31
Tabela 3- Preparação das diluições do óleo essencial, volume aplicado no papel-filtro, massa total de óleo por placa e respectivas concentrações finais e superficiais utilizadas no bioensaio por contato com ninfas de <i>Dysdercus peruvianus</i>	33
Tabela 4- Preparação das diluições do óleo essencial (OE), indicando a concentração do óleo na solução, o volume aplicado no papel-filtro, a massa de óleo aplicada e a concentração final no frasco para o tratamento por fumigação.....	35
Tabela 5- Percentual de sobrevivência (média $\pm$ desvio-padrão) de ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i> no 1º e no 20º dia após tratamento por contato.....	39
Tabela 6- Percentual de sobrevivência (média $\pm$ desvio-padrão) de ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i> no 1º e no 20º dia após o tratamento tópico.....	45
Tabela 7- Número total de ovos ovipositados por <i>Dysdercus peruvianus</i> nos dias 20, 24 e 27 após o tratamento por contato.....	49
Tabela 8- Número total de ovos ovipositados por <i>Dysdercus peruvianus</i> nos dias 20, 24 e 27 após o tratamento tópico.....	50
Tabela 9- Percentual de adultos de <i>Dysdercus peruvianus</i> com deformidades após tratamento por contato com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill e suas diluições.....	52
Tabela 10- Percentual de adultos de <i>Dysdercus peruvianus</i> com deformidades após tratamento tópico com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill e suas diluições.....	53
Tabela 11- Percentual de sobrevivência (média $\pm$ desvio-padrão) de ninfas de quarto estágio de <i>Dysdercus peruvianus</i> no 1º e no 4º dia após tratamento por fumigação com óleo essencial de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill e suas diluições.....	57

RESUMO

A agricultura desempenha papel essencial na sociedade, sendo responsável pelo fornecimento de alimentos, fibras e matérias-primas indispensáveis à economia global. Entretanto, as pragas agrícolas comprometem a produtividade e a qualidade das culturas, resultando no uso intensivo de pesticidas sintéticos, cujo emprego contínuo favorece o desenvolvimento de resistência, contaminação ambiental e riscos à saúde humana. Nesse cenário, metabólitos secundários de plantas destacam-se como alternativas promissoras para o manejo sustentável de pragas. O óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill, rico em monoterpenos como isopulegol, citronelal e citronelol, apresenta diversas propriedades biológicas e potencial inseticida já demonstrado contra diferentes espécies de importância agrícola e sanitária. Apesar disso, não há registros sobre a ação desse óleo essencial sobre *Dysdercus peruvianus*, importante inseto-praga da cultura do algodão (*Gossypium hirsutum*). Assim, o presente estudo avaliou a atividade inseticida do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* obtido comercialmente da empresa WNF®, utilizando ninfas de quarto estágio submetidas a tratamentos por contato, aplicação tópica e fumigação. Foram testadas as concentrações de óleo puro e suas diluições em acetona. Foram incluídos um controle negativo (sem tratamento), um controle solvente (acetona pura) e um controle positivo com inseticida comercial (apenas nos experimentos por contato e aplicação tópica). Os bioensaios foram conduzidos em ambiente controlado (25 ± 2 °C e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa). Os resultados demonstraram elevada taxa de mortalidade nas concentrações de óleo essencial puro e nas menores diluições. Nas diluições subsequentes, observou-se efeito subletal significativo, caracterizado por deformidades morfológicas, comprometimento da ecdise, interferência na metamorfose do quinto *instar* para a fase adulta e alterações na oviposição. Esses achados indicam que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* apresenta potencial como alternativa no manejo de *Dysdercus peruvianus*.

Palavras-chave: Bioinseticida, agricultura, controle de pragas , cotton production e produto natural.

ABSTRACT

Agriculture plays an essential role in society, being responsible for providing food, fibers, and raw materials indispensable to the global economy. However, agricultural pests compromise crop productivity and quality, leading to the intensive use of synthetic pesticides, whose continuous application promotes the development of resistance, environmental contamination, and risks to human health. In this context, plant secondary metabolites stand out as promising alternatives for sustainable pest management. The essential oil of *Eucalyptus globulus* Labill., rich in monoterpenes such as isopulegol, citronellal, and citronellol, exhibits several biological properties and insecticidal potential already demonstrated against different species of agricultural and sanitary importance. Despite this, there are no reports on the action of this essential oil against *Dysdercus peruvianus*, an important insect pest of cotton crops (*Gossypium hirsutum*). Thus, the present study evaluated the insecticidal activity of commercially obtained *Eucalyptus globulus* essential oil from WNF®, using fourth-instar nymphs subjected to contact, topical application, and fumigation treatments. The concentrations of pure oil and its dilutions in acetone were tested. A negative control (no treatment), a solvent control (pure acetone), and a positive control with a commercial insecticide (only in contact and topical application experiments) were included. The bioassays were conducted under controlled conditions (25 ± 2 °C and $60 \pm 5\%$ relative humidity). The results demonstrated a high mortality rate at pure essential oil concentrations and at lower dilutions. In subsequent dilutions, a significant sublethal effect was observed, characterized by morphological deformities, impaired ecdysis, interference in metamorphosis from the fifth instar to adulthood, and alterations in oviposition. These findings indicate that *Eucalyptus globulus* essential oil has potential as an alternative for the management of *Dysdercus peruvianus*.

Keywords: Bioinsecticide, agriculture, pest control, cotton, natural product.

1. INTRODUÇÃO

1.1. REVISÃO DA LITERATURA

A história da agricultura está profundamente entrelaçada com o desenvolvimento da humanidade. De acordo com (MAZOYER E ROUDART, 2010) seu início ocorreu no período Neolítico, há cerca de 10 mil anos, quando comunidades humanas começaram a domesticar plantas e animais, marcando a transição de uma vida nômade, baseada na caça e coleta, para uma vida sedentária com o cultivo de alimentos.

Na idade antiga (4.000 A.C. até 476), foi crucial para o desenvolvimento da agricultura em grandes civilizações em diferentes regiões como China, Egito, Grécia, Roma e Mesopotâmia (BAKERS *et al.*, 2019). Neste contexto, destacam-se cultivos de grãos como trigo, arroz e milho (BOARETTO, 2009). Nesta época, foram desenvolvidas técnicas agrícolas mais elaboradas como seleção de sementes, uso de esterco para adubação, pousio do solo e criação de práticas de irrigação, contribuindo para uma produção mais eficiente (BOARETTO, 2009).

Após esse período, sociedades passaram por uma evolução decorrente da passagem pela Idade Média e Moderna, marcando a transição do sistema feudal para o capitalista (DE OLIVEIRA, 2017). Com isso, iniciaram-se as grandes propriedades agrícolas na Europa. Ramos (2025) discorre que, na Idade Moderna, a agricultura passou a ter fins comerciais. Produtos como milho, batata, arroz, tomate e outros tornaram-se essenciais na alimentação ocidental. Nesse contexto, ocorreram as grandes navegações, e, com elas, plantas tropicais como o café, a cana-de-açúcar e o algodão foram introduzidos no Novo Mundo, impulsionando um expressivo desenvolvimento agrícola (CARNEIRO, 2017; BOMFIM, 2024). Já em relação ao algodão, sua introdução e expansão no território brasileiro ocorreram inicialmente na Bahia, trazido pelos colonos portugueses, e posteriormente difundido por outras regiões do Nordeste, destacando-se como uma importante cultura tanto para o consumo interno quanto para o comércio exterior (GONÇALVES E RAMOS ,2008; FERREIRA *et al.*, 2022).

No século XX, a alta produção agrícola foi fortemente impulsionada pelos avanços tecnológicos e pela consolidação do sistema capitalista, que, desde a Revolução Industrial, estimulava a mecanização e o cultivo em larga escala (MELLO, 2022). No entanto, esse modelo de produção intensiva trouxe consequências ambientais e econômicas significativas (GALVÃO, 2024). Atualmente, o algodão consolidou-se como uma das fibras naturais mais produzidas globalmente, configurando entre as dez principais fontes de riqueza do setor agropecuário mundial (fig. 1) (CONAB, 2024). O Brasil ocupa atualmente a terceira posição entre os maiores produtores, superando os Estados Unidos e ficando atrás apenas da Índia e da China (USDA, 2024). Além disso, destaca-se como o maior exportador mundial, com cerca de 2,83 milhão de toneladas exportadas na safra 2024/2025 (ABRAPA, 2025).

Para manter-se competitivo no mercado mundial, o Brasil precisa produzir em grande escala, com qualidade e de forma sustentável (ABRAPA, 2025). Entretanto, a ocorrência de diversas pragas agrícolas impõe desafios significativos aos produtores, resultando em expressivas perdas econômicas e produtivas (NADEEM *et al.*, 2023). Estima-se que as pragas possam causar reduções entre 20% e 30% da produtividade, podendo chegar a até 50% em casos de infestações severas, dependendo da região e do manejo adotado (Embrapa, 2018; NADEEM *et al.*, 2023).

O algodoeiro é uma cultura que atrai e hospeda permanentemente um complexo de pragas que atacam diferentes partes da planta, desde as raízes até os capulhos (DOS SANTOS; SANTOS, 2023). Essas pragas apresentam alta capacidade reprodutiva e ampla dispersão, o que favorece a rápida infestação das lavouras e compromete tanto a produtividade quanto a qualidade das sementes e das fibras (GALLETTI, 2024). Dentre as principais espécies de importância econômica destacam-se o *Dysdercus peruvianus* (percevejo-do-algodoeiro), *Anthonomus grandis* (bicudo-do-algodoeiro), *Alabama argillacea* (lagarta-do-algodoeiro) e *Aphis gossypii* (pulgão-do-algodoeiro), responsáveis por danos diretos e indiretos à cultura (DE BORTILI *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2019).



Figura 1- Colheita mecanizada de algodão em área de cultivo extensivo, evidenciando a importância econômica da cotonicultura e os desafios do manejo agrícola em larga escala. Fonte: CREA-AL (2017).

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) oferece uma ampla gama de produtos explorados pelo ser humano. A pluma é utilizada principalmente nas indústrias têxtil e automobilística, na fabricação de móveis e em aplicações médicas (AVCI *et al.*, 2013). O línter é aproveitado na produção de papel, ração animal e produtos farmacêuticos, enquanto o caroço, após a extração do óleo, é empregado tanto na alimentação humana quanto na animal (EMBRAPA, 2018).

1.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO USO DE PESTICIDAS

A primeira geração de pesticidas surgiu na segunda metade do século XIX, por volta da década de 1860, e caracterizou-se pelo uso de compostos altamente tóxicos de origem predominantemente inorgânica (MATHEWS, 2018). Entre os principais produtos utilizados destacavam-se o arsênio, na forma de arseniato de cálcio e arseniato de chumbo, bem como o fumigante cianeto de hidrogênio, empregados no controle de fungos, insetos e bactérias (BENCKO E FOONG, 2017; FAO, 2026). Nesse período, também foram amplamente utilizados a calda bordalesa, composta por sulfato de cobre, cal e água, além do enxofre (SURYANARAYANAN, 2024). Apesar de sua eficácia inicial, esses compostos tiveram seu uso progressivamente

abandonado em função da elevada toxicidade, dos riscos à saúde humana e ambiental e da limitada eficiência a longo prazo (MATHEWS, 2018).

A segunda geração de pesticidas teve início com o desenvolvimento dos compostos orgânicos sintéticos. O primeiro pesticida orgânico sintético de grande relevância foi o diclorodifeniltricloroetano (DDT) (fig. 2), sintetizado pela primeira vez pelo cientista alemão Ziedler, em 1873 (OTHMER, 1996). No entanto, sua ação inseticida só foi identificada décadas depois pelo químico suíço Paul Müller, fato que marcou uma nova etapa no controle químico de pragas (MANSOURI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2024). O DDT destacou-se pela elevada eficácia no combate a insetos, pelo aumento significativo da produtividade agrícola e pelo baixo custo de produção, o que favoreceu sua rápida disseminação em escala global (JARMAN E BALLSCHMITER, 2012). Além da agricultura, o DDT foi amplamente empregado em aplicações não agrícolas, como a desinfecção de soldados durante a Segunda Guerra Mundial e o controle de mosquitos vetores da malária em programas de saúde pública (MANSOURI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2024).

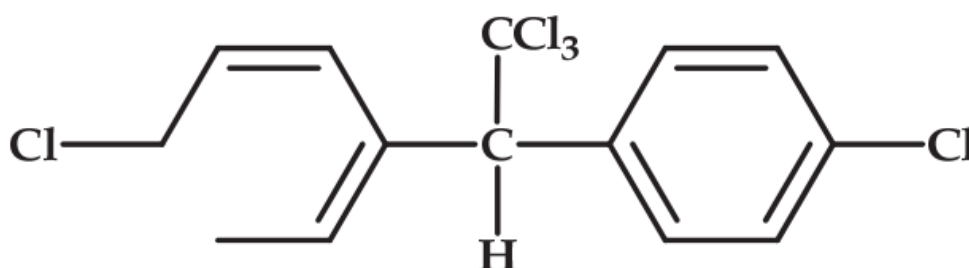


Figura 2- Estrutura química do dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), inseticida organoclorado amplamente utilizado no controle de pragas agrícolas e vetores de doenças ao longo do século XX.

Durante a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento e a produção em larga escala do DDT foram intensificados, inicialmente com foco no controle de vetores de doenças como malária e tifo (MANSOURI *et al.*, 2017). No período pós-guerra, o composto passou a ser amplamente utilizado na agricultura devido à sua eficiência e baixo custo (LI, 2022). Paralelamente, outros inseticidas sintéticos, como os organoclorados e organofosforados, incluindo clordano, heptacloro, malation e paration, também passaram a ser utilizados de forma intensiva. Contudo, a ausência

de regulamentação adequada e o uso indiscriminado desses produtos ao longo do tempo despertaram preocupações crescentes relacionadas aos impactos sobre a saúde humana, animal e ambiental (VAN DYK PLETSCHE, 2011).

Apesar dos pesticidas terem contribuído significativamente para o aumento da produção agrícola, seu uso intensivo resultou em diversos efeitos adversos, tais como o acúmulo de resíduos tóxicos nos alimentos, a contaminação do solo e da água, a intoxicação de trabalhadores rurais, o surgimento de populações de pragas resistentes e a interferência nas cadeias alimentares, ocasionando desequilíbrios ecológicos e surtos de insetos-praga (KIM *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2004; MENEZES, 2005; CORRÊA, 2011).

Em 1962, a publicação do livro *Primavera Silenciosa*, de Rachel Carson, representou um marco na conscientização sobre os impactos ambientais e à saúde associados ao uso do DDT, ao detalhar seus efeitos nocivos sobre organismos não alvo e ecossistemas (ABUBAKAR *et al.*, 2020). Como consequência, diversos países e estados passaram a restringir ou proibir o uso do DDT, substituindo-o progressivamente por pesticidas considerados de menor risco, como os organofosforados e carbamatos, nos anos subsequentes (ABUBAKAR *et al.*, 2020).

Nesse mesmo contexto histórico, o uso intensivo de pesticidas esteve fortemente associado à chamada Revolução Verde. Iniciado no México em 1944, esse movimento agrícola global teve como objetivo principal aumentar a produção de grãos para atender à crescente demanda alimentar de uma população mundial em rápido crescimento (SANES, 2020). A Revolução Verde baseou-se em três pilares fundamentais das práticas agrícolas modernas, entre os quais o uso de pesticidas desempenhou papel central. Após seu êxito inicial no México, esse modelo de produção agrícola foi difundido para diversas regiões do mundo (SANES, 2020).

Na década de 1960, a Revolução Verde consolidou-se por meio da introdução de monoculturas extensivas, do uso intensivo de fertilizantes químicos sintéticos e agrotóxicos, da ampliação dos sistemas de irrigação, da mecanização agrícola e do emprego de sementes geneticamente melhoradas, com o objetivo de elevar a produtividade agrícola (HAZELL, 2009; AMEEN E RAZA, 2017; CAMPAGNOLLA E MACÊDO, 2022). A partir da década de 1990, uma nova classe de inseticidas ganhou

destaque no cenário agrícola: os neonicotinoides. Esses compostos passaram a ser amplamente utilizados devido à sua capacidade de serem absorvidos pelas plantas e distribuídos sistemicamente por seus tecidos (WOOD, 2017). Substâncias como imidacloprido, acetamiprido e tiametoxam atuam como neurotoxinas para a maioria dos artrópodes, ligando-se irreversivelmente aos receptores nicotínicos de acetilcolina, o que resulta em paralisia e morte desses organismos (TAILLEBOIS *et al.*, 2018).

1.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PESTICIDAS

Os pesticidas podem ser classificados quanto ao modo de ação em sistêmicos e não sistêmicos (SILVA *et al.*, 2023). Os pesticidas de ação sistêmica são absorvidos por animais ou plantas e translocados para tecidos não tratados, exercendo seu efeito após a absorção. Entre os exemplos desse grupo destacam-se o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e o glifosato (FIGUEIREDO, 2015). Em contraste, os pesticidas não sistêmicos, também denominados pesticidas de contato, atuam exclusivamente quando entram em contato direto com a praga, sendo representados por compostos como paraquat e diquat (ABUBAKAR *et al.*, 2020; CHIKTE *et al.*, 2024).

Quanto à origem, os pesticidas podem ser classificados em orgânicos naturais, inorgânicos e sintéticos (OAYA *et al.*, 2019). Os pesticidas orgânicos naturais abrangem diferentes classes de compostos, como os fitoquímicos presentes em plantas, incluindo alcaloides, terpenos e compostos fenólicos, os quais apresentam reconhecido potencial pesticida (HEDIN *et al.*, 1997). Os pesticidas inorgânicos, por sua vez, compreendem sais como sulfato de cobre, sulfato ferroso, cal e enxofre (GUNNELL *et al.*, 2007; ABUBAKAR *et al.*, 2020). De modo geral, esses compostos apresentam estruturas químicas mais simples e maior solubilidade em água quando comparados aos pesticidas orgânicos, atuando, em muitos casos, por meio de intoxicação estomacal em insetos (KIM *et al.*, 2017).

As principais classes de pesticidas sintéticos (fig.3), incluem os organoclorados, os organofosforados, os carbamatos e os piretroides (ABUBAKAR *et al.*, 2020). Os organoclorados são compostos orgânicos caracterizados pela presença de carbono, cloro e hidrogênio em sua estrutura molecular, capazes de interferir no

funcionamento do sistema nervoso dos insetos, causando convulsões, paralisia e morte (SILVA *et al.*, 2023). Entre os exemplos mais comuns deste grupo estão DDT, lindano, endossulfan, aldrin, dieldrin, heptacloro, toxafeno e clordano (COSTA, 2015).

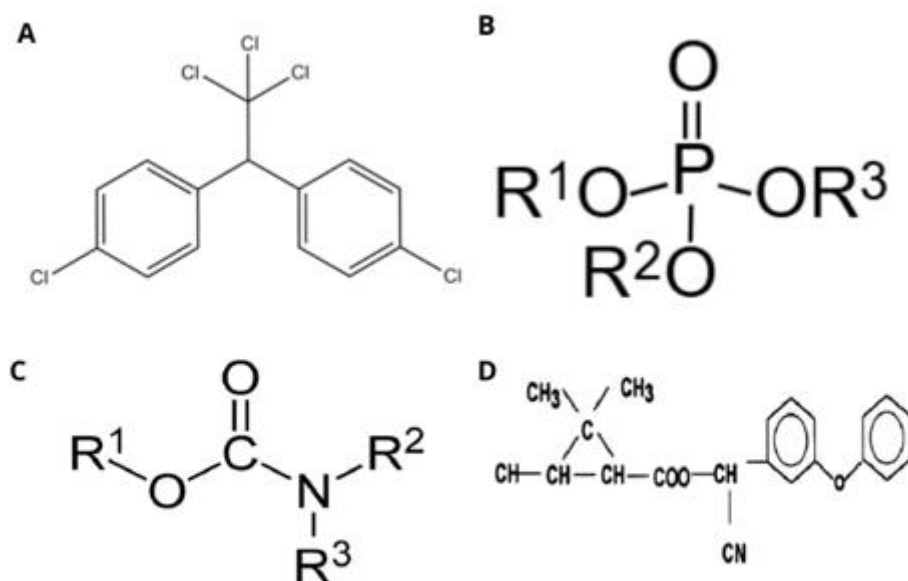


Figura 3- Representações estruturais das principais classes de inseticidas sintéticos: (A) organoclorados, fonte: BIOMONITORING CALIFÓRNIA (2026); (B) organofosforados, fonte: WIKIMEDIA COMMONS (2026). (C) carbamatos, fonte: WIKIMEDIA COMMONS (2026) ; e (D) piretroides, fonte: WIKIMEDIA COMMONS (2026).

Os organofosforados constituem um grupo heterogêneo de pesticidas derivados do ácido fosfórico e são considerados compostos de amplo espectro (GÁMIZ-GRACIA *et al.*, 2005), sendo eficazes no controle de diversas pragas, plantas daninhas e doenças vegetais (ABUBAKAR *et al.*, 2020). Esses compostos atuam como inibidores da enzima acetilcolinesterase, interferindo na transmissão dos impulsos nervosos nas sinapses (BORA *et al.*, 2012), o que resulta em paralisia e morte do organismo. Entre os principais exemplos destacam-se paration, malation, diclorvós, diazinon e glifosato (BORA *et al.*, 2012).

Os carbamatos são pesticidas orgânicos derivados do ácido carbâmico, incluindo compostos como carbaril, carbofurano e aminocarb (ZACHARIA, 2011). Esses pesticidas afetam a transmissão dos sinais nervosos e apresentam rápida

degradação no ambiente natural, o que reduz seu impacto ambiental (YADAV *et al.*, 2015).

Por fim, os piretroides são compostos orgânicos originalmente isolados das flores de piretro, cujas propriedades inseticidas estão associadas aos ácidos piretroides (ABUBAKAR *et al.*, 2020). Esses compostos atuam sobre os canais de sódio do sistema nervoso dos insetos, provocando paralisia (ABUBAKAR *et al.*, 2020). Entre os piretroides sintéticos mais utilizados estão permetrina, cipermetrina, deltametrina, letrina, furetrina, feneloxato e alfacipermetrina (ZACHARIA, 2011; ABUBAKAR *et al.*, 2020).

1.4. CONSEQUÊNCIAS DOS INSETICIDAS

Nos sistemas de cultivo agrícola no Brasil, observa-se uma elevada demanda pelo uso de agrotóxicos para o controle de pragas. Esses produtos apresentam efeitos variáveis e podem atingir organismos não alvo de forma indireta, ocasionando desequilíbrios ecológicos (BELCHIOR, 2017). Antes da introdução dos inseticidas sintéticos, substâncias como nicotina, piretro e compostos inorgânicos eram amplamente empregadas no controle de pragas domésticas e agrícolas (SHAALAN *et al.*, 2005; MORAIS, 2009). No controle de vetores de patógenos de importância em saúde pública, predominavam métodos não químicos até o surgimento do DDT e de outros inseticidas sintéticos, que inauguraram uma nova era de controle químico abrangente de diversas espécies de artrópodes (D'AMATO E TORRES, 2002). No entanto, a persistência ambiental, a toxicidade, o uso inadequado e o desenvolvimento de resistência por parte dos artrópodes resultaram, ao longo do tempo, na proibição ou na perda de eficácia de muitas formulações químicas (SARKER, 2024). Esse cenário foi agravado pela restrição de diversos ingredientes ativos considerados prejudiciais à saúde humana, animal e ao meio ambiente, o que, embora tenha reduzido a exposição a compostos tóxicos, também limitou as opções disponíveis para o controle de vetores transmissores de doenças (VAN DEN BERG *et al.*, 2025). Além disso, a elevada taxa reprodutiva dos artrópodes favorece o rápido desenvolvimento de resistência a diferentes pressões seletivas, tornando muitos inseticidas anteriormente eficazes incapazes de controlar populações naturais de vetores (REID E MCKENZIE, 2016).

Os neonicotinoides destacaram-se pela elevada eficácia no controle de insetos, entretanto, também exercem efeitos adversos sobre organismos não alvo, incluindo polinizadores de grande importância ecológica, como as abelhas (BLACQUIERE *et al.*, 2012; AHSAN *et al.*, 2025). O aumento da resistência das pragas a esses inseticidas tem impulsionado o desenvolvimento de novas formulações, como os fenilpirazóis e os piretroides de quarta geração (ZALUSKI *et al.*, 2012; FIGUEIREDO, 2014). Paralelamente, os avanços da era pós-genômica possibilitaram inovações no controle de pragas, incluindo a modificação genética de baculovírus (CASTRO *et al.*, 1999; KEBEDE *et al.*, 2022) e o desenvolvimento de plantas capazes de sintetizar toxinas bacterianas, configurando alternativas promissoras para o manejo de pragas e vetores (OBEREMOK *et al.*, 2015; RAGASRUTHI *et al.*, 2024). Apesar disso, alguns compostos eficazes apresentam riscos ambientais adicionais, como o brometo de metila, amplamente utilizado na proteção de alimentos armazenados, mas reconhecido como um potencial agente destruidor da camada de ozônio (KIM *et al.*, 2003; ROSSKOPF *et al.*, 2024).

Desde a década de 1980, tornou-se evidente a necessidade de reduzir o uso de produtos químicos no controle de pragas, o que impulsionou a adoção de tecnologias de manejo integrado de insetos e de práticas mais sustentáveis em diferentes países (BUSVINE, 1980; RUBINO *et al.*, 2013). Com o avanço dos pesticidas orgânicos sintéticos, o desenvolvimento de novos compostos passou a seguir três diretrizes fundamentais: a produção de substâncias eficazes em doses extremamente baixas, a formulação de produtos de rápida degradação no ambiente e a criação de moléculas seletivamente tóxicas aos organismos-alvo (KUMAR, 2014; MADGWICK E KANITZ 2024). Essas estratégias contribuíram para a redução significativa da quantidade de ingrediente ativo necessária para o controle de pragas, para a diminuição dos resíduos químicos em cultivos e ecossistemas e para o aumento da segurança para seres humanos e organismos benéficos (KUMAR, 2014; MADGWICK E KANITZ 2024). Enquanto nas décadas de 1930 a 1950 as taxas de aplicação por área eram elevadas e associadas a impactos ambientais expressivos, o avanço científico possibilitou o desenvolvimento de pesticidas mais potentes, seletivos e ambientalmente menos agressivos, reduzindo substancialmente o impacto por unidade de área (UMETZU E SHIRAI, 2020).

1.5. INSETICIDAS BOTÂNICOS

O uso de inseticidas botânicos extraídos de plantas tem sido defendido há décadas como uma alternativa para o controle de insetos-praga e para a mitigação dos danos causados por eles (PARRA *et al.*, 2002). Nas últimas décadas, observou-se um aumento significativo na busca por produtos naturais destinados ao controle de insetos, destacando-se principalmente os óleos essenciais e os extratos vegetais derivados de plantas.

A incapacidade de locomoção das plantas exerceu uma pressão evolutiva para o desenvolvimento de mecanismos que permitissem um crescimento e desenvolvimento flexíveis, sem comprometimento das células e dos processos fisiológicos primários, uma vez que esses organismos são continuamente influenciados por fatores bióticos e abióticos (ISAH, 2019; BORGES E AMORIM, 2020). Ao longo de mais de 350 milhões de anos de coevolução, plantas e insetos desenvolveram estratégias recíprocas de ataque e defesa (CHICUTA *et al.*, 2021). Essa corrida evolutiva resultou no aprimoramento dos sistemas de defesa das plantas, que possuem a capacidade de reconhecer moléculas não próprias ou sinais provenientes de células danificadas, ativando respostas imunes contra herbívoros, de maneira análoga aos mecanismos observados em animais (CHICUTA *et al.*, 2021).

As plantas produzem uma ampla diversidade de compostos químicos, classificados em metabólitos primários e metabólitos secundários. Os metabólitos primários são compostos produzidos por todas as plantas e estão diretamente envolvidos nos processos de crescimento e desenvolvimento (GARCÍA E CARRIL, 2009). Entre eles incluem-se açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, lipídeos e nucleotídeos, bem como macromoléculas sintetizadas a partir desses precursores, como proteínas, polissacarídeos, membranas celulares, DNA e RNA (GARCÍA E CARRIL, 2009).

Os metabólitos secundários, também denominados metabólitos especializados, são altamente específicos e desempenham papel fundamental na evolução dos vegetais e em suas interações com outros organismos (BORGES E

AMORIM, 2020). De modo geral, pertencem a três grandes classes químicas: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (DE REZENDE *et al.*, 2016). Esses metabólitos estão, em sua maioria, associados à proteção das plantas contra estresses bióticos e abióticos, além de apresentarem elevado valor comercial para as indústrias biofarmacêuticas de corantes e de aromas (RASKIN *et al.*, 2002; ELSHAFIE *et al.*, 2023). Esses metabólitos são sintetizados em diferentes compartimentos celulares por meio de quatro principais vias biossintéticas: a via do acetato-malonato, a via do ácido mevalônico (MEV), a via do metileritritol fosfato (MEP) e a via do ácido chiquímico (DE REZENDE *et al.*, 2016).

Os terpenos são metabólitos derivados de precursores do metabolismo primário e sua biossíntese ocorre por duas rotas principais: a rota do ácido mevalônico (MVA) e a rota do MEP, conforme ilustrado na figura 4 (MOREIRA, 2015; BIBIK E HAMBERGER, 2024; WATTS *et al.*, 2025). Na rota do ácido mevalônico, três moléculas de acetil-CoA são condensadas para formar o ácido mevalônico, que posteriormente sofre pirofosforilação, descarboxilação e desidratação, originando o isopentenil difosfato (IPP), unidade básica para a formação dos terpenos (MOREIRA, 2015; BIBIK E HAMBERGER, 2024; WATTS *et al.*, 2025). A rota do metileritritol fosfato ocorre nos cloroplastos e em outros plastídeos, envolvendo a condensação do gliceraldeído-3-fosfato com dois átomos de carbono do piruvato, formando o intermediário 1-desoxi-D-xilulose-5-fosfato. Este composto é reduzido a MEP, que posteriormente é convertido em dimetilalil difosfato (DMAPP), um isômero do IPP (HENRY *et al.*, 2018; BORGES E AMORIM, 2020).

Os terpenos são hidrocarbonetos naturais, esses compostos variam desde moléculas pequenas e voláteis, como mono- e sesquiterpenos, até hormônios vegetais, como brassinosteroides, ácido abscísico e giberelinas, além de componentes estruturais celulares, como os pigmentos carotenoides (KORTEBEEK *et al.*, 2019). Com mais de 55.000 moléculas já descritas, os terpenos constituem a maior e mais complexa classe de produtos naturais. Sua classificação baseia-se no número de unidades de cinco carbonos (C5), sendo divididos em hemiterpenos (C5), monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15), diterpenos (C20), sesterpenos (C25), triterpenos (C30), tetraterpenos (C40) e politerpenos (> C40) (BROCK E DICKSCHAT, 2013; XAVIER *et al.*, 2023).

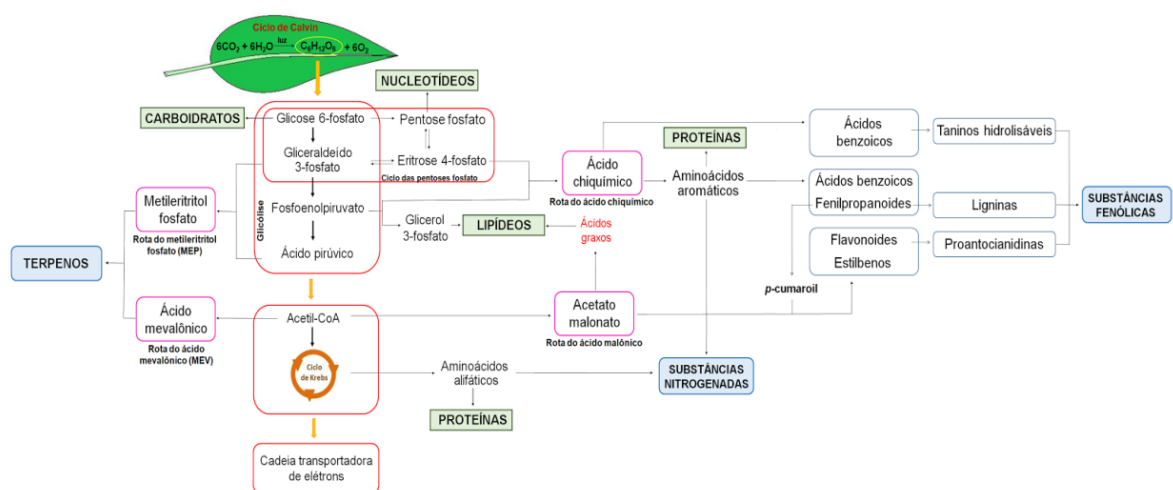


Figura 4- Esquema geral das vias de biossíntese do metabolismo secundário vegetal (retângulos rosas) e suas conexões com o metabolismo primário (retângulos vermelhos), destacando os metabólitos primários (verde) e secundários (azul). Fonte: MOREIRA (2015).

Diversos papéis funcionais dos terpenoides têm sido amplamente estudados, especialmente no que se refere à sua atividade biológica frente aos insetos. Esses compostos figuram entre os metabólitos bioativos mais frequentemente relatados em interações planta-inseto (BORGES E AMORIM, 2020). Terpenoides voláteis, por exemplo, podem atuar como aleloquímicos repelentes, reduzindo ou impedindo o contato entre plantas e insetos e, conseqüentemente, diminuindo a transmissão de patógenos virais (AHARONI *et al.*, 2005; BORGES E AMORIM, 2020).

Esses óleos essenciais de plantas demonstram um amplo espectro de atividade contra insetos pragas e fungos patogênicos que variam de inseticida, repelente, impedimento da oviposição e antivetores, além de uma longa tradição de uso na proteção de produtos armazenados (SINGH E PANDAY, 2018; BORGES E AMORIM, 2020). Alguns constituintes químicos desses óleos interferem no sistema nervoso de insetos; como este local de destino não é compartilhado com os mamíferos, são considerados relativamente não tóxicos para mamíferos e peixes atendendo aos critérios para pesticidas de risco reduzido (KOUL *et al.*, 2008; BORGES E AMORIM, 2020).

1.6. ESPÉCIE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é constituído por espécies nativas da Austrália e da Tasmânia (LIMAN *et al.*, 2020). Posteriormente, essas espécies foram introduzidas em diferentes regiões do mundo, apresentando elevada capacidade de adaptação a ambientes tropicais e subtropicais, o que resultou em sua ampla distribuição em países como África do Sul, Índia, sul da Europa e Brasil (GUO E YANG, 2006; SHAH *et al.*, 2012; MOSISA *et al.*, 2024). No território brasileiro, *Eucalyptus globulus* apresenta ampla distribuição geográfica, com ocorrências confirmadas nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, além de registros potenciais em outros estados, evidenciando sua notável plasticidade ecológica e adaptação a distintas condições ambientais (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2024).

A espécie *Eucalyptus globulus* Labill é popularmente conhecida como eucalipto, eucalyptus, eucalipto-comum ou eucalipto-limão (BORGES, 2023). No Brasil, as espécies do gênero *Eucalyptus* mais cultivadas para a produção de óleos voláteis incluem *E. globulus*, *E. citriodora* e *E. staigeriana*, destacando-se pela produção de óleo essencial rico em 1,8-cineol (DOS SANTOS, 2021). Historicamente, *E. globulus* foi a espécie pioneira introduzida no país, em 1855, com o objetivo principal de produção de madeira; entretanto, sua difusão em larga escala ocorreu somente a partir de 1903 (FOELKEL, 2005). A extração do óleo volátil de suas folhas teve início durante a Segunda Guerra Mundial, período em que a importação desse tipo de produto se tornou inviável (BRITO, 2003; DOS SANTOS, 2021).

Os óleos voláteis de *Eucalyptus* podem ser extraídos de diferentes partes da planta, como folhas, cascas, brotos e frutos. Contudo, o óleo obtido das folhas é o mais comum e apresenta maior valor comercial, principalmente devido ao seu elevado teor de compostos terpênicos (ZRIRA *et al.*, 2004). Entre os principais constituintes desses óleos, destaca-se o monoterpeno 1,8-cineol (Figura 5), que geralmente ocorre como componente majoritário na maioria das espécies estudadas, podendo representar mais de 90% da composição do óleo essencial (DA SILVA *et al.*, 2020).

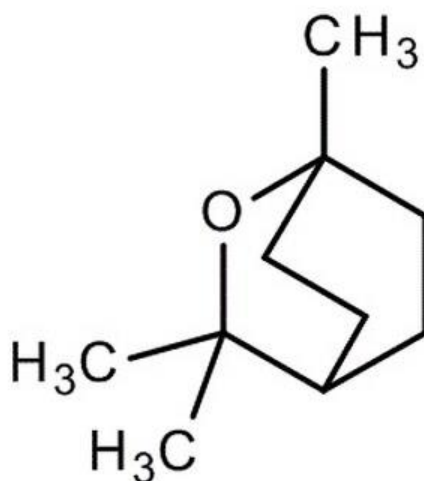


Figura 5 – Estrutura química do 1,8-cineol (eucaliptol), principal monoterpene presente nos óleos voláteis de espécies do gênero *Eucalyptus*. Fonte: MERCK

A expressiva potencialidade dos óleos voláteis de *Eucalyptus* como agentes pesticidas, aliada à baixa toxicidade para mamíferos e à facilidade de obtenção, torna seu uso uma alternativa promissora no controle de diferentes espécies de insetos (BATISH *et al.*, 2008). Diversos estudos evidenciam a eficácia desses óleos no controle de insetos-praga e vetores, abrangendo desde espécies invasoras, como a baratinha germânica (*Blattella germanica*), até insetos dos gêneros *Aedes*, *Anopheles* e *Culex*, transmissores de doenças de grande relevância em saúde pública, como dengue, malária e filariose (NERIO *et al.*, 2010; ALZOGARAY *et al.*, 2011).



Figura 6 – Fotografia de *Eucalyptus globulus* (MITRA-NATURE, 2025), fotógrafa: Elsa Galvão.

1.7. ORDEM HEMIPTERA, SUBORDEM HETEROPTERA

A ordem Hemiptera constitui o grupo mais diverso entre os insetos hemimetábolos, abrangendo espécies que recebem diferentes denominações populares de acordo com a subordem à qual pertencem (fig. 7) (GRAZIA, 2024; FERREIRA, 2025). Estima-se que mais de 106 mil espécies estejam descritas em todo o mundo, atualmente distribuídas em quatro subordens: Sternorrhyncha, com aproximadamente 18 mil espécies; Auchenorrhyncha, com cerca de 43 mil; Heteroptera, que reúne mais de 45 mil espécies; e Coleorrhyncha, a menor subordem, composta por apenas 37 espécies conhecidas e sem registros de ocorrência no Brasil (GULAN *et al.*, 2017; GRAZIA, 2024).

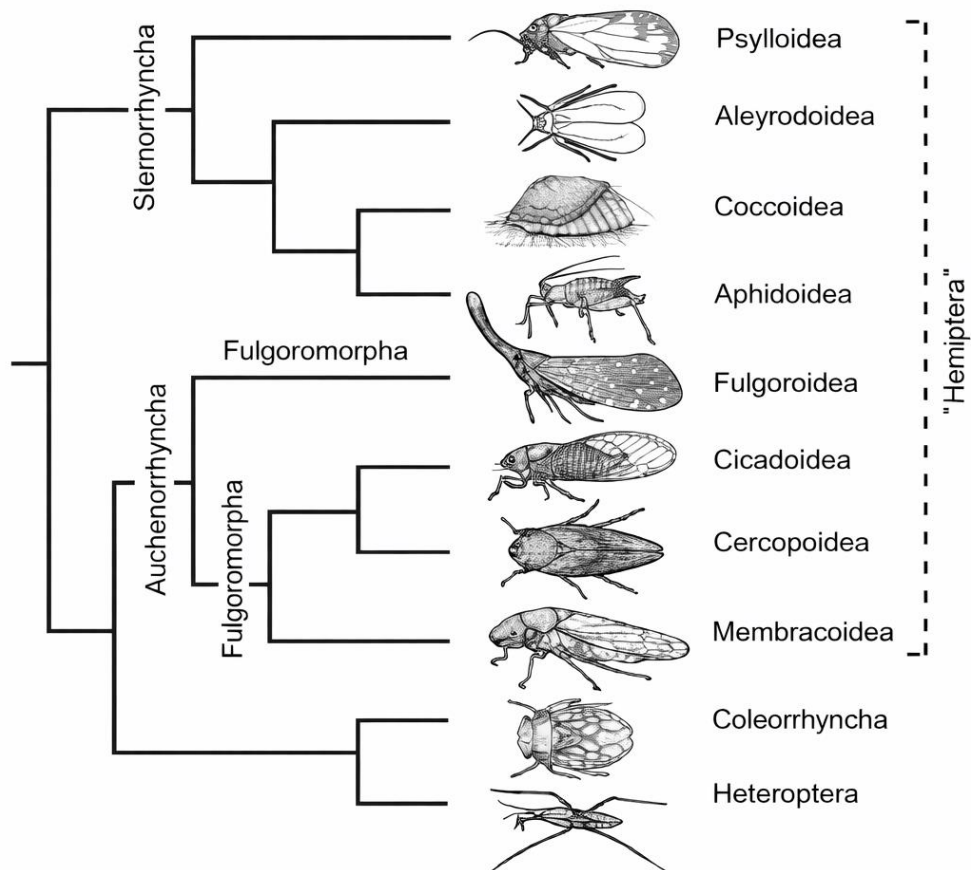


Figura 7- Relações filogenéticas entre os principais grupos da ordem Hemiptera, destacando as subordens Sternorrhyncha, Auchenorrhyncha (incluindo Fulgoromorpha e Cicadomorpha), Coleorrhyncha e Heteroptera, com representação esquemática das superfamílias correspondentes. Fonte: GULLAN *et al.*, 2017.

Os insetos da ordem Hemiptera caracterizam-se principalmente pela presença de aparelho bucal do tipo sugador labial tetraqueta, no qual os canais de sucção e de saliva são formados pela justaposição dos estiletes maxilares, envolvidos pelos estiletes mandibulares (GALLO *et al.*, 2002; GULLAN *et al.*, 2017). De modo geral, apresentam dois pares de asas, sendo o par anterior total ou parcialmente mais endurecido em relação ao posterior, além da ausência de cercos. O desenvolvimento é do tipo hemimetabólico, ocorrendo, em geral, cinco ecdises até a fase adulta (GALLO *et al.*, 2002).

O expressivo êxito evolutivo dos hemípteros está diretamente relacionado à especialização do aparelho bucal picador-sugador, associada à presença de endossimbiontes, o que possibilitou a exploração eficiente de uma nova fonte alimentar: a seiva vegetal. A partir dessa condição ancestral, o grupo passou por ampla diversificação adaptativa, originando também espécies que se alimentam de líquidos de origem animal (GULLAN E CRANSTON, 2017; SOUSA, 2019; GRAZIA, 2024). Dentro dessa ordem, a subordem Heteroptera distingue-se por apresentar o rostro inserido afastado do proesterno, presença de gula e asas anteriores, quando existentes, do tipo hemiélitro. Esse grupo compreende insetos popularmente conhecidos como percevejos, marias-fedidas, baratas-d'água, barbeiros e percevejos-do-leito (GALLO *et al.*, 2002).

Os indivíduos da subordem Heteroptera possuem o corpo dividido em três regiões bem definidas: cabeça, tórax e abdome. A cabeça, geralmente pequena, apresenta um par de antenas segmentadas e abriga as estruturas associadas ao aparelho bucal especializado (GULLAN E CRANSTON, 2017). Esse aparelho bucal é do tipo picador-sugador e pode variar em tamanho conforme o hábito alimentar da espécie; nas formas fitófagas, que se alimentam da seiva das plantas, o rostro é alongado e, em geral, ultrapassa o primeiro par de pernas (TRIPLEHORN E JOHNSON, 2013; GULLAN E CRANSTON, 2017). Além disso, características morfofuncionais como o corpo compacto e o sistema nervoso central relativamente concentrado favorecem respostas rápidas aos estímulos ambientais e comportamentos mais complexos, fatores que possivelmente contribuíram para a elevada diversidade observada nesse grupo (GRAZIA, 2024). Sob a perspectiva econômica e sanitária, os hemípteros apresentam grande relevância, uma vez que

diversas espécies fitófagas são reconhecidas como pragas de importância agrícola e florestal, ocasionando prejuízos significativos à produção vegetal (GRAZIA, 2024).

1.8. *DYSDERCUS PERUVIANUS* (PYRRHOCORIDAE)

A espécie *Dysdercus peruvianus*, popularmente conhecida como percevejo-manchador, é uma praga que ataca principalmente plantas da família Malvaceae, como o algodão (*Gossypium* sp.) (STEPHEN, 2019). A cultura do algodão é economicamente significativa devido à sua produção de fibras (TARAZI *et al.*, 2020). No entanto, os ataques de pragas como *Dysdercus* podem reduzir a produtividade ao causar podridão das sementes, diminuir o peso das sementes devido à fitofagia e introduzir vírus e bactérias (NAKANO *et al.*, 2002).

O gênero *Dysdercus* sp. compreende um amplo grupo de percevejos fitófagos, sendo o único gênero da família Pyrrhocoridae que inclui espécies de importância econômica (ELIAS *et al.*, 2025). Esses insetos apresentam ampla distribuição geográfica, ocorrendo em regiões subtropicais, tropicais e em algumas áreas temperadas do Velho e do Novo Mundo (CIESLA, 2016; ELIAS *et al.*, 2025). Entre as espécies desse gênero, destaca-se *Dysdercus peruvianus* (Guérin-Méneville, 1831), um inseto fitófago pertencente à ordem Hemiptera, reconhecido como uma importante praga da cultura do algodão (ROSADO *et al.*, 2019).

As espécies do gênero *Dysdercus* estão constantemente associadas a prejuízos econômicos em lavouras de algodão, uma vez que se alimentam de flores, sementes e cápsulas em desenvolvimento (STEPHEN, 2019). Além disso, os adultos apresentam elevada capacidade reprodutiva e realizam posturas de 300 a 450 ovos de uma única vez, com intervalos aproximados de cinco dias entre as oviposições, o que torna necessária a adoção de novas estratégias de controle populacional (RAJENDRAN *et al.*, 2018).

Do ponto de vista morfológico, esses percevejos apresentam corpo alongado, coloração vermelha intensa, cabeça e apêndices escuros, tórax com listras brancas e asas de coloração castanha (fig. 8) (GALLO *et al.*, 2002). As fêmeas depositam ovos perolados em pequenas escavações no solo, os quais adquirem coloração amarelada

antes da eclosão. As ninfas, inicialmente rosadas e posteriormente avermelhadas, deslocam-se para as plantas hospedeiras, onde se alimentam das maçãs e capulhos. Durante esse processo, perfuram os tecidos vegetais com o rostro para sugar a seiva e atingir diretamente as sementes (GALLO *et al.*, 2002). O ciclo de vida desses insetos tem duração média de aproximadamente 45 dias (fig. 9) (GALLO *et al.*, 2002).

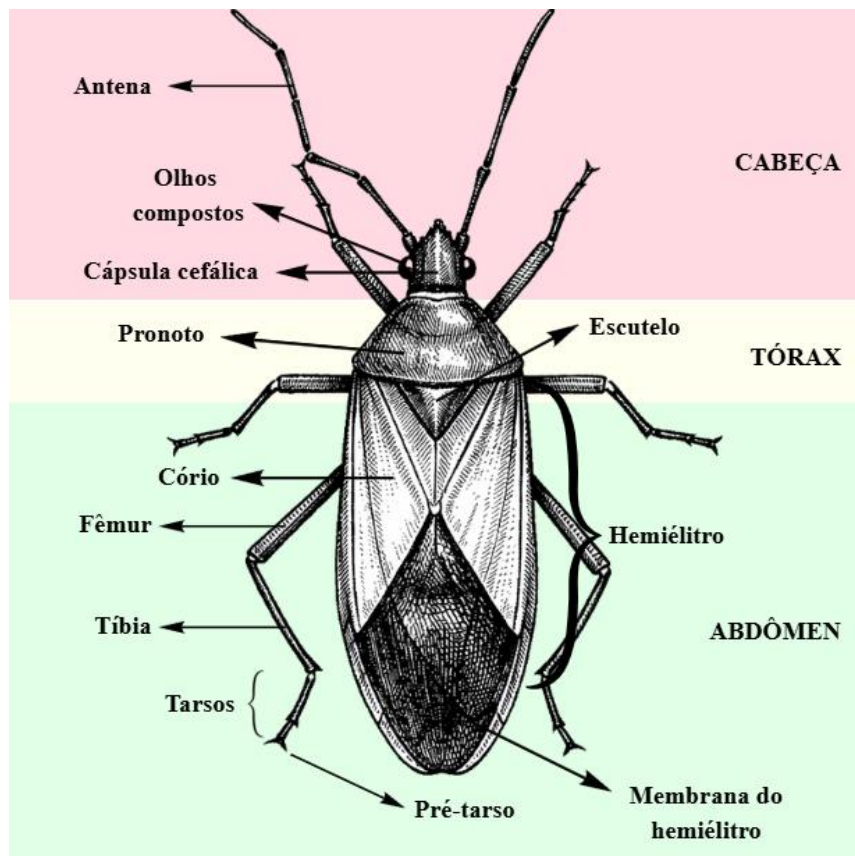


Figura 8- Morfologia externa de *Dysdercus peruvianus* (Hemiptera: Pyrrhocoridae), evidenciando as principais estruturas anatômicas: antenas, olhos compostos, pronoto, escutelo, patas e hemiélitros, desenho autoral.

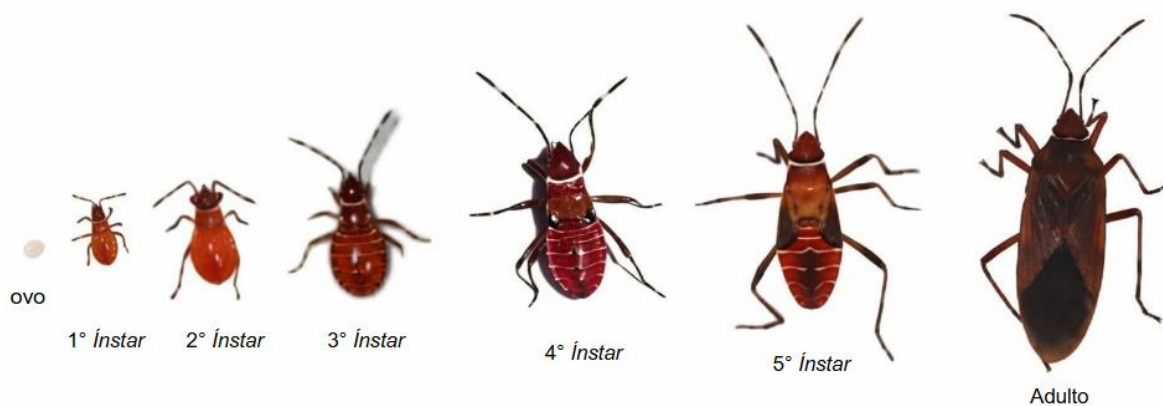


Figura 9- Desenvolvimento hemimetábolo de *Dysdercus peruvianus*, ilustrando o ovo, os cinco *instars* ninfais e o adulto, com evidência de aumento progressivo de tamanho corporal e diferenciação das estruturas alares ao longo dos estádios, registro autoral.

1.9. SISTEMA FISIOLÓGICO DO INSETO

O tegumento dos insetos (fig. 10) é constituído por três camadas principais: membrana basal, epiderme e cutícula. A membrana basal consiste em uma camada de polissacarídeos secretada por determinados tipos de hemócitos, cuja função é separar a epiderme do hemocelo (GALLO *et al.*, 2002; GULLAN E CRANSTON, 2017). Nervos e traqueias, essenciais para o funcionamento do tegumento, atravessam essa membrana e se dispõem entre ela e a epiderme (GALLO *et al.*, 2002).

A epiderme é formada por uma única camada de células epiteliais poligonais secretoras, intercaladas por diferentes tipos de células especializadas, sendo direta ou indiretamente responsável pela síntese de toda a cutícula (GULLAN E CRANSTON, 2017). Durante o processo de ecdise, as células epidérmicas tornam-se altamente ativas, produzindo enzimas responsáveis pela digestão das camadas da cutícula antiga, bem como os componentes necessários para a formação da nova cutícula (GALLO *et al.*, 2002; GULLAN E CRANSTON, 2017). A cutícula corresponde ao material secretado pelas células epidérmicas e depositado na superfície externa do corpo, onde se solidifica, formando o exoesqueleto. Estruturalmente, divide-se em

epicutícula, de natureza não quitinosa, e procutícula, também denominada cutícula quitinosa (GALLO *et al.*, 2002).

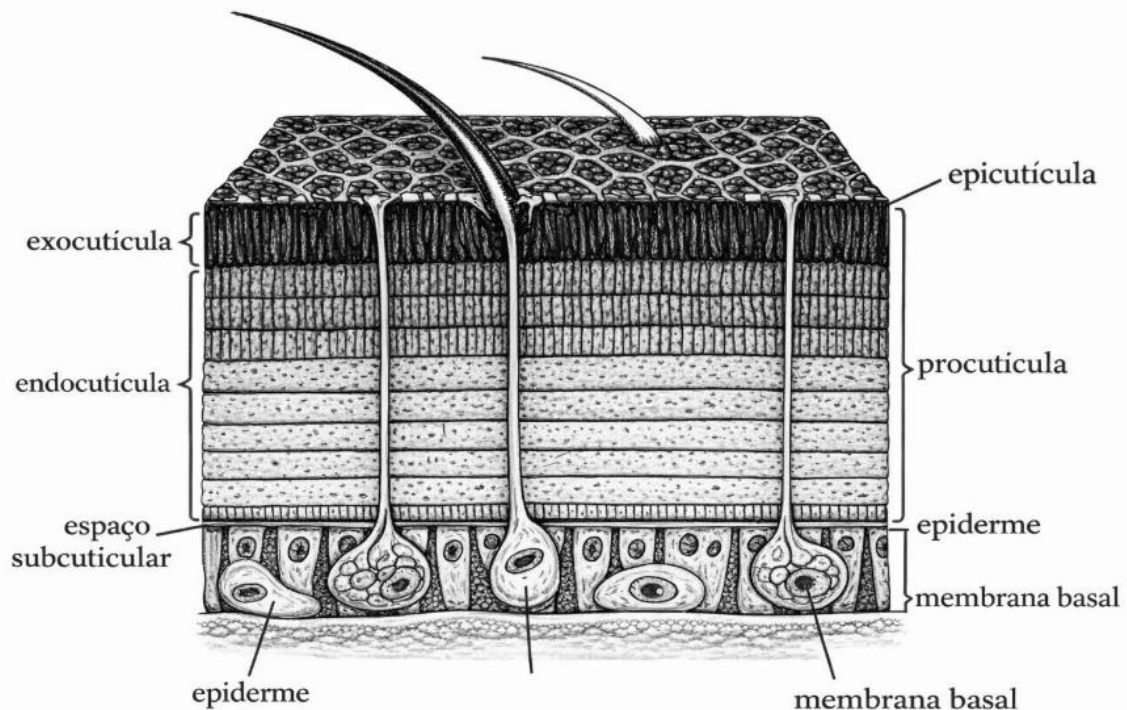


Figura 10- Representação esquemática do tegumento de insetos em corte transversal, evidenciando a organização em camadas. Observa-se a cutícula, subdividida em epicutícula, exocutícula e endocutícula, o espaço subcuticular, a epiderme e a membrana basal, além das estruturas sensoriais associadas que atravessam a cutícula e se conectam às células epidérmicas. Imagem adaptada do GALLO *et al.*, 2002.

A ecdise constitui o fenômeno de renovação do tegumento nos artrópodes e ocorre sob rigoroso controle hormonal (GALLO *et al.*, 2002). Nesse processo, as células epidérmicas aumentam de volume e inicialmente se separam da cutícula antiga por meio da apólise. Posteriormente, os enócitos secretam a camada de cutícula que compõe a epicutícula. Durante a ecdise propriamente dita, a cutícula antiga é digerida por enzimas presentes no fluido de ecdise, produzido pelas próprias células epidérmicas (GALLO *et al.*, 2002; GULLAN *et al.*, 2017).

Os insetos recém-eclodidos apresentam grande semelhança morfológica com os adultos, diferenciando-se principalmente pelo menor tamanho corporal, pela ausência de asas plenamente desenvolvidas e pela imaturidade dos órgãos genitais (GALLO *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2010). Esse padrão de desenvolvimento

caracteriza a metamorfose parcial ou incompleta, típica de insetos hemimetábolos, na qual não ocorre a fase pupal (GALLO *et al.*, 2002). Ao longo do crescimento, o inseto passa por sucessivas ecdises, que permitem o aumento de tamanho e a diferenciação gradual das estruturas corporais. Os estágios intermediários desse desenvolvimento são denominados formas jovens, formas imaturas ou ninfas, as quais, em geral, ocupam nichos ecológicos semelhantes aos dos adultos (GOMES *et al.*, 2010).

A metamorfose e a ecdise são processos complexos e altamente regulados, controlados principalmente por mecanismos hormonais de natureza endócrina (HERNANDES, 2016). Os hormônios envolvidos são produzidos por glândulas endócrinas desprovidas de ductos, que liberam suas secreções diretamente na hemolinfa, possibilitando sua distribuição por todo o organismo do inseto (KLOWDEN, 2013). Esses hormônios atuam de forma integrada ao sistema nervoso, complementando sua ação: enquanto o sistema nervoso promove respostas rápidas e de curta duração, o sistema endócrino regula processos fisiológicos mais prolongados, relacionados ao crescimento, ao desenvolvimento, à diferenciação morfológica e à modulação comportamental (KLOWDEN, 2013; GRAZIA, 2024).

Entre os principais hormônios envolvidos no controle da ecdise e da metamorfose destacam-se o hormônio protorácicotrópico, os ecdisteroides, o hormônio da eclosão, o hormônio juvenil e o bursicônio, que atuam de maneira coordenada ao longo do ciclo de vida do inseto (HERNANDES, 2016). O hormônio protorácicotrópico, anteriormente denominado hormônio do cérebro, é um polipeptídeo sintetizado por células neurosecretoras localizadas nos pares intercerebrais do protocérebro (NATION, 2022). Após sua síntese, é transportado e armazenado na corpora cardiaca, glândulas retrocerebrais associadas ao sistema nervoso central, sendo posteriormente liberado na hemolinfa. Sua principal função é estimular as glândulas protorácicas a sintetizarem e liberarem os ecdisteroides, desencadeando o processo de muda (NATION, 2022; GRAZIA, 2024).

Os ecdisteroides são hormônios esteroides responsáveis pela indução da ecdise, atuando na ativação de genes relacionados à apólise, à degradação da cutícula antiga e à formação da nova cutícula (NATION, 2022). Esses hormônios são produzidos pelas glândulas protorácicas, localizadas na região posterior da cabeça ou no tórax da maioria dos insetos (GALLO *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2010).

O hormônio da eclosão é um polipeptídeo com grupamento ácido, produzido por células neurosecretoras do cérebro e armazenado na corpora cardíaca (GALLO *et al.*, 2002). No último *instar* larval, também é sintetizado e acumulado nos gânglios torácicos e abdominais, sendo liberado pouco antes da ecdise (GALLO *et al.*, 2002; GRAZIA, 2024). Sua principal função é regular o comportamento motor do inseto durante o processo de muda, coordenando os movimentos necessários para o rompimento da cutícula antiga e a liberação do corpo (GRAZIA, 2024).

O hormônio juvenil é um sesquiterpeno produzido pelos corpos alados, um par de glândulas retrocerebrais localizadas lateralmente ao esôfago e conectadas à corpora cardíaca por fibras nervosas provenientes das células neurosecretoras do cérebro (GRAZIA, 2024). Esse hormônio desempenha papel fundamental no controle da metamorfose, uma vez que, durante os estágios imaturos, sua presença em níveis elevados mantém as características larvais ou ninfais, impedindo a diferenciação para o estágio adulto (BAILLY E KOHLMEIER, 2025). A redução progressiva de seus níveis permite a ocorrência das transformações morfológicas características da metamorfose. No estágio adulto, o hormônio juvenil está relacionado à maturação sexual, à atividade reprodutiva e a determinados padrões comportamentais (GRAZIA, 2024; BAILLY E KOHLMEIER, 2025).

O bursicônio é um polipeptídeo produzido por células neurosecretoras do cérebro e liberado, geralmente, por órgãos neuronais associados aos gânglios torácicos e abdominais logo após a ecdise. Esse hormônio é responsável pelo processo de esclerotização do novo tegumento, promovendo o escurecimento e o endurecimento da cutícula recém-formada, conferindo proteção mecânica ao inseto e assegurando a funcionalidade adequada de suas estruturas corporais (GRAZIA, 2024).

1.10. REGULADORES DE CRESCIMENTO DOS INSETOS

1.10.1. INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE QUITINA

A cutícula dos insetos atua como a principal interface entre o organismo e o ambiente externo, sendo responsável pela formação do exoesqueleto e pelo

revestimento de estruturas internas, como o intestino, o sistema respiratório e os ductos reprodutivos (GALLO *et al.*, 2002; CHAPMAN, 2013). Essa estrutura é composta predominantemente por proteínas estruturais e quitina, um polímero β -(1,4) de N-acetil-D-glucosamina, que pode ocorrer nas formas cristalinas α , β e γ (MERZENDORFER E ZIMMICH, 2003).

A quitina está amplamente distribuída em insetos, crustáceos, fungos e protozoários, sendo ausente em vertebrados e plantas superiores, característica que a torna um alvo bioquímico estratégico para o controle seletivo de insetos-praga (VICENT E WEGENER, 2004; TUNAZ E UYGUN, 2004; YU *et al.*, 2024). A biossíntese da quitina depende de um complexo enzimático cuja principal enzima é a quitina sintetase, localizada na epiderme dos insetos. As enzimas envolvidas nesse processo são inicialmente produzidas como zimogênios inativos no retículo endoplasmático e posteriormente ativadas por proteases específicas, as quais também se tornam alvos potenciais para a regulação da síntese de quitina (TUNAZ E UYGUN, 2004; MERZENDORFER, 2006; CHEN *et al.*, 2023).

Os inibidores da síntese de quitina (ISQ) constituem um grupo de reguladores de crescimento de insetos, destacando-se principalmente os compostos da classe das benzoilfenilureias. Esses compostos atuam inibindo a atividade da quitina sintetase, comprometendo a formação adequada da cutícula e, conseqüentemente, o processo de muda dos insetos (GALLO *et al.*, 2002; VICENT E WEGENER, 2004; YU *et al.*, 2024; LIU *et al.*, 2024; WANG *et al.*, 2025).

O diflubenzuron foi o primeiro ISQ introduzido comercialmente como inseticida, pertencente ao grupo das benzoilfenilureias, demonstrando elevada eficácia contra larvas de Lepidoptera, além de espécies das ordens Coleoptera e Diptera (TUNAZ E UYGUN, 2004; MORI *et al.*, 2024). Posteriormente, seus derivados apresentaram maior atividade biológica e eficiência no controle de pragas agrícolas, aliadas a uma baixa toxicidade para insetos benéficos e outros organismos não alvo (GALLO *et al.*, 2002; MERZENDORFER, 2006; ZHANG *et al.*, 2022; MORI *et al.*, 2024).

Além das benzoilfenilureias, o buprofezin também atua como inibidor da síntese de quitina, sendo amplamente empregado no controle de insetos da ordem Hemiptera, como cigarrinhas e moscas-brancas, principalmente por interferir na

ecdise e no desenvolvimento ninfal (TUNAZ E UYGUN, 2004; ZHANG *et al.*, 2022). O lufenuron, por sua vez, quando administrado por via oral, inibe a síntese de quitina ao interferir diretamente no desenvolvimento embrionário e larval, sendo especialmente utilizado no controle de pulgas (VICENT E WEGENER, 2004; MA *et al.*, 2024).

De modo geral, os inibidores da síntese de quitina apresentam elevada eficácia contra larvas multirresistentes a inseticidas convencionais, o que reforça sua importância nos programas de manejo integrado de pragas. Entretanto, casos de resistência já foram relatados após o uso prolongado desses compostos, destacando a necessidade de estratégias de manejo que incluem a rotação de princípios ativos (TUNAZ E UYGUN, 2004; MERZENDORFER, 2006; ZHANG *et al.*, 2022; MA *et al.*, 2024).

1.10.2. AGONISTAS DE ECDISONA

O receptor de ecdisona (EcR) é uma proteína pertencente à família dos receptores nucleares e desempenha papel central na regulação dos processos de muda, metamorfose e reprodução dos insetos, ao mediar a ação dos ecdisteroides sobre a expressão gênica (WING *et al.*, 1988; PINTO *et al.*, 2019). O avanço no conhecimento acerca da estrutura e da função dos ecdisteroides, bem como da organização molecular de seus receptores, possibilitou o desenvolvimento de compostos não esteroidais capazes de atuar como agonistas do receptor de ecdisona. Dentre esses compostos, destacam-se os inseticidas da classe das diacil-hidrazinas, que mimetizam a ação hormonal e induzem alterações precoces no processo de muda (WING *et al.*, 1988; PINTO *et al.*, 2019).

Além das diacil-hidrazinas, diversos outros grupos químicos de compostos não esteroidais apresentam atividade agonista ou antagonista sobre o receptor de ecdisona em insetos. Entre esses grupos incluem-se os oligobestenos (MENG *et al.*, 2001; SINGH *et al.*, 2021), alcaloides de origem natural (DINAN *et al.*, 2001; WINKLER E HILL, 2025), α -acilaminocetonas (TICE *et al.*, 2003; BROWNING *et al.*, 2021), acilaminocetonas e tetraidroquinolinas (SOIN *et al.*, 2010; BROWNING *et al.*, 2021), bem como moléculas estruturalmente não classificadas descritas mais recentemente (HARADA *et al.*, 2011; HU *et al.*, 2018; PINTO *et al.*, 2019). O receptor

de ecdisona configura-se como um alvo molecular ainda pouco explorado no controle de insetos-praga, porém promissor, sobretudo para a prospecção contínua de novas moléculas com maior seletividade, eficácia biológica e menor impacto ambiental, quando comparadas aos inseticidas neurotóxicos convencionais (PINTO *et al.*, 2019).

1.10.3. ANÁLOGOS DO HORMÔNIO JUVENIL

Os principais análogos do hormônio juvenil são metopreno, fenoxicarbe e piriproxifeno. Eles agem impedindo a metamorfose para o estágio adulto ao se ligarem aos receptores do hormônio juvenil e, por serem estruturalmente diferentes, não são destruídos facilmente (ALVES, 2024).

O metopreno é um análogo do hormônio juvenil (HJ) capaz de mimetizar seus efeitos fisiológicos sem interferir diretamente na quantidade de HJ secretada pelos corpos alados. Esse composto é amplamente utilizado para interromper vias hormonais dependentes do HJ, as quais estão envolvidas na regulação do desenvolvimento e da reprodução dos insetos (BAILLY E KOHLMEIER, 2025; LAWLER, 2017; MESICH E RICHARDS, 2025; SCHEFF *et al.*, 2024;).

Diferentemente dos inseticidas convencionais, que promovem a morte imediata dos insetos por ação neurotóxica, o metopreno atua comprometendo a capacidade do inseto de completar seu desenvolvimento e atingir a fase adulta reprodutiva. Em razão desse mecanismo de ação, o metopreno tem sido empregado em diversos contextos para controlar uma ampla gama de pragas de importância agrícola e sanitária (WU *et al.*, 2024; BAILLY E KOHLMEIER, 2025).

Em função de sua elevada seletividade sobre processos fisiológicos específicos dos insetos e de sua toxicidade relativamente baixa para seres humanos e para o meio ambiente, o metopreno é classificado como um “pesticida biorracional”. Essa característica reforça seu potencial de uso em programas de manejo integrado de pragas, especialmente como alternativa aos inseticidas químicos convencionais (RAMASESHADRI *et al.*, 2012; HUANG *et al.*, 2018; BAILLY E KOHLMEIER, 2025). O fenoxicarbe é indicado no controle de insetos, como pulgas, impedindo que as larvas consigam emergir dos ovos (TAYLOR, 2001; ALVES, 2024).

O piriproxifeno é utilizado no controle de insetos, principalmente mosquitos, demonstrando ação ovicida e larvicida (ALVES, 2024). Em estudos *in vitro*, foi capaz de impedir a eclosão dos ovos e a sobrevivência das larvas de *Haematobia irritans* (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021). O piriproxifeno atua mimetizando a ação do hormônio juvenil e, portanto, tem como mecanismo de ação a inibição do processo de morfogênese dos insetos (ALVES, 2024).

1.10.4. HORMÔNIO ANTI-JUVENIL (ANTAGONISTA DO HORMÔNIO JUVENIL)

Os agentes anti-hormônio juvenil (anti-HJ) são compostos que atuam inibindo a ação ou a síntese dos hormônios juvenis em insetos. O desenvolvimento desses compostos tem como principal objetivo interromper o crescimento, impedindo que os insetos completem seu amadurecimento e alcancem a fase adulta reprodutiva. Dessa forma, ao interferirem nos processos de muda e metamorfose, os agentes anti-HJ promovem a formação de insetos adultos precoces e não funcionais (KUMAR *et al.*, 2024).

Entre esses compostos, destacam-se os precocenos I e II, que apresentam atividade antagonista ao hormônio juvenil dos insetos, induzindo metamorfose prematura e resultando na produção de fêmeas estéreis e adultos malformados (NOVO *et al.*, 2010; SOUTO *et al.*, 2021).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

Analisar a ação do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill no desenvolvimento do hemíptero *Dysdercus peruvianus*.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a taxa de mortalidade, período intermuda das ninfas, postura de ovos dos insetos no bioensaio com diluições do óleo com aplicação tópica em ninfas de *Dysdercus peruvianus*.
- Avaliar a taxa de mortalidade, período intermuda das ninfas, postura de ovos dos insetos tratados no bioensaios com diluições do óleo com aplicação por contato em ninfas de *Dysdercus peruvianus*.
- Avaliar a taxa de mortalidade de insetos tratados no bioensaios com diluições do óleo com aplicação por fumigação em ninfas de *Dysdercus peruvianus*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. COLÔNIA DE INSETOS

A colônia de *Dysdercus peruvianus* é mantida no Laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Biologia Geral/ Universidade Federal Fluminense, em condições controladas com temperatura média variando entre $25 \pm 1^\circ$ Graus Celsius ($^\circ\text{C}$) e umidade relativa de 60% e fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuridão. Os insetos são mantidos em cubas de vidro transparente cobertas com tecido filó, com acesso a água armazenada em tubos tipo Falcon de 50 mililitros (mL), contendo gaze para absorção.

Os *Dysdercus peruvianus* são alimentados com sementes de algodão. Para retenção de dejetos e aumento da área de locomoção, utiliza-se papel filtro recortado em formato sanfonado. Nas cubas, os *D. peruvianus* utilizam as próprias sementes de algodão como local para a oviposição. Os ovos são transferidos para novas cubas semanalmente, com o objetivo de manter ninfas de mesmo estágio no mesmo recipiente. A manutenção da colônia é realizada semanalmente.

Para a realização dos experimentos, foram separadas ninfas do 4º instar.

3.2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

O óleo essencial de *E. globulus* em sua forma pura foi selecionado e comercializado pela empresa WNF (Bairro Casa Verde, São Paulo/SP; site: wnf.com.br). A aquisição desse produto foi realizada por meio de uma plataforma de comércio eletrônico.

A composição do óleo essencial de *E. globulus* obtida por cromatografia (Tab. 1 e Fig.11) foi fornecida pela empresa WNF.

Tabela 1- Composição do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* (obtida por cromatografia) fornecido pela empresa WNF, com identificação dos principais compostos.

Principais constituintes	(%)
1,8-cineol	94,35
α -pineno	0,97
β -pineno	0,33
β -mirceno	0,4
p-cimeno	1,8
Trans- β -ocimeno	0,55
Cis- β -ocimeno	0,11
Não identificado	1,47

Distribuição das funções orgânicas (%)

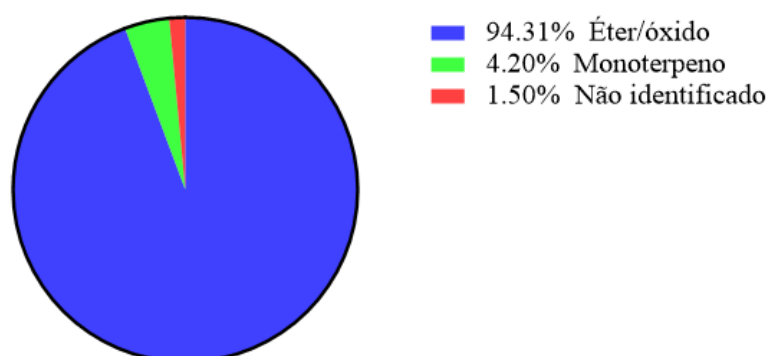


Figura 11- Composição química do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill, agrupada por funções orgânicas.

3.3. BIOENSAIOS

Para a realização dos experimentos, foram utilizadas ninfas de quarto *instar* de *Dysdercus peruvianus*. Os bioensaios foram conduzidos por meio de três tipos de tratamento: aplicação tópica, contato e fumigação. O tratamento tópico foi realizado de acordo com a metodologia descrita por (Fernandes *et al.*, 2012), o tratamento por contato seguiu o protocolo proposto por (Henriques *et al.*, 2016) e o ensaio de fumigação foi conduzido conforme Chaubey (2008) e Apolinário (2021). Em todos os ensaios, os compostos foram fornecidos aos insetos em diferentes concentrações, de

acordo com o tipo de exposição avaliado. Já em relação ao controle positivo, foi utilizado o inseticida comercial K-Othrine® (formulações à base de deltametrina), da empresa Bayer (São Paulo, SP, Brasil). De acordo com as recomendações do fabricante, para o controle de insetos voadores, o produto deve ser diluído na proporção de 6 mL para 1 L de água. Para adequação à escala laboratorial, essa proporção foi convertida mantendo-se a equivalência da concentração, resultando na diluição de 6 µL do produto para 1 mL de água destilada. A solução foi preparada imediatamente antes do uso, garantindo homogeneização adequada para aplicação nos bioensaios.

No tratamento tópico, 1 µL do óleo essencial puro e de suas respectivas diluições foi aplicado diretamente na cutícula dorsal dos insetos, utilizando-se uma micropipeta (tab. 2 e fig. 12). As diluições do óleo essencial foram preparadas de forma seriada em acetona, na proporção 1:1 (v/v). Considerando-se a densidade do óleo essencial determinada por análise físico-química (0,912 mg/mL), a aplicação tópica de 1 µL do óleo puro correspondeu à dose de 912 µg/mL. As diluições subsequentes resultaram nas concentrações de 456 µg/ mL, 228 µg/ mL, 114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL (tab.2). Insetos do grupo controle solvente receberam aplicação tópica de 1 µL de acetona, enquanto os insetos do grupo controle negativo não receberam qualquer tratamento. O grupo controle positivo foi composto por insetos tratados com inseticida de atividade biológica reconhecida, utilizando uma solução do produto comercial K-Othrine®. Os experimentos foram conduzidos em triplicata, com n = 30 insetos por tratamento, e as avaliações foram realizadas durante um período de 20 dias após o tratamento (DAT).

Tabela 2- Preparação das diluições do OE (óleo essencial), volume aplicado no dorso do inseto, volume no inseto e respectivas concentrações finais e superficiais utilizadas no bioensaio tópico em ninfas de *Dysdercus peruvianus*.

Tratamento	Preparação da diluição (v/v)	Concentração do óleo na solução (mg/mL)	Volume aplicado (μ L/ mL)	Dose aplicada (μ g/inseto)
OE puro (100%)	Óleo essencial puro	0,912	1 μ L	912
D1 (1:2)	1 mL óleo + 1 mL acetona	0,456	1 μ L	456
D2 (1:4)	1 mL D1 + 1 mL acetona	0,228	1 μ L	228
D3(1:8)	1 mL D2 + 1 mL acetona	0,114	1 μ L	114
D4(1:16)	1 mL D3 + 1 mL acetona	0,057	1 μ L	57
D5(1:32)	1 mL D4 + 1 mL acetona	0,0285	0,627	28,5

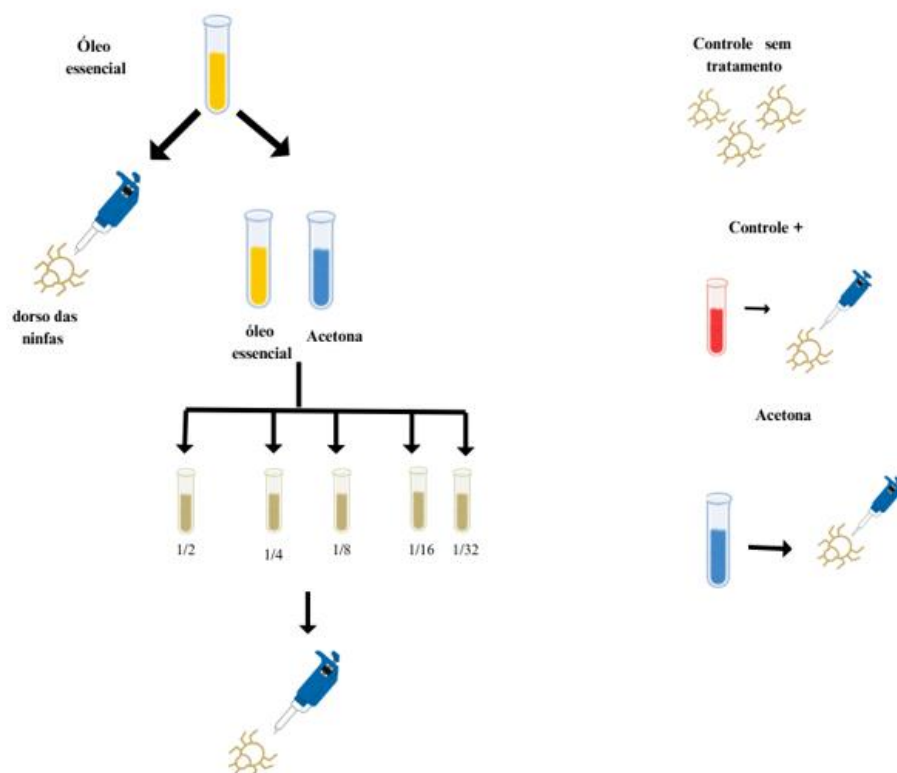


Figura 12- Representação esquemática do delineamento experimental do bioensaio por aplicação tópica em ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus*. Foram estabelecidos os seguintes grupos: controle sem tratamento, controle com solvente (acetona), controle positivo com inseticida comercial K-Othrine® e tratamentos com óleo essencial puro e suas diluições (456 µg/ mL, 228 µg/ mL, 114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL), aplicados diretamente no dorso das ninfas.

No tratamento por contato, o óleo essencial e suas diluições foram aplicados em papel filtro disposto na base de placas de Petri com 9 cm de diâmetro (tab. 3 e fig.13). O papel filtro, com área de 63,6 cm², foi impregnado com 11 alíquotas de 2 µL, distribuídas em pontos equidistantes, totalizando 22 µL por placa. Considerando a densidade do óleo essencial (0,912 mg/mL), a massa total de óleo aplicada por placa correspondeu a 20,06 mg, resultando em uma concentração superficial de 315,5 µg/cm² de óleo puro. As diluições do óleo essencial foram preparadas de forma seriada em acetona, na proporção 1:2, obtendo-se as concentrações superficiais de 157,7 µg/cm², 78,9 µg/cm², 39,4 µg/cm², 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm² (tab. 3). Após a aplicação das soluções no papel filtro, aguardou-se um período de três minutos para a evaporação do solvente e, em seguida, as ninfas foram depositadas sobre o substrato tratado. As placas foram cobertas e vedadas com parafilme, garantindo-se a exposição dos insetos exclusivamente ao contato com a superfície impregnada. Insetos do grupo controle solvente permaneceram em contato com papel filtro tratado

com 22 μL de acetona, enquanto os insetos do grupo controle negativo permaneceram em contato com papel filtro sem tratamento. O grupo controle positivo foi constituído por insetos tratados com 22 μL da solução do inseticida comercial K-Othrine®. Os bioensaios foram conduzidos em triplicata, com $n = 30$ insetos por tratamento, e os indivíduos foram avaliados diariamente durante um período de 20 dias após o tratamento (DAT).

Tabela 3- Preparação das diluições do óleo essencial, volume aplicado no papel-filtro, massa total de óleo por placa e respectivas concentrações finais e superficiais utilizadas no bioensaio por contato com ninfas de *Dysdercus peruvianus*.

Tratamento	Preparação da diluição (v/v)	Concentração do óleo na solução (mg/ μL)	Volume aplicado no papel filtro (μL)	Massa de óleo aplicada (mg)	Concentração superficial ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
OE puro (100%)	Óleo essencial puro	0,912	22	20,064	315,5
D1 (1:2)	1 mL óleo + 1 mL acetona	0,456	22	10,032	157,7
D2 (1:4)	1 mL D1 + 1 mL acetona	0,228	22	5,016	78,9
D3(1:8)	1 mL D2 + 1 mL acetona	0,114	22	2,508	39,4
D4(1:16)	1 mL D3 + 1 mL acetona	0,057	22	1,254	19,7
D5(1:32)	1 mL D4 + 1 mL acetona	0,0285	22	0,627	9,86

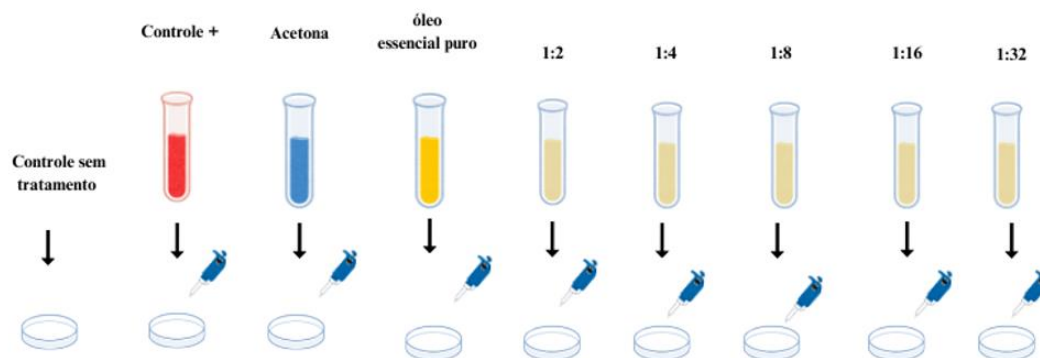


Figura 13- Esquema do bioensaio por contato em *Dysdercus peruvianus*, com aplicação das soluções sobre papel-filtro disposto no fundo das placas de Petri. Foram avaliados os grupos: controle sem tratamento, controle positivo (inseticida comercial K-Othrine®), controle com solvente (acetona), óleo essencial puro e suas diluições (100,32 mg/L, 50,16 mg/L, 25,08 mg/L, 12,54 mg/L e 6,27 mg/L).

No ensaio de fumigação (fig. 14), o óleo essencial e suas respectivas diluições foram aplicados em papel filtro fixado internamente nas tampas de frascos de reagentes com capacidade de 100 mL e diâmetro de 5,2 cm, não sendo incluído um controle positivo, uma vez que não havia disponibilidade de um inseticida com ação fumigante compatível com o delineamento experimental, considerando que o K-Othrine® (à base de deltametrina) apresenta ação predominantemente por contato, não sendo adequado para esse tipo de aplicação. O papel filtro, com área aproximada de 21 cm², recebeu 11 alíquotas de 2 µL, totalizando 22 µL por tampa. Considerando a densidade do óleo essencial (0,912 mg/mL), a massa de óleo aplicada por frasco correspondeu a 20,06 mg. A concentração do óleo no ar foi expressa em mg/L, levando-se em consideração o volume interno dos frascos (0,1 L), resultando em 200,64 mg/L para o tratamento com óleo essencial puro. As diluições subsequentes corresponderam às concentrações de 100,32 mg/L, 50,16 mg/L, 25,08 mg/L, 12,54 mg/L e 6,27 mg/L (tab. 4, fig. 14). Após a aplicação do óleo no papel filtro, as ninfas foram introduzidas nos frascos, que foram imediatamente vedados com tampas contendo uma tela milimétrica, de modo a impedir o contato direto dos insetos com o papel filtro, garantindo-se a exposição exclusiva aos vapores do óleo essencial. Os experimentos foram conduzidos em triplicata, com n = 10 insetos por tratamento, e as avaliações foram realizadas após 24, 48, 72 e 96 horas de exposição.

Tabela 4- Preparação das diluições do óleo essencial (OE), indicando a concentração do óleo na solução, o volume aplicado no papel-filtro, a massa de óleo aplicada e a concentração final no frasco para o tratamento por fumigação (OE puro e diluições seriadas de 1:2 a 1:32).

Tratamento	Preparação da diluição (v/v)	Concentração do óleo na solução (mg/μL)	Volume aplicado no papel filtro (μL)	Massa de óleo aplicada (mg)	Concentração final no frasco (mg/L)
OE puro (100%)	Óleo essencial puro	0,912	22	20,064	200,64
D1 (1:2)	1 mL óleo + 1 mL acetona	0,456	22	10,032	100,32
D2 (1:4)	1 mL D1 + 1 mL acetona	0,228	22	5,016	50,16
D3(1:8)	1 mL D2 + 1 mL acetona	0,114	22	2,508	25,08
D4(1:16)	1 mL D3 + 1 mL acetona	0,057	22	1,254	12,54
D5(1:32)	1 mL D4 + 1 mL acetona	0,0285	22	0,627	6,27

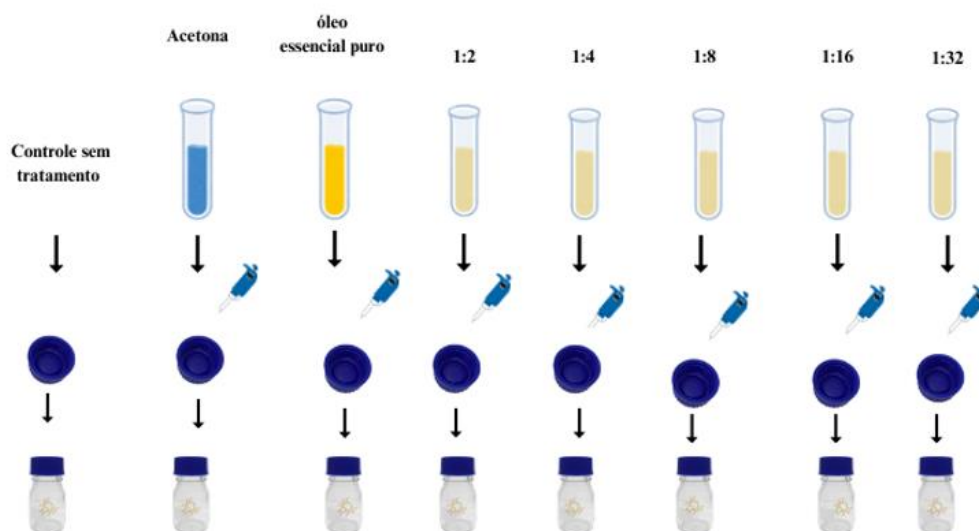


Figura 14- Representação esquemática do ensaio de fumigação em *Dysdercus peruvianus*. O óleo essencial puro e suas diluições seriadas (100,32 mg/L a 6,27 mg/L), bem como o controle com acetona e o controle sem tratamento, foram aplicados em papel-filtro fixado na parte interna das tampas de frascos de 100 mL. As ninfas foram mantidas no interior dos frascos vedados, sem contato direto com o papel-filtro, garantindo exposição exclusiva aos vapores do óleo essencial.

Os parâmetros biológicos avaliados nos experimentos por aplicação tópica e por contato incluíram: a sensibilidade diferencial dos diferentes estágios de desenvolvimento aos tratamentos; a ocorrência de malformações anatômicas; a taxa, o tempo e o período de muda; a mortalidade após 24 horas e ao longo do desenvolvimento e oviposição. No experimento por fumigação, avaliou-se exclusivamente a taxa de mortalidade dos insetos ao longo das 96 horas de exposição ao tratamento.

3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados dos tratamentos tópicos e por contato foram analisados estatisticamente. Foram utilizadas curvas de sobrevivência de Kaplan-Meier e o teste de Log-rank (Mantel-Cox), conforme Bland e Altman (2004), no software GraphPad Prism 10.05. A significância estatística foi avaliada por meio do teste do qui-quadrado (χ^2) e do valor de p . Este último (valor de p), indica a probabilidade de que as diferenças entre os resultados ocorram ao acaso. Os resultados de sobrevivência foram expressos em porcentagem $\pm$ erro padrão.

4. RESULTADOS

4.1. TRATAMENTO POR CONTATO EM *DYSDERCUS PERUVIANUS*

Os dados de sobrevivência de ninfas de quarto estágio da espécie *Dysdercus peruvianus* no período de 20 dias após o tratamento por contato com o óleo essencial (OE) de *Eucalyptus globulus* Labill estão ilustrados na figura 15. A aplicação do OE puro resultou em mortalidade total dos insetos em 24 horas ($\chi^2 = 84,00$; $p < 0,0001$), evidenciando sua elevada eficácia inseticida.

A análise estatística pelo teste do qui-quadrado foi realizada 24 horas após o tratamento para comparar os grupos controle e experimentais (fig. 15 e tab. 5). A comparação entre o grupo tratado com acetona (controle do solvente) e o grupo controle sem tratamento não revelou diferença significativa ($\chi^2 = 0,0235$; $p = 0,8781$), demonstrando que o solvente isolado não afetou a variável analisada. Esse resultado foi confirmado no início do experimento ($\chi^2 = 0,4000$; $p = 0,5271$) e após 20 dias ($\chi^2 = 0,3103$; $p = 0,5775$), quando a mortalidade observada foi, respectivamente, de $6,67 \pm 2,63$ % no grupo controle sem tratamento e $4,44 \pm 2,17$ % no grupo acetona, e posteriormente de $17,78 \pm 4,03$ % e $14,44 \pm 3,71$ %. Em ambos os momentos, não houve efeito significativo da acetona.

O grupo controle positivo apresentou, após 24 horas, uma sobrevivência de $58,89 \pm 5,2$ % ($\chi^2 = 7,015$; $p = 0,0081$). O grupo $157,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ apresentou uma diminuição acentuada na sobrevivência após 24 horas de tratamento com $17,78 \pm 4,03$ % ($\chi^2 = 46,24$; $p < 0,0001$) e 48 horas com $1,11 \pm 1,11$ % ($\chi^2 = 81,05$; $p < 0,0001$). Já o grupo $78,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ também mostrou uma diferença estatisticamente significativa em 24 horas com $51,11 \pm 5,27$ % ($\chi^2 = 11,11$; $p = 0,0009$) de sobrevivência, embora o efeito inibitório tenha sido menor que na diluição $157,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, o tratamento ainda impactou a variável analisada de forma significativa.

Na diluição $39,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, observou-se uma redução significativa na sobrevivência dos insetos aos 5 dias com $34,44 \pm 5,01$ % ($\chi^2 = 21,63$; $p < 0,0001$), que se intensificou aos 20 dias com $24,44 \pm 4,53$ % ($\chi^2 = 28,17$; $p < 0,0001$). Para a diluição

19,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, não houve diferença significativa no 5º dia com $73,33 \pm 4,66 \%$ ($\chi^2 = 1,34$; $p = 0,25$), mas aos 20 dias observou-se redução significativa na sobrevivência de $48,89 \pm 5,27 \%$ ($\chi^2 = 7,63$; $p = 0,0057$), sugerindo uma possível resposta tardia ao tratamento. Já na diluição 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, não foram detectadas diferenças significativas em nenhum dos tempos avaliados, tanto no 5º dia com $84,44 \pm 3,82 \%$ ($\chi^2 = 0,10$; $p = 0,75$) quanto no 20º dia com $66,67 \pm 4,97 \%$ ($\chi^2 = 1,46$; $p = 0,23$)

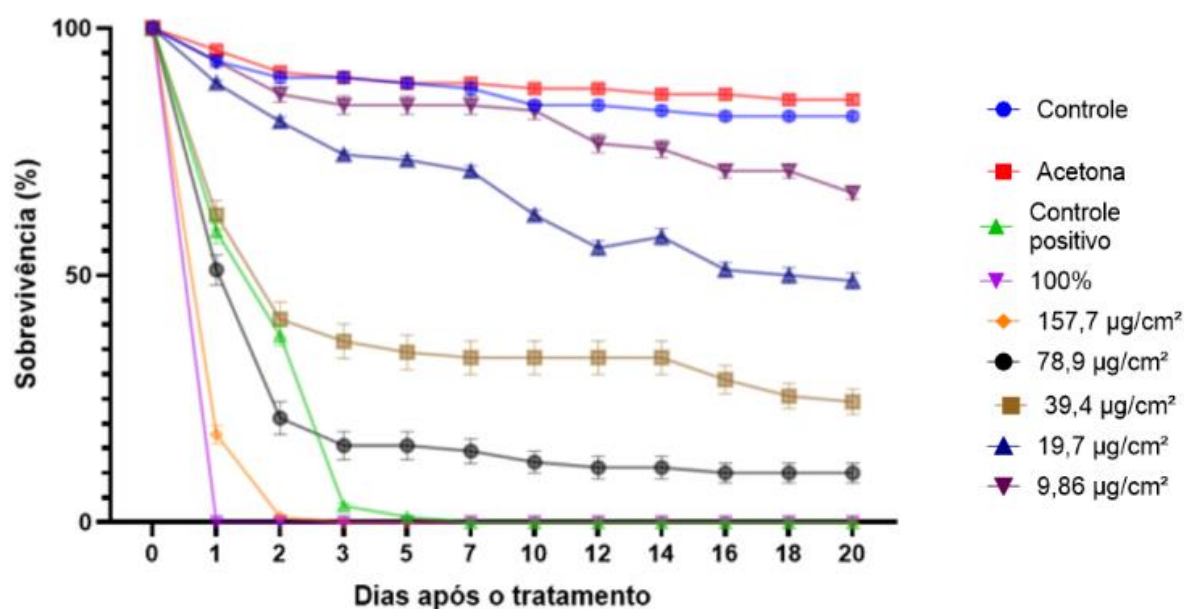


Figura 15- Curva de sobrevivência de ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus* submetidos ao tratamento por contato com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona), controle positivo (inseticida comercial K-Othrine®), óleo essencial puro (100%) e suas diluições (157,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 78,9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 39,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 19,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ e 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) N= 30 insetos por tratamento.

Tabela 5- Percentual de sobrevivência (média $\pm$ desvio-padrão) de ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus* no 1º e no 20º dia após tratamento por contato em diferentes ensaios: controles (controle negativo, acetona e controle positivo com K-Othrine®) e tratamentos com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill puro (100%) e suas diluições (157,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ a 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). N= 30 insetos por tratamento.

Ensaios	(%) de Sobrevivência no 1º dia	(%) de Sobrevivência no 20º dia
Controle	93,33 $\pm$ 0,86%	82,22 $\pm$ 0,83%
Acetona	95,55 $\pm$ 0,72%	85,55 $\pm$ 0,88%
Controle positivo	5,88 $\pm$ 0,62%	0
100%	0	0
157,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	17,77 $\pm$ 1,85%	0
78,9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	51,11 $\pm$ 3,05%	10 $\pm$ 2%
39,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	62,22 $\pm$ 2,90%	24,44 $\pm$ 2,55%
19,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	88,88 $\pm$ 0,60%	48,88 $\pm$ 1,61%
9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	93,33 $\pm$ 1,32%	66,66 $\pm$ 1,22%

4.1.1.1. ECDISE DO 4º PARA O 5º INSTAR EM *DYSDERCUS PERUVIANUS*

A progressão da mudança do 4º para o 5º *instar* em *Dysdercus peruvianus* foi acompanhada ao longo dos 10 primeiros dias pós-tratamento, expressa como porcentagem média de indivíduos no 5º *instar* $\pm$ desvio padrão (n = 30) (figura 16). De modo geral, os resultados evidenciam que o tratamento por contato com o óleo provocou atraso no desenvolvimento ninfal, com intensidade variável conforme a diluição aplicada.

No 1º dia, não foram observadas mudas em nenhum dos grupos, indicando ausência de efeito imediato do tratamento sobre a ecdise. A partir do 2º dia, o grupo controle sem tratamento apresentou 14,81 $\pm$ 2,06% de indivíduos no 5º *instar*, valor semelhante ao grupo acetona (11,76 $\pm$ 2,06%), confirmando que o solvente não interferiu no desenvolvimento. Em contraste, os insetos expostos ao óleo apresentaram respostas distintas: o tratamento 39,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ mostrou 16,22 $\pm$ 1,12%, valor próximo ao controle, enquanto 19,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (8,22 $\pm$ 0,87%) e 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (12,82

$\pm 0,93\%$) apresentaram percentuais inferiores, sugerindo um atraso inicial dependente da diluição.

No 3º dia, o controle sem tratamento atingiu $38,27 \pm 2,60\%$ e a acetona $39,51 \pm 2,60\%$ de indivíduos no 5º *instar*. O tratamento $39,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ resultou em $30,30 \pm 1,97\%$, evidenciando um atraso moderado. Esse efeito foi mais acentuado nas diluições $19,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($14,93 \pm 1,05\%$) e $9,86 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($15,58 \pm 0,71\%$), cujos valores corresponderam a aproximadamente 40% do observado no controle, indicando uma inibição expressiva da progressão da muda neste período.

No 5º dia, a diferença entre os grupos tornou-se mais evidente. O controle apresentou $41,25 \pm 2,35\%$ e a acetona $46,25 \pm 2,35\%$, mantendo comportamento semelhante. Já os insetos tratados exibiram percentuais progressivamente menores conforme a diluição: $39,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($34,38 \pm 1,72\%$), $19,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($28,36 \pm 1,27\%$) e $9,86 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($22,08 \pm 0,93\%$). Esses resultados indicam que o óleo retardou de forma consistente a ecdise, com maior efeito nas diluições mais altas.

Aos 7 dias, o controle alcançou $71,25 \pm 1,32\%$ de indivíduos no 5º *instar*, enquanto a acetona apresentou $62,50 \pm 1,32\%$. Em contraste, os tratamentos resultaram em valores significativamente inferiores: $39,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($50,00 \pm 1,87\%$), $19,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($43,75 \pm 0,78\%$) e $9,86 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($41,56 \pm 1,01\%$). A diferença de aproximadamente 20–30 pontos percentuais em relação ao controle indica o efeito inibitório do óleo sobre a velocidade de desenvolvimento.

No 10º dia pós-tratamento, o controle ($79,49 \pm 1,62\%$) e a acetona ($78,48 \pm 1,62\%$) apresentaram valores praticamente sobrepostos, enquanto os tratamentos continuam inferiores: $39,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($56,67 \pm 2,03\%$), $19,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($53,57 \pm 1,12\%$) e $9,86 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($46,05 \pm 1,27\%$). Esses dados indicam que, mesmo após 10 dias, uma parcela expressiva dos insetos tratados permaneceu no 4º *instar*, caracterizando atraso prolongado no desenvolvimento ninfal.

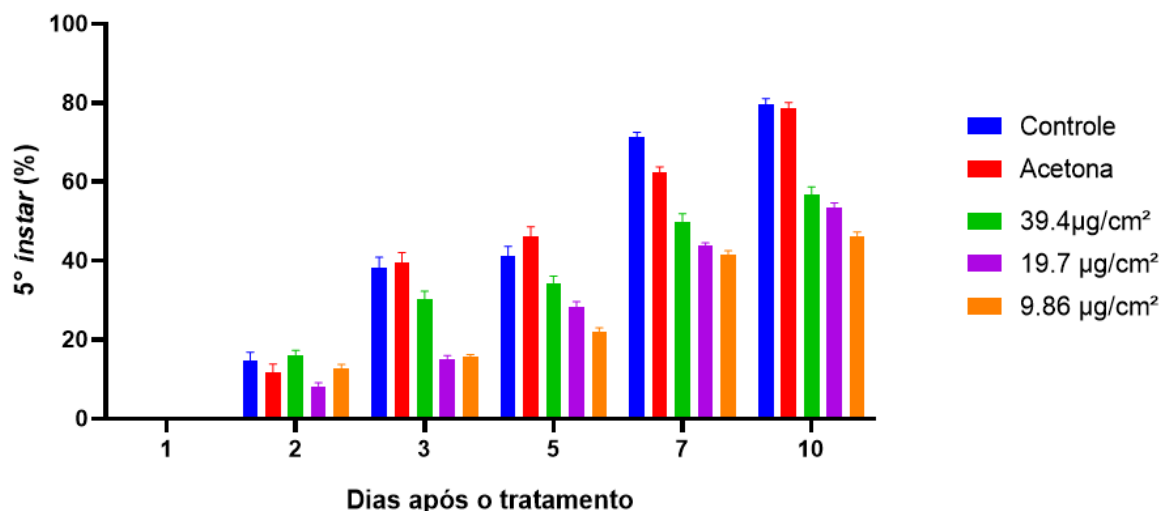


Figura 16- Percentual médio de *Dysdercus peruvianus* no 5º instar ao longo de 10 dias após tratamento por contato. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona) e diluições do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill (39,4 µg/cm², 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm²).

4.1.2. METAMORFOSE DO 5º INSTAR NINFAL PARA ADULTOS EM *DYSDERCUS PERUVIANUS*

A emergência de adultos de *Dysdercus peruvianus* foi avaliada entre os 12 e 20 dias após o tratamento, expressa como porcentagem média de indivíduos adultos $\pm$ desvio padrão ($n = 30$). Os resultados demonstram que o tratamento por contato com o óleo interferiu na transição do 5º instar para a fase adulta, promovendo atraso no desenvolvimento e redução na proporção de adultos, com efeito dependente da diluição (fig.17).

No 12º dia, o grupo controle apresentou $24,78 \pm 2,49\%$ de adultos, enquanto o grupo acetona mostrou $19,46 \pm 2,49\%$, valores próximos entre si, indicando ausência de efeito do solvente. Em contraste, os grupos tratados exibiram percentuais marcadamente inferiores, sobretudo o tratamento 39,4 µg/cm², com apenas $3,33 \pm 0,33\%$ de adultos. As diluições 19,7 µg/cm² ($11,00 \pm 2,13\%$) e 9,86 µg/cm² ($14,00 \pm 2,42\%$) também apresentaram redução expressiva, evidenciando um atraso inicial na emergência de adultos nos insetos expostos ao óleo.

Aos 14 dias, observou-se progressão da emergência em todos os grupos, porém mantendo diferenças claras. O controle atingiu $29,27 \pm 2,40\%$ e a acetona $28,92 \pm 2,40\%$ de adultos. Já os tratamentos permaneceram inferiores, com 39,4 µg/cm², apresentando $16,67 \pm 1,13\%$, 19,7 µg/cm² $23,00 \pm 2,15\%$ e 9,86 µg/cm²

25,00 ± 2,49%. Esses dados indicam que, embora a muda para adulto tenha ocorrido, o óleo retardou a velocidade de desenvolvimento, principalmente nas diluições mais concentradas.

No 16º dia, a diferença entre controle sem tratamento e os tratamentos tornou-se mais evidente. O controle alcançou 59,46 ± 1,45% de adultos e a acetona 51,28 ± 1,45%. Em contraste, os grupos tratados apresentaram valores reduzidos: 42,31 ± 1,79% (39,4 µg/cm²), 41,30 ± 2,32% (19,7 µg/cm²) e 40,63 ± 1,27% (9,86 µg/cm²). A redução de aproximadamente 15–20 pontos percentuais em relação ao controle reforça o efeito inibitório do óleo sobre a transição para a fase adulta.

Aos 18 dias, o controle apresentou 83,78 ± 1,36% de adultos e a acetona 79,22 ± 1,36%, enquanto os tratamentos atingiram valores inferiores: 65,22 ± 1,73% (39,4 µg/cm²), 64,44 ± 1,79% (19,7 µg/cm²) e 42,19 ± 1,58% (9,86 µg/cm²). Destaca-se que a diluição 9,86 µg/cm² manteve uma redução acentuada, indicando persistência do atraso no desenvolvimento, mesmo em períodos mais avançados. No 20º dia pós-tratamento, embora todos os grupos apresentassem aumento na emergência de adultos, as diferenças permaneceram consistentes. O controle atingiu 93,24 ± 1,22% e a acetona 89,61 ± 1,22%, enquanto os tratamentos apresentaram valores significativamente menores: 68,18 ± 2,06% (39,4 µg/cm²), 77,27 ± 1,39% (19,7 µg/cm²) e 60,00 ± 1,00% (9,86 µg/cm²). Esses resultados demonstram que uma fração relevante dos insetos tratados não completou a transição para adultos dentro do período experimental, caracterizando atraso prolongado e possível inibição parcial da muda imaginal.

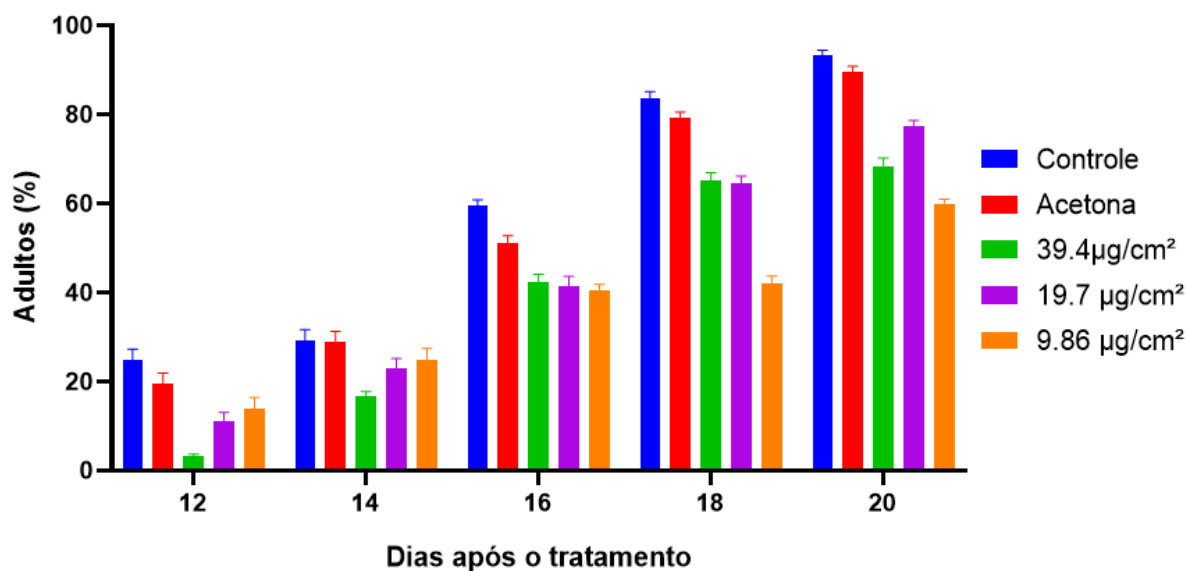


Figura 17- Percentual médio de *Dysdercus peruvianus* na fase adulta entre 12 e 20 dias após tratamento por contato. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona) e diluições do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill (39,4 µg/cm², 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm²).

4.2. TRATAMENTO TÓPICO EM *DYSDERCUS PERUVIANUS*

O tratamento tópico com o óleo essencial (OE) de *Eucalyptus globulus* Labill. promoveu efeito inseticida significativo sobre adultos de *Dysdercus peruvianus*, com padrão dose-dependente ao longo do período experimental de 20 dias (Figura 18). A análise indicou diferença altamente significativa entre os tratamentos ($\chi^2 = 98,00$; $p < 0,0001$), confirmando o elevado potencial inseticida do OE quando aplicado topicamente (fig.18 e tab.6).

Nas primeiras 24 horas após o tratamento, não houve diferença estatística entre o controle sem tratamento e o grupo tratado apenas com acetona ($\chi^2 = 0,02062$; $p = 0,8858$), apresentando sobrevivência de $98,88 \pm 0,32\%$ e $96,66 \pm 0,50\%$, respectivamente (tab.6). O mesmo padrão foi observado após 48 horas ($\chi^2 = 0,1323$; $p = 0,7161$), com sobrevivência de $97,77 \pm 0,33\%$ no controle e $92,22 \pm 1,09\%$ na acetona, demonstrando que o solvente não exerceu efeito tóxico relevante sobre os insetos.

Em contraste, o controle positivo apresentou mortalidade significativa já nas primeiras 48 horas, com sobrevivência de apenas $43,33 \pm 2,17\%$ ($\chi^2 = 21,45$; $p < 0,0001$). O óleo essencial na concentração de 100% causou mortalidade total dos insetos em 24 horas, diferindo significativamente do controle ($\chi^2 = 98,00$; $p < 0,0001$), evidenciando ação inseticida máxima do OE.

As diluições do OE também promoveram redução significativa da sobrevivência em 24 horas. Na concentração $456 \mu\text{g/ mL}$, a sobrevivência foi de apenas $14,44 \pm 1,33\%$ ($\chi^2 = 63,00$; $p < 0,0001$), enquanto em $228 \mu\text{g/ mL}$ foi de $42,22 \pm 1,30\%$ ($\chi^2 = 22,40$; $p = 0,0001$), ambos significativamente inferiores ao controle (fig.18 e tab.6)..

No quinto dia após o tratamento, novamente não houve diferença entre controle ($93,33 \pm 0,86\%$) e acetona ($86,66 \pm 1,41\%$) ($\chi^2 = 0,1935$; $p = 0,6600$). Entretanto, a diluição $456 \mu\text{g/ mL}$ apresentou sobrevivência extremamente baixa ($10,00 \pm 1,22\%$; $\chi^2 = 69,77$; $p < 0,0001$), e o controle positivo causou mortalidade total ($0 \pm 0\%$; $\chi^2 = 96,00$; $p < 0,0001$), corroborando o alto poder inseticida observado no gráfico de sobrevivência.

A avaliação ao longo do tempo confirmou a persistência do efeito inseticida. No tratamento $228 \mu\text{g/ mL}$, a sobrevivência reduziu-se para $31,11 \pm 1,45\%$ no sétimo dia ($\chi^2 = 31,00$; $p < 0,0001$) e para $21,11 \pm 1,83\%$ no vigésimo dia ($\chi^2 = 40,33$; $p < 0,0001$). Já a diluição $114 \mu\text{g/ mL}$ apresentou $72,22 \pm 0,66\%$ de sobrevivência no 7º dia, sem diferença significativa em relação ao controle ($\chi^2 = 2,673$; $p = 0,1021$), porém houve redução significativa ao final de 20 dias ($57,77 \pm 0,66\%$; $\chi^2 = 6,250$; $p = 0,0124$). Padrão semelhante foi observado para $57 \mu\text{g/ mL}$, com $73,33 \pm 2,00\%$ no 7º dia ($\chi^2 = 2,410$; $p = 0,1206$) e queda significativa no 20º dia ($54,44 \pm 1,23\%$; $\chi^2 = 7,723$; $p = 0,0055$).

Na diluição mais baixa ($28,5 \mu\text{g/ mL}$), a sobrevivência permaneceu elevada aos 7 dias ($87,77 \pm 0,97\%$; $\chi^2 = 0,2000$; $p = 0,6547$) e também aos 20 dias ($68,88 \pm 2,20\%$; $\chi^2 = 2,329$; $p = 0,1270$), não diferindo estatisticamente do controle, indicando efeito inseticida limitado nessa concentração.

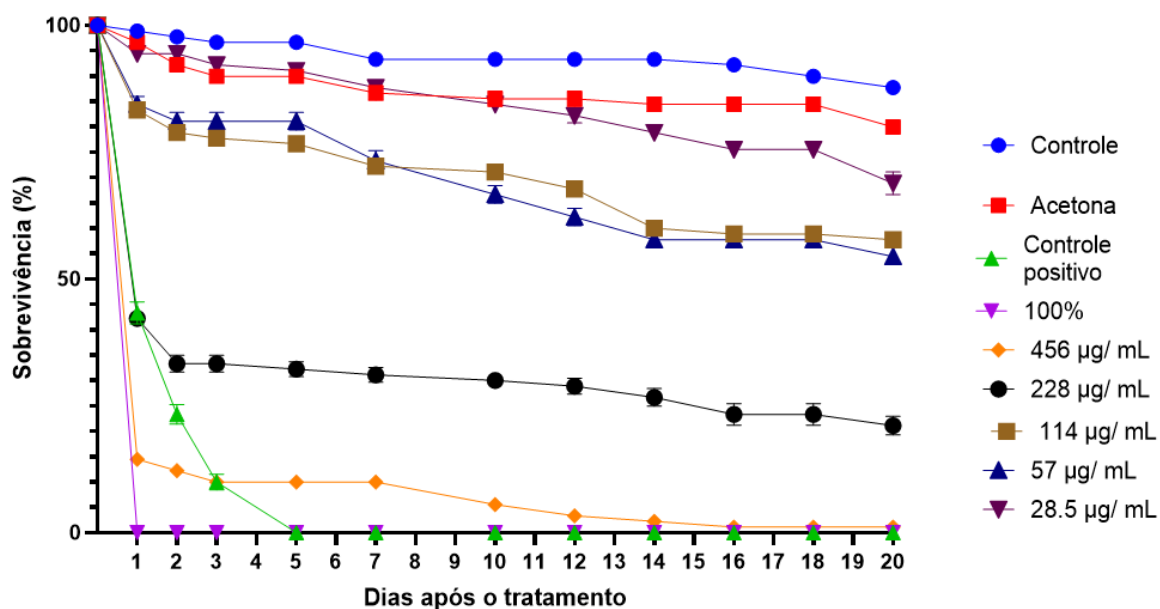


Figura 18- Curva de sobrevivência (%) de ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus* ao longo de 20 dias após tratamento tópico com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona), controle positivo (inseticida comercial), óleo essencial puro (100%) e suas diluições (456 µg/ mL, 228 µg/ mL, 114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL). N= 30 insetos por tratamento.

Tabela 6- Percentual de sobrevivência (média $\pm$ desvio-padrão) de ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus* no 1º e no 20º dia após o tratamento tópico em diferentes ensaios: controles (controle negativo, acetona e controle positivo) e tratamentos com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill puro (100%) e suas diluições (456 µg/ mL a 28,5 µg/ mL). N= 30 insetos por tratamento.

Ensaio	(%) de Sobrevivência no 1º dia	(%) de Sobrevivência no 20º dia
Controle	98,88 $\pm$ 0,33%	87,77 $\pm$ 0,97%
Acetona	96,66 $\pm$ 0,5%	80 $\pm$ 1,22%
Controle positivo	43,33 $\pm$ 2,17%	0
100%	0	0
456 µg/ mL	14,44 $\pm$ 1,33%	1,11 $\pm$ 0,33%
228 µg/ mL	42,22 $\pm$ 1,30%	21,11 $\pm$ 1,83%
114 µg/ mL	83,33 $\pm$ 0,86%	57,77 $\pm$ 0,66%
57 µg/ mL	84,44 $\pm$ 1,58%	54,44 $\pm$ 1,23%
28,5 µg/ mL	94,44 $\pm$ 0,72%	68,88 $\pm$ 2,20%

4.2.1. ECDISE DO 4º PARA O 5º INSTAR EM *DYSDERCUS PERUVIANUS* NO TRATAMENTO TÓPICO

O tratamento tópico com o óleo essencial (OE) de *Eucalyptus globulus* afetou a transição do 4º para o 5º instar de *Dysdercus peruvianus*, reduzindo e retardando a ecdise de forma dependente da concentração (figura 19). Nos grupos controle e acetona, observou-se um rápido aumento na proporção de insetos que atingiram o 5º instar ao longo do tempo, refletindo desenvolvimento normal. No controle sem tratamento, a porcentagem de indivíduos no 5º instar aumentou de $6,82 \pm 1,32\%$ no 2º dia para $42,53 \pm 3,37\%$ no 3º dia, $63,95 \pm 2,26\%$ no 5º dia e $84,52 \pm 2,20\%$ no 7º dia, mantendo-se estável até o 10º dia. De forma semelhante, o grupo tratado com acetona apresentou $30,49 \pm 2,95\%$ no 3º dia, $50,62 \pm 2,35\%$ no 5º dia e $82,05 \pm 1,17\%$ no 7º dia, atingindo $90,91 \pm 1,20\%$ no 10º dia, confirmando que o solvente não interferiu no desenvolvimento dos insetos.

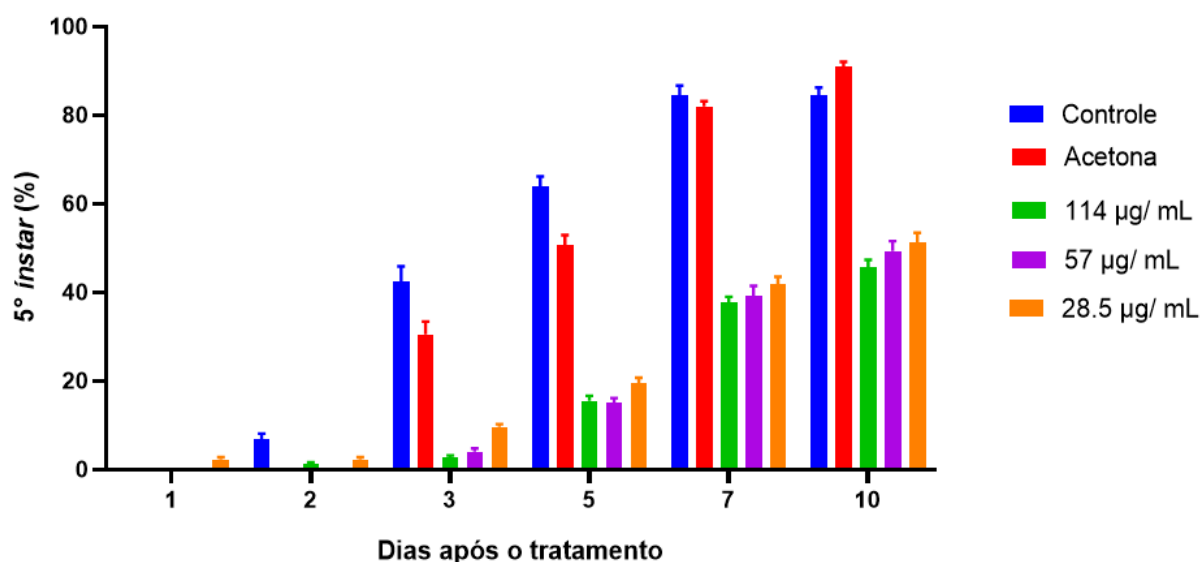


Figura 19- Percentual médio de *Dysdercus peruvianus* no 5º instar ao longo de 10 dias após tratamento tópico. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona) e diluições do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill (114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL).

Em contraste, todos os tratamentos com OE apresentaram atraso marcante na ecdise. Na diluição 114 µg/ mL, apenas $2,78 \pm 0,44\%$ dos insetos atingiram o 5º instar no 3º dia, aumentando para $15,49 \pm 1,20\%$ no 5º dia e $37,69 \pm 1,33\%$ no 7º dia, alcançando $45,69 \pm 1,69\%$ no 10º dia. Resultados semelhantes foram observados na

diluição 57 µg/ mL, com $4,11 \pm 0,71\%$ no 3º dia, $15,07 \pm 1,09\%$ no 5º dia, $39,12 \pm 2,35\%$ no 7º dia e $49,33 \pm 2,28\%$ no 10º dia.

A menor inibição do desenvolvimento foi observada na diluição 28,5 µg/ mL, na qual apenas $9,64 \pm 0,60\%$ dos insetos alcançaram o 5º *instar* no 3º dia, $19,51 \pm 1,20\%$ no 5º dia e $41,77 \pm 1,80\%$ no 7º dia, chegando a $51,32 \pm 2,18\%$ no 10º dia. Em todos os tempos avaliados, os valores observados nos tratamentos com OE foram inferiores aos dos grupos controle e acetona, evidenciando o efeito inibidor do óleo essencial sobre a muda.

4.2.2. METAMORFOSE DO 5º INSTAR NINFAL PARA ADULTOS EM *DYSDERCUS PERUVIANUS* EM TRATAMENTO TÓPICO

A taxa de emergência de adultos de *Dysdercus peruvianus* a partir do 5º *instar* ninfal variou de acordo com o tratamento aplicado e com o tempo após o tratamento (12, 14, 16, 18 e 20 dias), conforme demonstrado pelas médias percentuais e respectivos desvios-padrão (figura 20).

No grupo controle sem tratamento, observou-se um aumento progressivo na porcentagem de adultos ao longo do tempo. Aos 12 dias após o tratamento, a média foi de $28,57 \pm 2,59\%$, aumentando para $60,71 \pm 2,45\%$ aos 14 dias e $87,95 \pm 1,27\%$ aos 16 dias. A emergência atingiu praticamente o máximo aos 18 dias ($100,00 \pm 0,87\%$) e manteve-se elevada aos 20 dias ($97,53 \pm 0,97\%$). Padrão semelhante foi observado no tratamento com acetona, que apresentou médias ligeiramente superiores nos primeiros períodos. Aos 12 dias, a emergência foi de $37,66 \pm 2,59\%$, aumentando para $65,79 \pm 2,88\%$ aos 14 dias e $92,11 \pm 2,05\%$ aos 16 dias. Aos 18 dias, a taxa de adultos alcançou $100,00 \pm 1,42\%$, mantendo-se elevada aos 20 dias ($98,67 \pm 1,30\%$).

Os tratamentos experimentais com diferentes diluições apresentaram retardo na transição para a fase adulta, quando comparados ao controle e à acetona. No tratamento 114 µg/ mL, as médias foram de $13,11 \pm 1,36\%$ aos 12 dias, $25,19 \pm 0,78\%$ aos 14 dias e $44,15 \pm 1,20\%$ aos 16 dias. Mesmo aos 18 dias, a emergência permaneceu inferior ($47,92 \pm 0,89\%$), atingindo $74,12 \pm 1,00\%$ apenas aos 20 dias.

No tratamento 57 µg/ mL, os valores médios foram semelhantes, com $12,50 \pm 1,20\%$ aos 12 dias, $30,00 \pm 1,27\%$ aos 14 dias e $50,77 \pm 1,12\%$ aos 16 dias. Houve aumento gradual aos 18 dias ($64,62 \pm 1,05\%$) e aos 20 dias ($70,00 \pm 1,12\%$), permanecendo abaixo dos grupos controle e acetona.

Já o tratamento 28,5 µg/ mL apresentou comportamento intermediário. Aos 12 dias, a emergência foi de $12,16 \pm 1,58\%$, aumentando para $29,30 \pm 1,27\%$ aos 14 dias e $63,53 \pm 1,33\%$ aos 16 dias. Aos 18 dias, observou-se $75,29 \pm 1,59\%$, atingindo $81,94 \pm 2,06\%$ aos 20 dias.

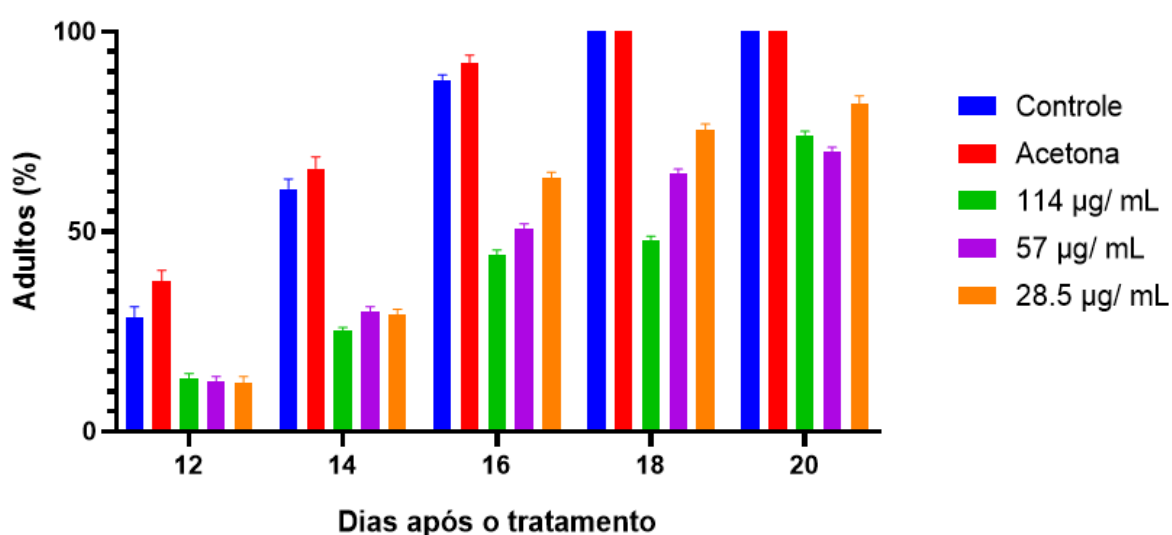


Figura 20- Percentual médio de *Dysdercus peruvianus* na fase adulta entre 12 e 20 dias após tratamento tópico. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona) e diluições do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill (114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL).

4.3. EFEITO DO TRATAMENTO POR CONTATO E TÓPICO SOBRE OVIPOSIÇÃO DE *DYSDERCUS PERUVIANUS*

4.3.1. OVIPOSIÇÃO NO TRATAMENTO POR CONTATO

A oviposição de *Dysdercus peruvianus* submetido ao tratamento por contato foi avaliada nos dias 20, 24 e 27 pós-tratamento, sendo expressa pelo número total de ovos depositados nos diferentes grupos experimentais (Tabela 7). Os resultados indicam que o tratamento por contato interferiu negativamente na capacidade reprodutiva dos insetos, com intensidade variável entre as diluições testadas.

Tabela 7- Número total de ovos ovipositados por *Dysdercus peruvianus* nos dias 20, 24 e 27 após o tratamento por contato. Os grupos experimentais incluem controle sem tratamento, controle com acetona e insetos expostos às diferentes diluições do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill (39,4 µg/cm², 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm²). Os dados representam o total de ovos registrados em cada período avaliado.

Número de ovos			
Ensaio	20º dia	24º dia	27º dia
Controle	1504	1170	854
Acetona	1314	956	652
39,4 µg/cm ² ,	0	739	417
19,7 µg/cm ²	0	654	349
9,86 µg/cm ²	489	675	326

No 20º dia pós-tratamento, o grupo controle apresentou 1504 ovos, enquanto o grupo tratado com acetona registrou 1314 ovos, valores próximos entre si, indicando ausência de efeito do solvente sobre a oviposição. Em contraste, não foi observada oviposição nos grupos tratados com as diluições 39,4 µg/cm² e 19,7 µg/cm², evidenciando inibição completa da postura nesse período inicial. O tratamento 9,86 µg/cm² apresentou 489 ovos, valor substancialmente inferior ao controle, indicando redução expressiva da oviposição mesmo na menor concentração testada.

No 24º dia, observou-se oviposição em todos os grupos. O controle manteve o maior número de ovos 1170, seguido pela acetona 956. Entre os tratamentos, as diluições 39,4 µg/cm² e 19,7 µg/cm² apresentaram 739 e 654 ovos, respectivamente,

enquanto 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ registrou 675 ovos, indicando recuperação parcial da oviposição, porém ainda em níveis inferiores aos grupos não tratados.

No 27º dia pós-tratamento, a oviposição apresentou redução em todos os grupos. O controle e a acetona registraram 854 e 652 ovos, respectivamente. Os grupos tratados mantiveram valores inferiores, com 417 ovos na diluição 39,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 349 ovos em 19,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ e 326 ovos em 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, evidenciando efeito persistente do tratamento por contato sobre a fecundidade das fêmeas.

4.3.2. OVIPOSIÇÃO NO TRATAMENTO TÓPICO

A oviposição de *Dysdercus peruvianus* submetido ao tratamento por contato foi avaliada nos dias 20, 24 e 27 pós-tratamento, por meio da observação e contagem dos ovos com o auxílio de lupa estereoscópica, o que permitiu identificar detalhadamente os ovos viáveis, sendo expressa pelo número total de ovos depositados nos diferentes grupos experimentais (Tabela 7). Os resultados indicam que o tratamento por contato interferiu negativamente na capacidade reprodutiva dos insetos, com intensidade variável entre as diluições testadas.

Tabela 8- Número total de ovos ovipositados por *Dysdercus peruvianus* nos dias 20, 24 e 27 após o tratamento tópico. Os grupos experimentais incluem controle sem tratamento, controle com acetona e insetos expostos às diferentes diluições do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill (114 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 57 $\mu\text{g}/\text{mL}$ e 28,5 $\mu\text{g}/\text{mL}$). Os dados representam o total de ovos registrados em cada período avaliado.

Ensaios	Número de ovos		
	20º dia	24º dia	27º dia
Controle	2693	1798	1196
Acetona	2153	1535	1023
114 $\mu\text{g}/\text{mL}$	0	381	126
57 $\mu\text{g}/\text{mL}$	0	372	273
28,5 $\mu\text{g}/\text{mL}$	1045	856	489

No 20º dia pós-tratamento, o grupo controle apresentou elevada oviposição, com 2693 ovos, enquanto o grupo tratado apenas com acetona também exibiu alto número de ovos (2153), indicando que o solvente não interferiu significativamente na fecundidade. Em contraste, não foi registrada oviposição nos grupos tratados com as diluições 114 $\mu\text{g}/\text{mL}$ e 57 $\mu\text{g}/\text{mL}$, evidenciando inibição completa da postura nesse

período inicial. O tratamento 28,5 µg/ mL, por sua vez, apresentou 1045 ovos, valor inferior ao controle e à acetona, indicando redução expressiva da oviposição, embora não total.

No 24º dia, observou-se redução progressiva no número de ovos nos grupos controle 1798 e acetona 1535, mantendo-se, contudo, em níveis elevados. Nos grupos tratados, houve início da oviposição nas diluições 114 µg/ mL (381 ovos) e 57 µg/ mL (372 ovos), embora em quantidades substancialmente menor quando comparadas ao grupo não tratado. O tratamento 28,5 µg/ mL apresentou 856 ovos, permanecendo com fecundidade intermediária entre os controles e as diluições mais concentradas.

No 27º dia pós-tratamento, a tendência de redução da oviposição foi observada em todos os grupos. O controle e a acetona apresentaram 1196 e 1023 ovos, respectivamente. Entre os tratamentos, a oviposição manteve-se baixa, com 126 ovos na diluição 114 µg/ mL, 273 ovos em 57 µg/ mL e 489 ovos em 28,5 µg/ mL, confirmando efeito persistente do óleo sobre a capacidade reprodutiva das fêmeas, mesmo em períodos mais avançados.

4.4. DEFORMAÇÕES DOS INSETOS TRATADOS POR EXPERIMENTO TÓPICO E POR CONTATO

4.4.1. PERCENTUAL DE INSETOS DEFORMADOS POR TRATAMENTO POR CONTATO

No experimento por contato, a ocorrência de adultos com deformidades foi observada apenas nos grupos de óleo essencial mais diluído. Nos grupos controle (negativo), acetona (controle solvente), controle positivo e na concentração de 100%, bem como nas diluições 157,7 µg/cm² e 78,9 µg/cm², não foram registradas deformações (0%). Entretanto, na diluição 39,4 µg/cm² foi verificada uma taxa de $61,36 \pm 3,63\%$ de adultos deformados (tab. 9). Esse percentual foi de $40,9 \pm 9,53\%$ na diluição 19,7 µg/cm² e foi de $36,67 \pm 6,22\%$ na diluição 9,86 µg/cm². Ressalta-se que as porcentagens foram calculadas com base nos insetos sobreviventes aos 20 dias após o tratamento (DAT).

Tabela 9- Percentual de adultos de *Dysdercus peruvianus* com deformidades após tratamento por contato com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill e suas diluições (157,7 µg/cm², 78,9 µg/cm², 39,4 µg/cm², 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm²). As porcentagens foram calculadas com base nos insetos sobreviventes aos 20 dias após o tratamento (DAT). Os valores estão expressos como média ± desvio padrão.

Ensaio	Adultos com deformidades (%)
Controle	0
Acetona	0
Controle positivo	0
100%	0
157,7 µg/cm ²	0
78,9 µg/cm ²	0
39,4 µg/cm ²	61,36 ± 3,63%
19,7 µg/cm ²	40,9 ± 9,53%
9,86 µg/cm ²	36,67 ± 6,22%

4.4.2. PERCENTUAL DE INSETOS DEFORMADOS POR TRATAMENTO TÓPICO

No experimento por tratamento tópico, não foram observadas deformações nos grupos controle (negativo), acetona (controle solvente), controle positivo e nas concentrações de 100%, 456 µg/ mL e 228 µg/ mL, todos apresentando 0% de adultos com deformidades (tab.10). Entretanto, a partir da diluição 114 µg/ mL, foram registradas deformações em 61,74 ± 6,74% dos adultos emergidos. Na diluição 57 µg/ mL, a porcentagem foi de 44,90 ± 7,11%, enquanto na diluição 28,5 µg/ mL foi de 27,42 ± 5,66% (tab.10). Ressalta-se que as porcentagens foram calculadas com base exclusivamente nos insetos sobreviventes aos 20 dias após o tratamento (DAT).

Tabela 10- Percentual de adultos de *Dysdercus peruvianus* com deformidades após tratamento tópico com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill e suas diluições (456 µg/ mL, 228 µg/ mL, 114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL). As porcentagens foram calculadas com base nos insetos sobreviventes aos 20 dias após o tratamento (DAT) e os dados estão expressos como média ± desvio padrão.

Ensaio	Adultos com deformidades (%)
Controle	0
Acetona	0
Controle positivo	0
100%	0
456 µg/ mL	0
228 µg/ mL	0
114 µg/ mL	61,74 ± 6,74%
57 µg/ mL	44,90 ± 7,11%
28,5 µg/ mL	27,42 ± 5,66%

4.4.3. IMAGENS CAPTURADAS DAS DEFORMAÇÕES

As deformações morfológicas foram observadas em indivíduos que atingiram o 5º *instar* após terem sido tratados ainda no 4º *instar*, tanto no experimento por contato quanto no experimento por aplicação tópica. Essas alterações ocorreram exclusivamente nos tratamentos correspondentes às diluições do tratamento tópico (114 µg/ mL, 57 µg/ mL e 28,5 µg/ mL) e às diluições do tratamento por contato (157,7 µg/cm², 78,9 µg/cm²). Nos demais tratamentos (óleo puro) no tratamento tópico (456 µg/ mL, 228 µg/ mL) e tratamento por contato (39,4 µg/cm², 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm²) e nos grupos controle (negativo, solvente e positivo), os insetos que completaram a ecdise, apresentaram morfologia compatível com o desenvolvimento normal da espécie.

As principais anomalias observadas no 5º *instar* incluíram deformações nos hemiélitros em formação, com assimetria. Também foram registradas alterações na conformação do abdome, irregularidade na formação do tegumento e posicionamento anormal dos apêndices locomotores. Em alguns indivíduos, as deformidades

comprometeram a mobilidade e a postura corporal, sugerindo impacto funcional decorrente da interferência no processo de muda (figura 21).

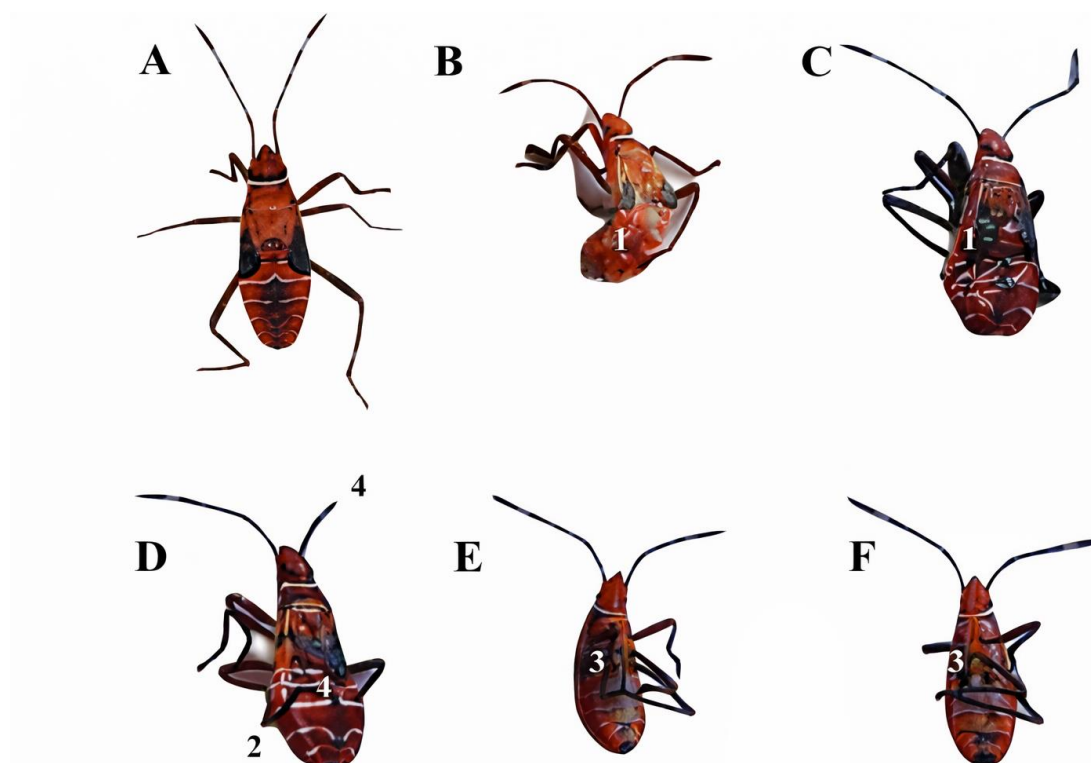


Figura 21- Registro fotográfico das deformações externas em ninfas de quinto *instar* de *Dysdercus peruvianus* decorrentes do tratamento experimental com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. A: Nífa sem deformações aparentes. B e C: ninfas com deformações abdominais após tratamento tópico na concentração 114 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (1). D: Nífa com comprometimento do desenvolvimento do broto alar esquerdo (2) e perda parcial de antena (4) após tratamento tópico na concentração 57 $\mu\text{g}/\text{mL}$. E e F: Nífa com ausência das patas do lado esquerdo, após tratamento tópico na concentração 114 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Já nos adultos, as deformações observadas manifestaram-se principalmente como falhas no processo de ecdise e no desenvolvimento estrutural das asas e do abdome. Em alguns indivíduos, verificou-se retenção parcial da exúvia aderida ao corpo, caracterizando comprometimento no desprendimento completo do exoesqueleto durante a muda. Essa condição foi acompanhada por alteração na expansão corporal, sugerindo prejuízo na reorganização tegumentar característica da transição ninfal-adulto (fig. 22).

Também foram registradas deformações nos hemiélitros, evidenciadas por má formação e assimetria estrutural, indicando comprometimento na formação e no posicionamento adequado das asas anteriores. Foi observado alterações na região do abdome, que apresentou aspecto irregular em relação ao eixo corporal. Além disso, foi constatada ausência parcial de antena em alguns indivíduos, indicando impacto do tratamento também sobre estruturas sensoriais.

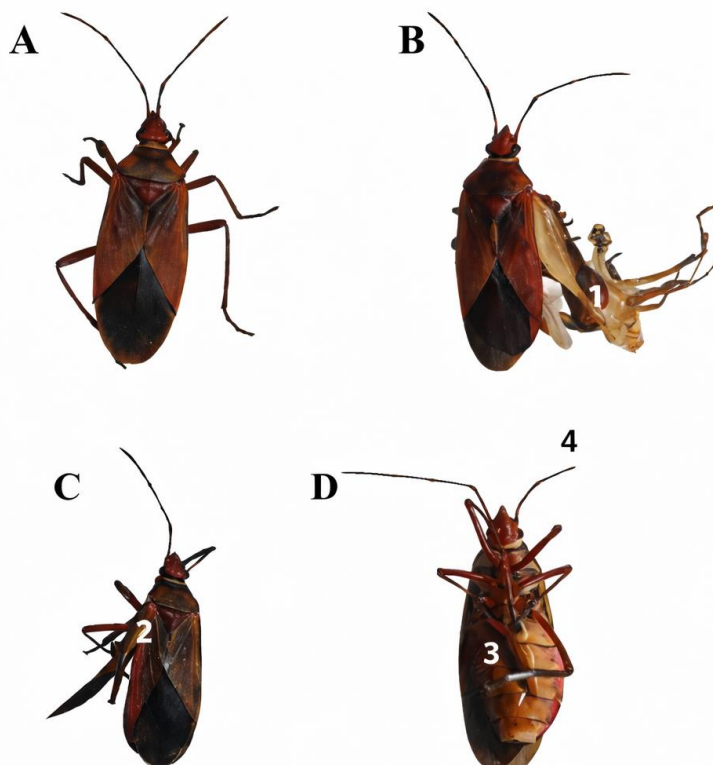


Figura 22- Representações de micrografias estereoscópicas das deformações externas em adultos de *Dysdercus peruvianus* após tratamento experimental com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. A: adulto sem deformações aparentes; B: Adulto retido à exúvia, indicando falha no processo de ecdise, após tratamento por contato na concentração 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (1). C: Adulto com deformação no hemiélitro após tratamento tópico na concentração 57 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (2); D: Adulto com deformação abdominal (3) e ausência parcial de antena (4) após tratamento tópico na concentração de 114 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

4.5. EFEITO DO TRATAMENTO POR FUMIGAÇÃO SOBRE A SOBREVIVÊNCIA DE *DYSDERCUS PERUVIANUS*

A sobrevivência de *Dysdercus peruvianus* submetido ao tratamento por fumigação foi avaliada ao longo de 96 horas, sendo os dados expressos como porcentagem média de indivíduos vivos $\pm$ desvio padrão (fig. 23 e tab. 11).

Após 24 horas de exposição, os grupos controle sem tratamento ($98,88 \pm 0,33\%$) e acetona ($95,55 \pm 0,72\%$) apresentaram elevadas taxas de sobrevivência, sem diferença estatisticamente significativa entre si ($\chi^2 = 0,04663$; $p = 0,8290$), evidenciando ausência de efeito tóxico do solvente. Em contraste, os tratamentos mais concentrados (100% e 100,32 mg/L) promoveram diminuição da sobrevivência dos insetos, diferindo significativamente do controle ($\chi^2 = 98,00$; $p = 0,0001$). As demais diluições também apresentaram redução significativa da sobrevivência, com $13,33 \pm 2,06\%$ (50,16 mg/L), $47,77 \pm 2,43\%$ (25,08 mg/L), $66,66 \pm 2,29\%$ (12,54 mg/L) e $68,88 \pm 2,42\%$ (6,27 mg/L) (tab. 11), todas com valores de χ^2 e p estimados indicando diferença significativa em relação ao controle ($p < 0,05$).

Em 48 horas, a sobrevivência manteve-se elevada nos grupos controle ($97,77 \pm 0,44\%$) e acetona ($92,22 \pm 0,83\%$), sem diferença significativa ($\chi^2 = 0,1323$; $p = 0,7161$). Por outro lado, observou-se intensificação do efeito letal nos grupos tratados, com sobrevivência reduzida para $18,88 \pm 1,96\%$ (25,08 mg/L; $\chi^2 = 54,27$; $p < 0,0001$), $25,55 \pm 2,06\%$ (12,54 mg/L; $\chi^2 = 42,49$; $p < 0,0001$) e $46,66 \pm 2,29\%$ (6,27 mg/L; $\chi^2 = 18,19$; $p < 0,0001$).

Após 72 horas de exposição, o grupo controle permaneceu com elevada sobrevivência ($96,66 \pm 0,50\%$), enquanto o grupo acetona apresentou $84,44 \pm 1,13\%$, sem diferença estatística significativa ($\chi^2 = 0,8000$; $p = 0,3711$). Em contraste, os insetos tratados apresentaram mortalidade acentuada, com sobrevivência de apenas $1,11 \pm 0,33\%$ na diluição 12,54 mg/L ($\chi^2 = 93,04$; $p = 0,0001$) e $24,44 \pm 2,60\%$ em 6,27 mg/L ($\chi^2 = 43,20$; $p = 0,0001$).

Ao final de 96 horas, a sobrevivência nos grupos controle ($96,66 \pm 0,50\%$) e acetona ($84,44 \pm 1,13\%$) manteve-se estatisticamente semelhante ($\chi^2 = 0,8000$; $p = 0,3711$). Em contraste, o tratamento 6,27 mg/L apresentou redução significativa da sobrevivência, alcançando $18,88 \pm 2,89\%$ de indivíduos vivos ($\chi^2 = 53,37$; $p < 0,0001$).

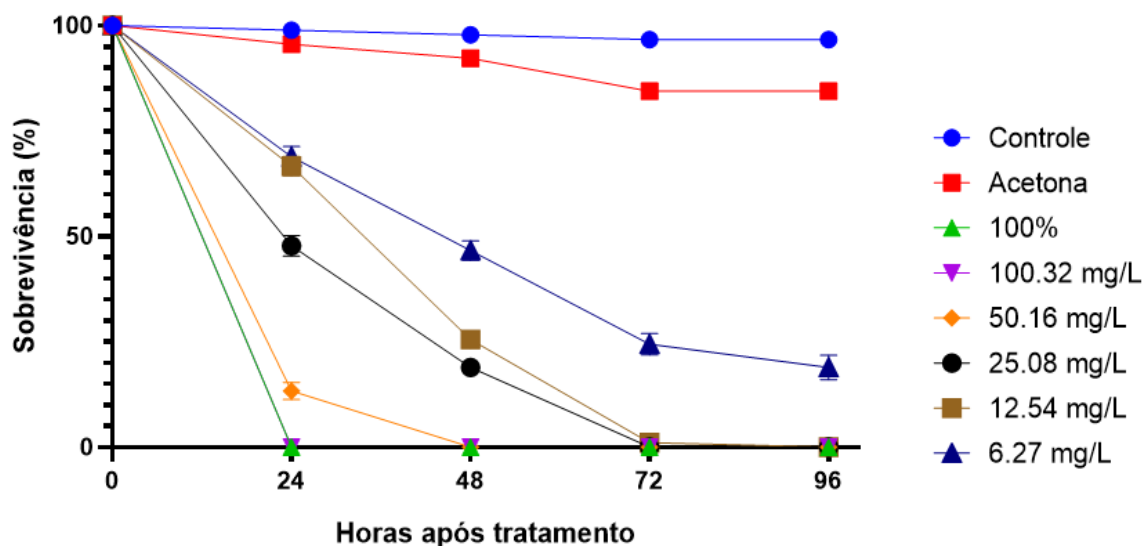


Figura 23- Curva de sobrevivência (%) de ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus* ao longo de 96 horas de exposição ao tratamento por fumigação com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. Foram avaliados os grupos: controle (sem aplicação), controle do solvente (acetona), óleo essencial puro (100%) e suas diluições (100,32 mg/L, 50,16 mg/L, 25,08 mg/L, 12,54 mg/L e 6,27 mg/L). N= 30 insetos por tratamento.

Tabela 11- Percentual de sobrevivência (média $\pm$ desvio-padrão) de ninfas de quarto estágio de *Dysdercus peruvianus* no 1º e no 4º dia após tratamento por fumigação com óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill puro (100%) e suas diluições (100,32 mg/L a 6,27 mg/L). N= 30 insetos por tratamento.

Ensaio	Sobrevivência (%)	
	1º dia	4º dia
Controle	98,88 $\pm$ 0,33%	96,66 $\pm$ 0,50%
Acetona	95,55 $\pm$ 0,72%	84,44 $\pm$ 1,13%
100%	0	0
100,32 mg/L	0	0
50,16 mg/L	13,33 $\pm$ 2,06%	0
25,08 mg/L	47,77 $\pm$ 2,43%	0
12,54 mg/L	66,66 $\pm$ 2,29%	0
6,27 mg/L	68,88 $\pm$ 2,42%	18,88 $\pm$ 2,89%

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* apresenta atividade inseticida expressiva sobre *Dysdercus peruvianus*, promovendo redução significativa da sobrevivência tanto no tratamento por contato quanto no tratamento tópico. A relação direta entre aumento da concentração, maior tempo de exposição e elevação da mortalidade caracteriza um padrão dose-dependente, indicando que a toxicidade do óleo está associada à intensidade e à duração da exposição. Esse comportamento é semelhante ao observado por Pacheco et al. (2020), que analisaram os efeitos do óleo essencial de *Zanthoxylum caribaeum* no desenvolvimento do *D. peruvianus* e também verificaram impactos significativos sobre o inseto, reforçando o potencial de óleos essenciais como agentes bioativos no controle dessa praga.

No tratamento por contato, a mortalidade total em 24 horas com o óleo essencial puro indica alta toxicidade e ação rápida dos compostos voláteis, possivelmente associada a efeitos neurotóxicos ou ao comprometimento de funções vitais. As diluições 157,7 µg/cm² e 78,9 µg/cm² mantiveram resposta semelhante, confirmando que concentrações elevadas promovem efeitos agudos nas primeiras 48 horas. Nas diluições 39,4 µg/cm² e 19,7 µg/cm², a mortalidade ocorreu de forma progressiva, sugerindo efeitos subletais iniciais que evoluem para morte tardia, possivelmente relacionados ao acúmulo de compostos bioativos ou ao desgaste fisiológico por exposição contínua, como discutido por Regnault et al. (2012). Resultados semelhantes foram descritos por De Albuquerque et al. (2024), que destacam que óleos de plantas nativas brasileiras, como *Pilocarpus spicatus*, *Ocotea indecora* e *Eugenia sulcata*, provocam alta mortalidade e bloqueios na transição para a fase adulta. Da mesma forma, Tietbohl et al. (2014) observaram que o óleo de *Myrciaria floribunda* resultou em elevada mortalidade e interrupção da metamorfose em *Dysdercus peruvianus* e *Oncopeltus fasciatus*. A ausência de efeito significativo na diluição 9,86 µg/cm² sugere a existência de um limiar mínimo de concentração necessário para ação tóxica detectável, aspecto relevante para a definição de doses eficazes no manejo.

No tratamento tópico, o óleo essencial também demonstrou elevada eficácia inseticida, apresentando comportamento semelhante ao observado no tratamento por contato em relação às concentrações mais elevadas. A aplicação do óleo puro promoveu mortalidade total, enquanto as diluições 456 µg/ mL e 228 µg/ mL resultaram em acentuada redução da sobrevivência já nos primeiros dias após o tratamento. Entretanto, de modo geral, a aplicação tópica requer maior toxicidade aguda para promover mortalidade imediata, ao passo que o tratamento por contato tende a apresentar efeitos residuais de toxicidade nos insetos, culminando em mortalidade a médio e longo prazo. Nos grupos submetidos ao tratamento por contato, a sobrevivência manteve-se relativamente elevada nos primeiros dias, mas apresentou redução significativa ao final do experimento, indicando uma ação cumulativa e prolongada do óleo. Esse efeito pode estar relacionado à absorção gradual dos compostos ativos através da cutícula, prolongando sua ação tóxica ao longo do tempo (BENELLI, 2018; ISMAN, 2020). Assim como observado no tratamento por contato, a diluição 9,86 µg/cm² não promoveu redução significativa da sobrevivência, reforçando a limitação do efeito inseticida em concentrações mais baixas.

A inexistência de diferenças significativas entre os grupos controle e acetona, observada em ambos os experimentos, confirma que o solvente utilizado não exerceu efeito tóxico relevante sobre *Dysdercus peruvianus*, assegurando que a mortalidade e as alterações no desenvolvimento registradas são atribuídas exclusivamente à ação do óleo essencial. Esse resultado reforça o uso da acetona como solvente, uma vez que sua aplicação isolada não interferiu nos parâmetros biológicos avaliados. Evidências semelhantes são relatadas por Jatsch e Ruther (2021), que demonstraram que a aplicação de acetona na dose de 207 µL não exerceu influência negativa sobre a longevidade, fecundidade, comunicação sexual ou frequência de acasalamento da vespa *Nasonia giraulti*, corroborando a ausência de efeitos subletais associados ao solvente. Assim, os dados obtidos neste estudo fortalecem a premissa de que os efeitos observados nos grupos tratados decorrem exclusivamente da atividade biológica dos compostos presentes no óleo essencial de *Eucalyptus globulus*, cuja composição é caracterizada por elevada proporção de monoterpenos e sesquiterpenos bioativos, como 1,8-cineol, α-pineno e β-pineno, amplamente

reconhecidos por sua ação inseticida e reguladora do desenvolvimento em insetos (SILVEIRA E LAZZAROTTO, 2021).

Os resultados obtidos neste estudo corroboram achados prévios que descrevem a ampla ação do óleo essencial de *E. globulus*, com eficácia inseticida observada em diferentes ordens de insetos e por distintas vias de aplicação (BOMFIM, 2020; CÁCERES *et al.*, 2022; MOURA *et al.*, 2022). Adicionalmente, estudos como o de Yang *et al.* (2004) demonstram que o óleo essencial pode apresentar atividade superior à de inseticidas sintéticos no controle de *Pediculus humanus capitis*, reforçando seu potencial como alternativa no manejo de insetos-praga.

Os resultados obtidos demonstram que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* interfere no desenvolvimento de *Dysdercus peruvianus*, afetando tanto a progressão da muda do 4º para o 5º ínstar quanto a metamorfose para a fase adulta, independentemente da via de aplicação. Em ambos os tratamentos, por contato e tópico, observou-se atraso consistente no desenvolvimento, com intensidade dependente da concentração do óleo e do tempo de exposição, evidenciando a ocorrência de efeitos subletais prolongados. Esse padrão é particularmente relevante considerando que insetos hemimetábolos com estágios de *instars* muito prolongados podem sobreviver por várias semanas, mas tornam-se incapazes de completar a metamorfose e de se reproduzir, conforme descrito por Tietbohl *et al.* (2020), indicando que, mesmo na ausência de mortalidade imediata, a interferência no desenvolvimento pode comprometer significativamente a dinâmica populacional da espécie.

No tratamento por contato, não houve ocorrência de mudas no primeiro dia, indicando ausência de efeito imediato sobre a ecdise; entretanto, a partir do segundo dia, observou-se atraso no desenvolvimento ninfal nos grupos tratados, especialmente nas diluições 19,7 µg/cm² e 9,86 µg/cm², que apresentaram menor progressão para o 5º ínstar em comparação ao controle e ao grupo acetona. Esse padrão persistiu ao longo da avaliação, com parte dos insetos permanecendo no 4º ínstar até o décimo dia, sugerindo interferência na regulação hormonal da muda, possivelmente relacionada à ecdisona, conforme discutido por Dorn *et al.*, (1986) e Feder *et al.*, (2019). Esse comprometimento refletiu-se também na metamorfose, com

menor emergência de adultos nos grupos tratados, sobretudo nas diluições 39,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 19,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ e 9,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, indicando atraso na transição do 5º *instar* para a fase adulta. Embora tenha ocorrido progressão ao longo do tempo que sugere interferência em processos fisiológicos essenciais ao desenvolvimento, possivelmente associados à síntese de quitina, como descrito por Merzendorfer (2006).

No tratamento tópico, observou-se padrão semelhante de interferência no desenvolvimento, porém com características próprias da via de aplicação. A progressão da muda do 4º para o 5º *instar* ocorreu rapidamente nos grupos controle e acetona, refletindo desenvolvimento normal, enquanto todos os grupos tratados com óleo essencial apresentaram atraso marcante desde os primeiros dias. Mesmo após 10 dias, os percentuais de indivíduos no 5º *instar* nos tratamentos permaneceram consideravelmente inferiores aos do controle, indicando que a aplicação tópica do óleo promove efeito persistente sobre a ecdise. A manutenção desse atraso ao longo do tempo sugere absorção rápida dos compostos ativos pela cutícula, intensificando sua ação sobre os processos fisiológicos do desenvolvimento. Efeito semelhante foi observado por Fernandes et al. (2013), que, ao testarem extratos e triterpenos de *Manilkara subsericea* em *Dysdercus peruvianus* e *Oncopeltus fasciatus*, registraram mortalidade durante a ecdise e alterações morfológicas indicativas de desregulação do processo de muda.

De forma semelhante, a metamorfose no tratamento tópico foi retardada nos grupos tratados. Enquanto controle e acetona apresentaram emergência rápida e quase total de adultos até o 18º dia, os tratamentos com óleo essencial mostraram progressão mais lenta e percentuais finais inferiores, especialmente nas diluições 114 $\mu\text{g}/\text{mL}$ e 57 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Embora a diluição 28,5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ tenha apresentado comportamento intermediário, ainda assim manteve valores abaixo do controle ao longo de todo o período avaliado. Esses resultados indicam que o óleo essencial compromete a capacidade dos insetos de completar a transição para a fase adulta de maneira eficiente, mesmo quando não provoca mortalidade imediata, em consonância com os achados de Costa (2023), que ao avaliar os óleos essenciais de *Ocotea elegans* e de uma Myrtaceae em *Oncopeltus fasciatus* e *Dysdercus peruvianus* também verificou

interferências significativas no desenvolvimento e na metamorfose desses hemípteros.

Essas alterações no desenvolvimento podem ser explicadas por mecanismos hormonais associados à ação dos terpenoides presentes nos óleos essenciais. Estudos indicam que esses compostos interferem no eixo neuroendócrino dos insetos, influenciando a síntese de ecdisona e alterando sua relação com o hormônio juvenil, hormônios fundamentais para a regulação da muda, do desenvolvimento e da metamorfose (APOLINÁRIO *et al.*, 2020; PACHECO *et al.*, 2020). Nesse contexto, o atraso observado no processo de ecdise sugere que o óleo essencial interfere em processos fisiológicos essenciais à formação da nova cutícula, possivelmente por meio da desregulação hormonal e metabólica. Compostos presentes no óleo essencial de *Eucalyptus globulus* são reconhecidos por afetar o metabolismo e o sistema endócrino dos insetos, podendo resultar em falhas ou atrasos no processo de muda (RODRIGUEZ, 2025).

Os efeitos observados neste estudo corroboram relatos da literatura que descrevem a atuação do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* sobre diferentes estágios do ciclo de vida dos insetos. Embora ainda sejam escassas investigações que abordem de forma integrada os efeitos desses compostos ao longo do desenvolvimento, estudos como o de Yang e colaboradores (2004) demonstraram a eficácia do óleo essencial de *E. globulus* sobre estágios larvais, pupais e adultos em *Pediulus humanus capitis*, com atividade superior à de inseticidas sintéticos amplamente utilizados. Esses achados reforçam a hipótese de que os compostos bioativos presentes no óleo atuam sobre múltiplos alvos fisiológicos, comprometendo tanto a sobrevivência quanto o desenvolvimento dos insetos (COSTA, 2025).

Além disso, o óleo essencial de *E. globulus* pode ser aplicado por diferentes vias, apresentando propriedades inseticidas e repelentes que interferem diretamente nos processos fisiológicos e comportamentais dos estágios imaturos, promovendo atraso no desenvolvimento e declínio populacional ao longo do tempo (LEITE E BERTOTTI, 2020; BRANCO, 2022). Nesse contexto, os resultados obtidos neste trabalho demonstram que, mesmo em concentrações que não causam mortalidade imediata, o óleo essencial é capaz de desorganizar o ciclo de vida de *D. peruvianus*, reduzindo a velocidade de desenvolvimento e a proporção de indivíduos que atingem

a fase adulta. De forma integrada, os dados indicam que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* atua como um regulador do desenvolvimento em *Dysdercus peruvianus*, promovendo atraso prolongado na muda ninfal e na metamorfose, tanto por contato quanto por aplicação tópica (FERNANDEZ, 2013; COSTA, 2023; RODRIGUEZ, 2025).

Em relação aos resultados de oviposição, demonstram que o óleo essencial exerceu efeito significativo sobre a capacidade reprodutiva de *Dysdercus peruvianus*, evidenciado pela redução da postura de ovos tanto nos tratamentos por contato quanto por aplicação tópica. Esse efeito mostrou-se dependente da diluição do óleo e do tempo pós-exposição, indicando que os compostos bioativos presentes interferem em processos fisiológicos relacionados à reprodução do inseto. Resultados semelhantes foram descritos por Rao et al. (1999), que ao estudarem o óleo de *Artemisia annua* em *Dysdercus koenigii* relataram atraso no desenvolvimento, deficiência ovariana e redução na produção de ovos, evidenciando que óleos essenciais podem comprometer diretamente o sistema reprodutor de hemípteros. Conforme observado por Costa (2025), no estudo sobre o óleo essencial de *Mentha × piperita* L. (Lamiaceae) no desenvolvimento de *Dysdercus peruvianus*, não houve interferência do controle solvente em comparação ao controle sem tratamento em relação à oviposição. De forma semelhante, no presente estudo, a ausência de diferenças expressivas entre os grupos controle e acetona, verificada em ambos os métodos de aplicação, confirma que o solvente não exerceu influência relevante sobre a fecundidade dos insetos. Esse resultado valida a metodologia experimental adotada e reforça que os efeitos observados decorrem exclusivamente da ação do óleo essencial.

Nos tratamentos por contato, observou-se redução significativa da oviposição em todas as diluições testadas, com inibição completa da postura nas concentrações mais elevadas nos períodos iniciais de avaliação. Esse achado sugere que o óleo essencial apresenta atividade reprodutiva subletal, possivelmente interferindo em processos fisiológicos como maturação ovariana e regulação hormonal. Estudos com óleos essenciais demonstram que seus constituintes, especialmente monoterpenos e sesquiterpenos, podem atuar como moduladores neuroendócrinos, afetando a

síntese ou a liberação de hormônios responsáveis pela regulação da reprodução em insetos (DAI *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2024; DA SILVA NETO *et al.*, 2025).

A recuperação parcial da oviposição observada nos períodos posteriores sugere que parte dos insetos sobreviventes pode apresentar certo grau de adaptação fisiológica ao composto testado. Entretanto, mesmo com a retomada da postura, os níveis de oviposição permaneceram inferiores aos observados nos grupos controle, indicando que o efeito do óleo essencial não foi completamente revertido ao longo do período experimental. Esse padrão sugere a ocorrência de alterações persistentes na fisiologia reprodutiva dos insetos, como redução no número de oócitos e comprometimento da maturação ovariana, fenômenos também descritos por Rao *et al.* (1999), que relataram diminuição de oócitos e redução da postura. Resultados semelhantes foram observados por Hategekimana e Erler (2020), que verificaram redução superior a 50% na fecundidade de *Acanthoscelides obtectus*, e por Elías-Agapito *et al.* (2025), que constatarem efeito ovicida significativo de extratos vegetais de *Piper tuberculatum* sobre ovos de *Dysdercus peruvianus*, reforçando que compostos de origem vegetal podem exercer impacto duradouro sobre a capacidade reprodutiva de insetos-praga.

No tratamento tópico, os efeitos do óleo essencial sobre a oviposição foram ainda mais pronunciados quando comparados ao tratamento por contato. A aplicação direta sobre o tegumento do inseto provavelmente favorece maior absorção dos compostos lipofílicos presentes no óleo, permitindo sua rápida penetração pela cutícula e maior biodisponibilidade sistêmica. Embora a cutícula represente uma importante barreira protetora, ela pode permitir a difusão de substâncias lipossolúveis, facilitando a ação tóxica e subletal dos compostos bioativos. Estudos relatam que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* apresenta múltiplas atividades biológicas em insetos, incluindo efeitos larvicidas, ovicidas e pupicidas (SHEIKH *et al.*, 2021; SAKHAMO, 2024). Além disso, seu mecanismo de ação envolve toxicidade direta, alterações no sistema nervoso e inibição de processos fundamentais como alimentação e reprodução. Os óleos essenciais dessa espécie também podem atuar sobre sistemas nervoso, digestivo, reprodutivo e metabólico, além de promover alterações estruturais no exoesqueleto dos insetos (SINGH *et al.*, 2021).

A inibição total da oviposição nas concentrações medianas durante o período inicial sugere que o óleo essencial pode atuar diretamente sobre o sistema endócrino dos insetos. Esse efeito está frequentemente associado a alterações crônicas na fisiologia reprodutiva, uma vez que o sucesso reprodutivo dos insetos depende da regulação hormonal da vitelogênese e da formação de oócitos, processos mediados principalmente pelo hormônio juvenil, ecdisteroides e neuropeptídeos (KARTHI *et al.*, 2020). Esses sistemas endócrinos exercem controle direto sobre a síntese de vitelogenina e o desenvolvimento ovariano, de modo que alterações nessas vias podem resultar em redução da fecundidade e comprometimento da capacidade reprodutiva dos insetos (KARTHI *et al.*, 2020; LEYRIA, 2024).

Já nos experimentos por fumigação, o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. apresenta elevada atividade inseticida contra *Dysdercus peruvianus*, caracterizada por um efeito claramente dependente da concentração e do tempo de exposição. A mortalidade total observada nas concentrações mais elevadas (100% e 100,32 mg/L) já nas primeiras 24 horas indica alta toxicidade dos vapores, enquanto as diluições subsequentes promoveram redução progressiva da sobrevivência ao longo das 96 horas de avaliação, mesmo nas menores concentrações testadas. A ausência de diferença significativa entre os grupos controle e acetona em todos os períodos confirma que os efeitos observados decorrem exclusivamente da ação do óleo essencial, descartando interferência do solvente. O aumento da mortalidade com o prolongamento da exposição, especialmente evidente nas diluições 12,54 mg/L e 6,27 mg/L sugere que a ação fumigante do óleo de *E. globulus* ocorre de forma cumulativa, possivelmente associada à contínua absorção dos compostos voláteis pelo sistema traqueal dos insetos. Esses achados estão em concordância com os resultados de Lucia e colaboradores (2009), que demonstraram elevada sensibilidade de adultos de *Aedes aegypti* aos vapores de óleos essenciais de *Eucalyptus*, atribuída principalmente à alta volatilidade e ao teor de 1,8-cineol. A concordância entre os estudos, mesmo envolvendo insetos pertencentes a ordens distintas, reforça a hipótese de que o óleo essencial de *E. globulus* apresenta amplo espectro de ação inseticida por fumigação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* Labill. apresenta expressiva atividade inseticida sobre ninfas de *Dysdercus peruvianus*, afetando diretamente a mortalidade, o desenvolvimento e a reprodução do inseto. De modo geral, os efeitos observados mostraram-se dependentes da concentração e do tempo de exposição, sendo que concentrações mais elevadas promoveram mortalidade rápida e significativa, enquanto diluições intermediárias e mais baixas ocasionaram principalmente efeitos subletais progressivos.

Em relação à mortalidade, observou-se elevada eficácia do óleo essencial nas diferentes formas de aplicação testadas no tratamento tópico, por contato e por fumigação, confirmando sua ação inseticida contra o *D. peruvianus*. Nos tratamentos com maiores concentrações, a mortalidade ocorreu rapidamente após a exposição, enquanto nas diluições mais baixas os efeitos manifestaram-se de forma gradual ao longo do período experimental. Quanto ao desenvolvimento das ninfas, verificou-se prolongamento do período intermuda entre o quarto e o quinto *instar*, atraso na metamorfose e redução na emergência de adultos viáveis. Esses resultados indicam que o óleo essencial interfere nos processos fisiológicos associados à muda e ao desenvolvimento do inseto. Além disso, foram registradas deformações morfológicas em indivíduos expostos às diluições intermediárias, evidenciando comprometimento da ecdise e da formação estrutural durante a transição da fase ninfal para a fase adulta. No que se refere à reprodução, observou-se redução significativa da oviposição nos grupos tratados, com inibição total da postura nas maiores concentrações nos períodos iniciais do experimento. Esse resultado evidencia que, além de promover mortalidade, o óleo essencial também afeta a capacidade reprodutiva da espécie. Adicionalmente, a ausência de diferenças significativas entre os grupos controle e controle com solvente indica que os efeitos observados são atribuídos exclusivamente aos compostos bioativos presentes no óleo essencial. Dessa forma, os dados obtidos confirmam que o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* atua não apenas na mortalidade, mas também como regulador do

desenvolvimento e da reprodução de *D. peruvianus*. Assim, o óleo essencial apresenta potencial promissor como alternativa sustentável para o manejo dessa espécie, podendo contribuir para o desenvolvimento de estratégias de controle mais seguras e ambientalmente adequadas.

6.2. PESPECTIVAS FUTURAS.

Como continuidade desta pesquisa, destaca-se a realização de novos ensaios com o óleo essencial de *Eucalyptus globulus*, visando à determinação de parâmetros toxicológicos mais precisos, como a dose letal média (DL₅₀), o que permitirá uma avaliação mais robusta da toxicidade e da sobrevivência de *Dysdercus peruvianus* em diferentes concentrações. A obtenção desses dados contribuirá para o refinamento das análises e para a comparação dos resultados com outros estudos envolvendo inseticidas botânicos.

Outra perspectiva relevante consiste no aprofundamento da caracterização dos compostos bioativos responsáveis pela atividade inseticida observada. Também se torna importante avaliar a seletividade desses compostos em relação a inimigos naturais e organismos não alvo, considerando sua possível aplicação em programas de manejo integrado de pragas.

Adicionalmente, pretende-se realizar a sistematização e ampliação das análises estatísticas dos dados obtidos, com vistas à elaboração e submissão de um artigo científico derivado deste estudo, contribuindo para a divulgação dos resultados na literatura especializada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abubakar Y, Tijjani H, Egbuna C, Adetunji CO, Kala S, Kryeziu TL, Ifemeje JC, Patrick-Iwuanyanwu KC. Pesticides, history, and classification. In: *Natural remedies for pest, disease and weed control*. Academic Press, 2020. p. 29-42.

ABRAPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. Relatório anual da safra 2024/2025. Brasília, DF: Abrapa, 2025. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br>. Acesso em: 11 Jan. 2026.

Aharoni A, Jongsma MA, Bouwmeester HJ. Volatile science? Metabolic engineering of terpenoids in plants. *Trends in Plant Science*. 2005;10(12):594–602.

Ahsan, Z.; Wu, Z.; Lin, Z.; Ji, T.; Wang, K. The sublethal effects of neonicotinoids on honeybees. *Biology*, v. 14, n. 8, p. 1076, 2025.

Almeida RP, Soares JJ, Albuquerque FA. Manejo agroecológico de pragas do algodoeiro. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1113757> . Acesso em: 29 jan. 2026.

Alves MCC. Desenvolvimento e caracterização de sistema de liberação controlada contendo piriproxifen para controle de formas imaturas de *Haematobia irritans* em bovinos. 2024. 65 f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Instituto de Veterinária, Departamento de Parasitologia Veterinária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Alzogaray RA, Lucia A, Zerba EN, Masuh HM. Insecticidal activity of essential oils from eleven *Eucalyptus* spp. and two hybrids: lethal and sublethal effects of their major components on *Blattella germanica*. *Journal of Economic Entomology*. 2011;104(2):595–600.

Ameen A, Raza S. Green revolution: a review. *International Journal of Advances in Scientific Research*. 2017;3(12):129–137.

Apolinário RVC. 2021. Efeitos de óleos essenciais e nanoemulsões em insetos-praga. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências e Biotecnologia) – Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói

Apolinário R, Nogueira J, Costa MGS, Santos-Mallet J, Santos MG, Azambuja P, Mello CB, Gonzalez MSG, Rocha L, Feder MD. Insecticidal activity of *Pilocarpus spicatus* Saint-Hilaire (Rutaceae) essential oil against the crop pest *Dysdercus peruvianus* (Guérin-Méneville, 1831) and *Oncopeltus fasciatus* (Dallas, 1852). *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, p. e90091110489, 2020.

García AA, Carril EPU. Metabolismo secundário de plantas. *Reduca (biología)*, v. 2, n. 3, 2009.

Avci U, Pattathil S, Singh B, Brown VL, Hahn MG, Haigler CH. Cotton fiber cell walls of *Gossypium hirsutum* and *Gossypium barbadense* have differences related to loosely-bound xyloglucan. *PLoS One*, v. 8, n. 2, p. e56315, 2013.

Bailly TPM, Kohlmeier P. Chemosensory and behavioral effects of Methoprene, a commonly used Juvenile Hormone analog and insect pesticide. *Current Opinion in Insect Science*, p. 101392, 2025.

Bakers M, Lanslor T, Eskelner M. História da Agricultura. *Cambridge Stanford Books*. 2019.

Batish DR, Singh HP, Kohli RK, Kaur S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. 2008;256(12):2166–2174.

Belchior DCV, Saraiva AS, Lopes RMT, Scheidt GN, Siqueira LF. Impactos de agrotóxicos sobre o meio ambiente e a saúde humana. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. 2017;34(1):135–151.

Bencko V, Foong FYL. The history of arsenical pesticides and health risks related to the use of Agent Blue. *Annals of agricultural and environmental medicine*, v. 24, n. 2, p. 312-316, 2017.

Benelli G. Mode of action of nanoparticles against insects. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 13, p. 12329-12341, 2018.

Bibik, J. D.; Hamberger, B. Plant engineering to enable platforms for sustainable bioproduction of terpenoids. *Synthetic Biology: Methods and Protocols*, p. 3–20, 2024.

BIOMONITORING CALIFORNIA. Pesticidas organoclorados. Disponível em: <https://biomonitoring.ca.gov/es/chemicals/pesticidas-organoclorados/> . Acesso em: 29 jan. 2026.

Blacquiere T, Smagghe G, van Gestel CA, Mommaerts V. Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, v. 21, n. 4, p. 973-992, 2012.

Bomfim V. Entre Humanos e Plantas: Alianças ayahuasqueiras na Amazônia contemporânea. *Editora Dialética*, 2024.

Bomfim JPDA. Atividade de óleos essenciais sobre *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae), *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e inimigos naturais. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista; 2020.

Boaretto AE. A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. *Revista Ceres*, v. 56, n. 4, p. 513-526, 2009.

Bora D, Khanikor B, Gogoi H. Plant based pesticides: green environment with special reference to silk worms. In: *Pesticides – Advances in Chemical and Botanical Pesticides*. London: IntechOpen; 2012.

Borges LP, Amorim VA. Metabólitos secundários de plantas. *Revista Agrotecnologia-Agrotec*, v. 11, n. 1, p. 54-67, 2020.

Branco ARF. Avaliação da ação repelente dos óleos essenciais de tomilho (*Thymus vulgaris*) e de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) em ixodídeos parasitas do coelho-bravo com vista ao controle da doença hemorrágica viral. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina Veterinária). Universidade de Lisboa; 2022.

Brock NL, Dickschat JS. Biosynthesis of terpenoids. In: *Natural Products*. Berlin: Springer; 2013. p. 2693–2732.

Busvine JR. Insects and hygiene. In: *Insects and Hygiene: The Biology and Control of Insect Pests of Medical and Domestic Importance*. Boston: Springer; 1980. p. 1–20.

Cáceres VAS, Paredes EP, Rojas JAL, Ticona JCM. Efecto repelente y tiempo de protección de aceites esenciales frente al estadio adulto de *Aedes aegypti*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2022;33(6):e21018.

Campagnolla C, Macêdo MMC. Revolução Verde: passado e desafios atuais. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. 2022;39(1):e26952.

Carneiro H. Comida e sociedade: uma história da alimentação. Elsevier Brasil, 2017.

Castro MEB, Souza ML, Sihler W, Rodrigues JCM, Ribeiro BM. Molecular biology of baculovirus and its use in biological control in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 34, p. 1733-1761, 1999.

Chapman RF. *The insects: structure and function*. 5. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Chaubey MK. Fumigant toxicity of essential oils from some common spices against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *J Oleo Sci*. 2008; 57(3):177-179.

Chen, D. D.; [demais autores]. Structure, catalysis, chitin transport, and selective inhibition of chitin synthase. *Nature Communications*, v. 14, p. 4776, 2023.

Chicuta CPL, Barros ACDA, Lima JKA, Tavares CCDS, França KC, Santos MÂD, Gomes FS. Extratos de plantas com potencial inseticida do bioma brasileiro: um referencial teórico. In: *Ciências Agrárias: o Avanço da Ciência no Brasil*. 2021;1:330–347.

Chikte T, Kopta T, Psota V, Arizmendi J, Chwil M. A comprehensive review of low-and zero-residue pesticide methods in vegetable production. *Agronomy*, v. 14, n. 11, p. 2745, 2024.

Ciesla WM. Saint Andrew's Cotton Stainer: damaging pest or colorful curiosity? *American Entomologist*. 2016;62(1):17–21.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/24. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br> . Acesso em: 16 Jan. 2026.

Corrêa JCR, Salgado HRN. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*. 2011;13:500–506.

Costa ABS. 2025. Atividade inseticida do óleo essencial de *Mentha × piperita* L. (Lamiaceae) no desenvolvimento do percevejo manchador de algodão *Dysdercus peruvianus* (Pyrrhocoridae). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

Costa ELN, Silva RF, Fiuza LM. Efeitos, aplicações e limitações de extratos de plantas inseticidas. *Acta Biologica Leopoldensia*. 2004;26(2):173–185.

Costa MGS. 2023. Estudo da atividade dos óleos essenciais de *Ocotea elegans* (Lauraceae) e de uma Myrtaceae nos Hemiptera *Oncopeltus fasciatus* (Lygaeidae) e *Dysdercus peruvianus* (Pyrrhocoridae). Dissertação (Mestrado em Ciências e Biotecnologia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

CREA-AL- CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE ALAGOAS. Durante evento em Alagoas, produtores de algodão querem expandir área. Maceió, 31 ago. 2017. Disponível em: <https://www.crea-al.org.br/2017/08/durante-evento-em-alagoas-produtores-de-algodao-querem-expandir-area/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

Costa LG. *The neurotoxicity of organochlorine and pyrethroid pesticides*. Handbook of clinical neurology, v. 131, p. 135-148, 2015.

Da Silva Neto IF, Santos IT, Barbosa FEV, Tintino SR. SÍNTESE DAS ATIVIDADES INSETICIDAS DO MONOTERPENO TIMOL SOBRE O *Aedes aegypti*. *Revista Interação Interdisciplinar* (ISSN: 2526-9550), v. 7, p. 1-12, 2025.

Da Silva PPM, Oliveira J, Biazotto AM, Parisi MM, Glória EM, Spoto MHF. Essential oils from *Eucalyptus staigeriana* F. Muell. ex Bailey and *Eucalyptus urograndis* W. Hill ex Maiden associated to carboxymethylcellulose coating for the control of *Botrytis cinerea* Pers. Fr. and *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. in strawberries. *Industrial Crops and Products*, v. 156, p. 112884, 2020.

Dai H, Liu B, Yang L, Yao Y, Liu M, Xiao W, Li S, Ji R, Sun Y. Investigating the regulatory mechanism of the sesquiterpenol nerolidol from a plant on juvenile hormone-related genes in the insect *Spodoptera exigua*. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 17, p. 13330, 2023.

D'amato C, Torres JPM, Malm O. DDT (dicloro difenil tricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental-uma revisão. *Química Nova*, v. 25, p. 995-1002, 2002.

De Albuquerque RDDG, Venegas-Casanova EA, Rubio-López FR, Gutiérrez-Ramos ME, Alfaro-Beltrán IM, Jara-Aguilar R, Cerna-Reyes FT. Essential oils as green controllers of the cotton pest *Dysdercus*. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 2024;12(5):15–22.

De Bortoli SA, Vacari AM, Do Carmo Fernandes M, De Bortoli CP, De Bortoli SLP, Ramalho DG. Effects of planting distances and *Bacillus thuringiensis* Berliner on *Alabama argillacea* (Hubner), *Aphis gossypii* Glover and natural enemies of cotton. *Comunicata Scientiae*. 2015;6(2):202–212.

De Oliveira AU. Modo de produção capitalista, agricultura e reforma agrária. 2007.

De Oliveira GF, Magalhães VS, Alves MCC, Jesus ILR, Medeiros MT, Gomes BT, Calado SB, Melo RC, Cid YP, Scott FB. Evaluation of pyriproxyfen in cattle by oral treatment: An alternative to control *Haematobia irritans*. *Veterinary Parasitology*, v. 299, p. 109565, 2021.

De Rezende FM *et al.* Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. *Laboratório de ensino de botânica*, v. 93, 2016.

Dinan L, Bourne PC, Meng Y, Sarker SD, Tolentino RB, Whitinget P. Assessment of natural products in the *Drosophila melanogaster* BII cell bioassay for ecdysteroid agonist and antagonist activities. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, v. 58, n. 2, p. 321-342, 2001.

Dos Santos AE. Importância química e biológica dos óleos voláteis de espécies do gênero *Eucalyptus*. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 1, 2021.

Dos Santos Dias A, Santos CC. O cultivo do algodão de ponta a ponta: manejo fitotécnico, nutricional e fisiológico. Editora Licuri, p. 73-100, 2023.

Dorn A. Efeitos da azadiractina na reprodução e no desenvolvimento dos ovos do heteróptero *Oncopeltus fasciatus* Dallas. *Revista de Entomologia Aplicada*. 1986;102:313–319.

Elías-Agapito YMF, Rojas-Idrogo C, Fupuy-Chung JA, Delgado-Paredes GE. In vitro ovicidal activity of “matico”, *Piper tuberculatum*, against “arrebiatado”, *Dysdercus peruvianus*. *Agrociencia Uruguay*. 2025;29.

Embrapa. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

Elshafie, H. S.; Camele, I.; Mohamed, A. A. A comprehensive review on the biological, agricultural and pharmaceutical properties of secondary metabolites based-plant origin. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 24, n. 4, p. 3266, 2023.

Feder D, Gonzalez MS, Mello CB, Santos MG, Rocha L, Kelecom A, Folly E. Explorando o potencial inseticida e acaricida de reguladores de desenvolvimento obtidos da vegetação de Restinga do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2019;91(1).

Fernandes CP, Xavier A, Pacheco JPF, Santos MG, Mexas R, Ratcliffe NA, Gonzalez MS, Mello CB, Rocha L, Feder D. Laboratory evaluation of the effects of *Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard extracts and triterpenes on the development of *Dysdercus peruvianus* and *Oncopeltus fasciatus*. *Pest Management Science*, 69(2): 292-301, 2012.

Fernandes CP, Xavier A, Pacheco JPF, Santos MG, Mexas R, Ratcliffe NA, Feder D. Laboratory evaluation of the effects of *Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard extracts and triterpenes on the development of *Dysdercus peruvianus* and *Oncopeltus fasciatus*. *Pest Management Science*. 2013;69(2):292–301.

Ferreira BN, Montebello AES, Santos JA. Marjotta-Maistro C. Cadeia produtiva do algodão no Brasil. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, p. e298111031730-e298111031730, 2022.

Ferreira CR. 2025. Nomes populares de insetos comumente citados pelos usuários das redes sociais. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Figueiredo ACP. Piretróides: Uma nova geração de insecticidas. 2014. Dissertação de Mestrado.

Figueiredo MRA. Interações entre os herbicidas 2, 4-D e glifosato: aspectos químicos, bioquímicos e fisiológicos. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Flora e Funga do Brasil. *Eucalyptus globulus* Labill. In: *Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2024. Disponível em: <https://reflora.jbrj.gov.br>. Acesso em: 28 jan. 2026.

Bro Browning, C.; McEwen, A. G.; Mori, K.; Yokoi, T.; Moras, D.; Nakagawa, Y.; Billas, I. M. Nonsteroidal ecdysone receptor agonists use a water channel for binding to the ecdysone receptor complex EcR/USP. *Journal of Pesticide Science*, v. 46, n. 1, p. 88–100, 2021.

Foelkel CEB. *Eucalipto no Brasil*. 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Manual of fumigation for insect control. FAO Plant Production and Protection Paper 54. Rome: FAO, [s.d.]. Disponível em: <https://www.fao.org/4/x5042e/x5042e0b.htm>. Acesso em: 29 jan. 2026.

Gahukar RT. Evaluation of plant-derived products against pests and diseases of medicinal plants: A review. *Crop Protection*, v. 42, p. 202-209, 2012.

Gallo D, Nakano O, Silveira Neto S, Carvalho RPR, Baptista GC, Barti Filho E, Parra JRP, Zucchi RA, Alves SB, Vendramim JD, Marchini LC, Lopes JRS, Omoto C. *Entomologia agrícola*. Piracicaba: FEALQ, 2002.

Galvão DF. Impactos Socioeconômicos e Ambientais da Produção de Soja no Norte de Mato Grosso: Análise das Percepções dos Stakeholders. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

Galleti LA. Danos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do algodão, *Gossypium hirsutum*. Orientador: Geraldo Papa. 2024. 39. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha solteira, 2024

Gámiz-Gracia L, García-Campaña AM, Soto-Chinchilla JJ, Huertas-Pérez JF, González-Casado A. Analysis of pesticides by chemiluminescence detection in the liquid phase. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2005;24(11):927–942.

Gonçalves JS, Ramos SdeF. Da origem à hegemonia e crise do algodão meridional brasileiro no século XX. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 25-41, 2008.

Gomes G, Desuó IC, Morlin Júnior JJ, Murakami ASN, Gomes L. Insetos, entomologia e ciência forense. Gomes, L. Entomologia forense: novas tendências e tecnologias criminais, 1º ed Rio de Janeiro. Cap, v. 1, p. 17-86, 2010.

Grazia J, Schwertner CF, Campos LA. Hemiptera Linnaeus, 1758. In: *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. 2012;1:347–406.

Gullan PJ, Cranston PS. *Insetos: Fundamentos da Entomologia*. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2017.

Gunnell D, Eddleston M, Phillips MR, Konradsen F. The global distribution of fatal pesticide self-poisoning: systematic review. *BMC Public Health*. 2007;7(1):357.

Guo Q-M, Yang X-W. Cipelocarpina C e outros compostos dos frutos de *Eucalyptus globulus* Labill. *Sistemática bioquímica e ecologia*, v. 34, n. 6, p. 543-545, 2006.

Harada T, Nakagawa Y, Ogura T, Yamada Y, Ohe T, Miyagawaet H. Virtual screening for ligands of the insect molting hormone receptor. *Journal of chemical information and modeling*, v. 51, n. 2, p. 296-305, 2011.

Hategekimana A, Erler F. Fecundity and fertility inhibition effects of some plant essential oils and their major components against *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2020;127(5):615–623.

Hazell PBR. The Asian Green Revolution. *International Food Policy Research Institute*. 2009;911.

Hedin PA, Hollingworth RM. New applications for phytochemical pest-control agents. 1997.

Henriques BS, Genta FA, Mello CB, Silva LR, Codogno TF, Oliveira AFR, Marinho LP, Valle D, Lima JBP, Feder D, Gonzalez MS, Azambuja P. Triflumuron effects on the physiology and reproduction of *Rhodnius prolixus* adult females. *Biomed research international*, v. 2016, n. 1, p. 8603140, 2016.

Henry LK, Thomas ST, Widhalm JR, Lynch JH, Davis TC, Kessler SA, Bohlmann J, Noel JP, Dudareva N. Contribution of isopentenyl phosphate to plant terpenoid metabolism. *Nature Plants*. 2018;4(9):721–729.

Hernandes NH. Identificação e validação das interações miRNA-mRNA na metamorfose de *Apis mellifera*. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Hu X, Yin B, Cappelle K, Swevers L, Smagghe G, Yang X, Zhang L. Identification of novel agonists and antagonists of the ecdysone receptor by virtual screening. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, v. 81, p. 77-85, 2018.

Huang ZY, Lin S, Kiheung AHN. Methoprene does not affect juvenile hormone titers in honey bee (*Apis mellifera*) workers. *Insect science*, v. 25, n. 2, p. 235-240, 2018.

Isah T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*. 2019;52.

Isman MB. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise?. *Annual Review of Entomology*, v. 65, n. 1, p. 233-249, 2020.

Jarman WM, Ballschmiter K. From coal to DDT: the history of the development of the pesticide DDT from synthetic dyes till Silent Spring. *Endeavour*, v. 36, n. 4, p. 131-142, 2012.

Jatsch AS, Ruther J. Acetone application for administration of bioactive substances has no negative effects on longevity, fitness, and sexual communication in a parasitic wasp. *PLoS One*, v. 16, n. 1, p. e0245698, 2021.

Jendran TP, Birah A, Burange PS. Insect pests of cotton. In: *Pests and Their Management*. Singapore: Springer; 2018. p. 361–411

Karthi S, Vinothkumar M, Karthic U, Manigandan V, Saravanan R, Vasantha-Srinivasan P, Kamaraj C, Shivakumar MS, Mandal SD, Velusamy A, Krutmuang P, Senthil-Nathan S. Biological effects of *Avicennia marina* (Forssk.) vierh. extracts on physiological, biochemical, and antimicrobial activities against three challenging mosquito vectors and microbial pathogens. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 13, p. 15174-15187, 2020.

Kebede G, Gebrie S, Haregu S, Yeshitila A, Palanivel H. Genetically modified bacteria for alleviating agrochemical impact on the environment. In: *Agrochemicals in Soil and Environment: Impacts and Remediation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 565-583.

Kim KH, Kabir E, Jahan SA. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*. 2017;575:525–535.

Kim SI, Roh JY, Kim DH, Lee HS, Ahn YJ. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research*. 2003;39:293–303.

Klowden MJ. Physiological systems in insects. *Academic press*, 2013.

Kumar A. Computer aided pesticide design: A rational tool for supplementing DDT lacunae. *Chemical Science Transactions*, 2014.

Koul O, Walia S, Dhaliwal GS. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides International*. 2008;4(1):63–84.

Kumar R, Oliveira MS, Andrade EHA, Suyal DC, Soni R. (Ed.). Biorationals and biopesticides: pest management. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2024.

Lawler SP. Environmental safety review of methoprene and bacterially-derived pesticides commonly used for sustained mosquito control. *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 139, p. 335-343, 2017.

Leite DOD, Silva Júnior JOC, Santos MRC, Costa JGM. Propriedades físicas de óleos essenciais: uma ferramenta experimental no ensino de química. *Research, Society and Development*. 2020;9(10).

Leyria J. Endocrine factors modulating vitellogenesis and oogenesis in insects: An update. *Molecular and Cellular Endocrinology*, v. 587, p. 112211, 2024.

Li BA. Dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDT): an unforgettable and powerful pesticide. *Journal of High School Science*. 2022;6(2).

Limam H, Ben SR, Khouja ML, Boussaid M. Variation in chemical profile of leaves essential oils from thirteen Tunisian *Eucalyptus* species and evaluation of their antioxidant and antibacterial properties. *Industrial Crops and Products*. 2020;158:112964.

Ma, L.; Zhao, Z.; Yang, R.; Su, Q.; Peng, Y.; Zhang, W. Dissecting the manipulation of lufenuron on chitin synthesis in *Helicoverpa armigera*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 202, p. 105962, 2024.

Madgwick, P. G.; Kanitz, R. What is the value of rotations to insecticide resistance management? *Pest Management Science*, v. 80, n. 4, p. 1671–1680, 2024.

Mansouri A, Cregut M, Abbes C, Durand M-J, Landoulsi A, Thouand G. The environmental issues of DDT pollution and bioremediation: a multidisciplinary review. *Applied biochemistry and biotechnology*, v. 181, n. 1, p. 309-339, 2017.

Matthews GA. *A History of Pesticides*. Wallingford: CABI; 2018.

Mazoyer M, Roudart L. História das agriculturas no mundo. Do Neolítico à crise contemporânea. Sao Paulo, Brasil: UNESP, 2010.

Mello M. O processo de modernização da agricultura brasileira e suas relações sociais no município de Marau (RS)-1930-2020. 2022.

Menezes ELA. Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola. Seropédica: Embrapa Agrobiologia; 2005.

Meng Y, Bourne PC, Whiting P, Sik V, Dinanet L. Identification and ecdysteroid antagonist activity of three oligostilbenes from the seeds of *Carex pendula* (Cyperaceae). *Phytochemistry*, v. 57, n. 3, p. 393-400, 2001.

Merck Millipore. 18-Cineole – MDA Chem-843788. Disponível em: <https://www.merckmillipore.com>. Acesso em: 28 fev. 2026.

Merzendorfer H, Zimoch L. Chitin metabolism in insects: structure, function and regulation of chitin synthases and chitinases. *Journal of Experimental Biology*, v. 206, p. 4393–4412, 2003.

Merzendorfer H. Insect chitin synthases: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, v. 176, p. 1–15, 2006.

Mesich JM, Richards MH. Effect of a juvenile hormone analogue (methoprene) on ovarian development and survival in the Eastern Carpenter Bee (*Xylocopa virginica*). *Insectes Sociaux*, v. 72, n. 2, p. 155-163, 2025.

Mitra-Nature. *Eucalyptus globulus*. Disponível em: <https://www.mitra-nature.uevora.pt/Especies-e-habitats/Plantas/Lenhosas/Arvores/Myrtaceae/Eucalyptus-globulus>. Acesso em: 9 dez. 2025.

Morais JW, Fifueira JAM, Sampaio PTB. Eficiência de inseticidas no controle de pragas em sementes e mudas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), em viveiros, Manaus, Amazonas. *Acta Amazonica*. 2009;39(3):533–538.

Moreira FA. Perfil da alteração na produção de substâncias fenólicas e açúcares livres na interação entre *Tapirira guianensis* Aubl. (Anacardiaceae) parasitada por *Phoradendron crassifolium* (Pohl ex DC.) Eichler (Santalaceae). Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo; 2015.

Mori, K.; Nakagawa, Y.; Watanabe, B.; Miyata, H.; Morita, T.; Hayashi, K. I. Novel ability of diflubenzuron as an inhibitor of mitochondrial function. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 167, p. 104088, 2024.

Mosisa, G. B.; Tassie, N.; Adula, M. Current and future distribution of *Eucalyptus globulus* under changing climate in Ethiopia: implications for forest management. *Environmental Systems Research*, v. 13, n. 1, p. 4, 2024.

Moura ACT, Wilcken CF, Soliman EP, Barbosa LR. *Aphis gossypii* Glover, 1877 and *Aphis spiraecola* Patch, 1914 (Hemiptera: Aphididae) associated with *Eucalyptus* spp. *Ciência Florestal*. 2022;32(4):2404–2418.

Nadeem A, Tahir HM, Khan AA, Hassan Z, Khan AM. Species composition and population dynamics of some arthropod pests in cotton fields of irrigated and semi-arid regions of Punjab, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 30, n. 2, p. 103521, 2023.

Nakano O *et al.* *Entomologia agrícola*. Piracicaba: Fealq, v. 10, p. 920, 2002.

Nation Sr, J L. *Insect physiology and biochemistry*. CRC press, 2022.

Naz H, Uygun N. Insect growth regulators for insect pest control. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2004;28(6):377–387.

Nerio LS, Olivero-Verbel J, Stashenko E. Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource Technology*. 2010;101(1):372–378.

Novo, J. P. S.; Fontes, F. V. H. M.; Stein, C. P.; Lago, A. A.; Bottignon, M. R.; Novo, M. C. S. Pellets produzidos com estruturas de plantas e óleo essencial de folhas de *Ageratum conyzoides* L. afetando o desenvolvimento de *Sitophilus oryzae*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 40, n. 2, p. 221–229, 2010.

Oberemok VV, Nyadar PM. Investigation of mode of action of DNA insecticides on the basis of LdMNPV IAP-3 gene. *Turkish Journal of Biology*. 2015;39(2):258–264.

Oaya ACS, Malgwi AM, Degri MM, Samaila AE. Impact of synthetic pesticides utilization on humans and the environment: an overview. *Agricultural Science & Technology* (1313-8820), v. 11, n. 4, 2019.

Othmer K. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 4 ed. New York: John Wiley & Sons; 1996. v.13.

Oliveira JARN *et al.* Avaliação do óleo essencial de alpinia zerumbet (pers.) bl burt & rm sm.(zingiberaceae) como agente larvicida frente Aedes aegypti L. 2025.

Pacheco JPF, Nogueira J, De Miranda RPR, Duprat RC, Machado FP, Tietbohl LAC, Feder MD. Effects of *Zanthoxylum caribaeum* essential oil against cotton bug *Dysdercus peruvianus*. *Research, Society and Development*. 2020;9(9):e197997152.

Parra JRP. Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores. Barueri: Manole; 2002.

Pinto CPG, Rickes LN, Zotti MJ, Grutzmacher AD. Comparação da atividade de moléculas agonistas em relação ao receptor de ecdisona em um sistema de triagem baseado em linhagens celulares de insetos. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 86, p. e0312019, 2019.

Ragasruthi, M.; Balakrishnan, N.; Murugan, M.; Swarnakumari, N.; Harish, S.; Sharmila, D. J. S. *Bacillus thuringiensis* (Bt)-based biopesticide: Navigating success, challenges, and future horizons in sustainable pest control. *Science of the Total Environment*, v. 954, p. 176594, 2024.

Ramaseshadri P, Farkas R, Palli SR. Recent progress in juvenile hormone analogs (JHA) research. *Advances in insect physiology*, v. 43, p. 353-436, 2012.

Ramos UB. História Moderna. Freitas Bastos, 2025.

Rao PJ, Kumar KM, Singh S, Subrahmanyam B. Effect of *Artemisia annua* oil on development and reproduction of *Dysdercus koenigii* F. (Hem., Pyrrhocoridae). *Journal of Applied Entomology*. 1999;123(5):315–318.

Raskin I, Ribnicky DM, Komarnytsky S, Ilic N, Poulev A, Borisjuk N, Brinker A, Moreno DA, Ripoll C, Yakoby N, O'Neal JMO, Cornwell T, Pastor I, Fridlender B. Plants and human health in the twenty-first century. *TRENDS in Biotechnology*, v. 20, n. 12, p. 522-531, 2002.

Regnault-Roger C, Vincent C, Arnason JT. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual review of entomology*, v. 57, n. 1, p. 405-424, 2012.

Reid MC, McKenzie FE. The contribution of agricultural insecticide use to increasing insecticide resistance in African malaria vectors. *Malaria journal*, v. 15, n. 1, p. 107, 2016.

Rodriguez NDCG. Potencial inseticida do óleo essencial de eucalyptus globulus (myrtaceae) no manejo de euschistus heros (hemiptera: pentatomidae). 2025.

Rosado HC, Anholeti MC, Santos MG, Dos Santos-Mallet JR, Figueiredo MR, Mello CB, Feder D. Effects of semi-purified fractions from stems of *Clusia hilariana* on the development of *Dysdercus peruvianus*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2019;29(6):801–806.

Roskopf, E.; Gioia, F. D.; Vincent, I.; Hong, J.; Zhao, X. Impacts of the ban on the soil-applied fumigant methyl bromide. *Phytopathology*, v. 114, n. 6, p. 1161–1175, 2024.

Rubino FM, Mandic-Rajcevic S, Mrema EJ, Colosio C. Principles and application of the integrated pest management approach. In: *Environmental Security Assessment and Management of Obsolete Pesticides in Southeast Europe*. Dordrecht: Springer; 2013. p. 413–432.

Sanes JA. Revolução Verde e a modernização da agricultura mundial. São Paulo: Editora Acadêmica; 2020.

Sarker A, Kim D, Jeong WT. Environmental fate and sustainable management of pesticides in soils: a critical review focusing on sustainable agriculture. *Sustainability*. 2024;16(23):10741.

Scheff DS, Arthur FH, Domingue MJ, Myers SW. Combination insecticide treatments with methoprene and pyrethrin for control of khapra beetle larvae on different commodities. *Insects*. 2024;15(1):77.

Shaalán EA, Canyon D, Younes MW, Abdel-Wahab H, Mansour AH. A review of botanical phytochemicals with mosquitocidal potential. *Environmental International*. 2005;31(8):1149–1166.

Sheikh Z, Amani A, Basseri HR, Kazemi SHM, Sedaghat MM, Azam K, Azizi M, Amirmohammadi F. Repellent efficacy of *Eucalyptus globulus* and *Syzygium aromaticum* essential oils against malaria vector *Anopheles stephensi* (Diptera: Culicidae). *Iranian Journal of Public Health*. 2021;50(8):1668–1677.

Silveira AC, Lazzarotto M. Óleos essenciais de espécies de eucaliptos. In: Oliveira EB, Pinto Junior JE, editores. *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa; 2021. p. 723–750.

Singh P, Pandey AK. Prospective of essential oils of the genus *Mentha* as biopesticides: a review. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1295.

Singh, R.; Bhardwaj, V. K.; Das, P.; Purohit, R. New ecdysone receptor agonists: a computational approach for rational discovery of insecticides. *Molecular Systems Design & Engineering*, v. 6, 2021.

Silva ACda et al. Uso de inseticidas e seus impactos ambientais: uma revisão integrativa. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 14, n. 2, 2023. Silva GR et al. Aplicações de reguladores de crescimento de insetos (IGRs) no manejo integrado de pragas. 2024.

Singh P, Pandey AK. Prospective of essential oils of the genus *Mentha* as biopesticides: a review. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1295.

Soin T, De Geyter E, Mosallanejad H, Iga M, Martín D, Ozaki S, Swevers L. Assessment of species specificity of moulting accelerating compounds in Lepidoptera: comparison of activity between *Bombyx mori* and *Spodoptera littoralis* by in vitro reporter and in vivo toxicity assays. *Pest Management Science*. 2010;66(5):526–535.

Sousa RB. 2019. Biodiversidade e hábito alimentar de insetos fitófagos associados às *Spondias* spp. no Brasil.

Souto, A. L.; [demais autores]. Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: Prospects, applications and challenges. *Molecules*, v. 26, n. 16, p. 4835, 2021.

Stephen WV. Genus *Dysdercus* – Cotton Stainers. Bugguide; 2019. Disponível em: <https://bugguide.net/node/view/8478>. Acesso em: 12 abr. 2024.

Suryanarayanan TS. A historic perspective of Bordeaux mixture: the first commercial scale fungicide. *Current Science*. 2024;127:990–991.

Tice CM, Lee KL, Liu EC, Nixey T, Liu G, Lowery A. Synthesis and SAR of α -acylaminoketone ligands for control of gene expression. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2003;13(3):475–478.

Tietbohl LA, Barbosa T, Fernandes CP, Santos MG, Machado FP, Santos KT, Rocha L. Laboratory evaluation of the effects of essential oil of *Myrciaria floribunda* leaves on the development of *Dysdercus peruvianus* and *Oncopeltus fasciatus*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2014;24(3):316–321.

Tietbohl LA, Mello CB, Silva LR, Dolabella IB, Franco TC, Enríquez JJ, Gonzalez MS. Green insecticide against Chagas disease: effects of essential oil from *Myrciaria floribunda* (Myrtaceae) on the development of *Rhodnius prolixus* nymphs. *Journal of Essential Oil Research*. 2020;32(1):1–11.

Triplehorn CA, Johnson NF. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. 7 ed. Belmont: Brooks/Cole; 2013.

Umetsu N, Shirai Y. Development of novel pesticides in the 21st century. *Journal of Pesticide Science*. 2020;45(2):54–74.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Cotton: world markets and trade. Washington, DC: USDA, 2024. Disponível em: <https://www.usda.gov> . Acesso em: 10 jan. 2026.

Van Dyk Pletschke B. Pesticides: environmental and human health effects — a review of the evidence. *Journal of Environmental Protection*. 2011;2(4):345–357.

Vandenberg LN, Pierce EJ, Arsenault RM. Pesticides, an urgent challenge to global environmental health and planetary boundaries. *Frontiers in Toxicology*. 2025;7:1656297.

Vincent JFV, Wegst UGK. Design and mechanical properties of insect cuticle. *Arthropod Structure & Development*. 2004;33(3):187–199.

Vitti AMS, Brito JO. Óleo essencial de eucalipto. *Documentos Florestais*. 2003;17(3):1–26.

Watts, A.; Lyngdoh, Y. A.; Watts, A. Perspective chapter: From defense to development – exploring plant secondary metabolites. *Plant Secondary Metabolites*, p. 119, 2025.

Wang, D.; Chen, W.; Yu, A.; Zhang, Z.; Zhou, F.; Zhou, J.; Yang, Q. Discovery and characterization of chitin synthase inhibitors with novel mechanism for control of *Tetranychus urticae*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 73, n. 1, p. 159–168, 2024.

Wikimedia Commons. *Eucalyptus globulus leaf structure* (ilustração). Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eucalyptus_leaf_diagram.png. Acesso em: 07 fev. 2026.

Wing KD, Slawecki RA, Carlson GR. RH 5849, a nonsteroidal ecdysone agonist: effects on larval Lepidoptera. *Science*. 1988;241(4864):470–472.

Winkler, D. A.; Hill, R. J. Small organic ligands for the ecdysone receptor – agrochemicals, gene switches, and beyond. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, p. 106585, 2025.

Wood TJ, Goulson D. The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post 2013. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(21):17285–17325.

Wu ZW, Li YH, Zhang XY, Chen QL, Wang JJ. Discovery of enantiopure (S)-methoprene derivatives as potent biochemical pesticide candidates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024;72(45):24979–24988.

Xavier, V.; Spréa, R.; Finimundy, T. C.; Heleno, S. A.; Amaral, J. S.; Barros, L.; Ferreira, I. C. Terpenes. In: *Natural Secondary Metabolites: From Nature, Through Science, to Industry*. Cham: Springer, 2023. p. 107–156.

Yadav IC, Devi NL, Syed JH, Cheng Z, Li J, Zhang G, Jones KC. Current status of persistent organic pesticide residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: a comprehensive review of India. *Science of the Total Environment*. 2015;511:123–137.

Yang YC, Lee HS, Clark JM, Ahn YJ. Ovicidal and adulticidal activity of *Eucalyptus globulus* leaf oil terpenoids against *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: Pediculidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(9):2507–2511.

Yu, A.; Beck, M.; Merzendorfer, H.; Yang, Q. Advances in understanding insect chitin biosynthesis. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 164, p. 104058, 2024.

Zacharia JT. Identity, physical and chemical properties of pesticides. In: *Pesticides in the Modern World – Trends in Pesticides Analysis*. 2011;21:1–8.

Zaluski R, Oliveira TM, Silva MA, Martins JR. Utilização de inseticidas em cultivos agrícolas no Brasil e seus efeitos sobre abelhas africanizadas. *Revista Brasileira de Entomologia*. 2012;56(4):1–8.

Zhang, C.; Hu, W.; Yu, Z.; Liu, X.; Wang, J.; Xin, T.; Xia, B. Characterization of chitin synthase A cDNA from *Diaphorina citri* and its response to diflubenzuron. *Insects*, v. 13, n. 8, p. 728, 2022.

Zhang, Y.; LI, X.; WANG, H.; CHEN, J. Juvenile hormone and ecdysone receptor regulation in insects. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 26, n. 5, 2025.

Zrira S, Benjilali B, Elamrani A, Bessière JM, Menut C. Chemical composition of the essential oil of nine *Eucalyptus* species growing in Morocco. *Flavour and Fragrance Journal*. 2004;19(2):172–175.