

**UNIVERSIDADE ANHANGUERA-UNIDERP**

**LUIZ OCTÁVIO GONZALES FERREIRA**

**DIVERSIDADE QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS  
EXÓTICAS e NATIVA COM POTENCIAL NO CONTROLE SUSTENTÁVEL  
DE PRAGAS AGRÍCOLAS**

**CAMPO GRANDE – MS**

**2022**

**Luiz Octávio Gonzales Ferreira**

**Diversidade química dos óleos essenciais de plantas exóticas e nativa  
com potencial no controle sustentável de pragas agrícolas**

**Tese** apresentada ao Programa de Pós-graduação em **Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional** da Universidade Anhanguera-Uniderp, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional**.

Comitê de Orientação:  
Profa. Dra. Rosemary Matias  
Prof. Dr. Ademir Kleber Morbeck de Oliveira

**CAMPO GRANDE – MS**

**2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

F383d Ferreira, Luiz Octávio Gonzales  
Diversidade química dos óleos essenciais de plantas exóticas e nativa com potencial no controle sustentável de pragas agrícolas / Cleise Fernandes Soares. – Campo Grande, 2022.  
134 fl.

Orientadora: Rosemary Matias  
Coorientador: Ademir Kleber Morbeck de Oliveira  
Tese (doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) – Anhanguera Uniderp, 2022.

1. Produtos naturais. 2. Inseticidas botânicos.  
3. Óleos essenciais. 3. Controle sustentável. I. Matias, Rosemary. II. Oliveira, Ademir Kleber Morbeck de III. Título.

---

CDD 333.953

---

Raquel Torres – CRB 8 10534

## FOLHA DE APROVAÇÃO



**Candidato: Luiz Octavio Gonzales Ferre**

Tese defendida e aprovada em 04/03/2022 pela banca examinadora:

**Profa. Dra. Rosemary Matias (orientadora) (Doutora em Química)**

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional -  
Uniderp

**Prof. Dr. Silvio Favero (Doutor em Produção Vegetal)**

Universidade Federal de Mato Grosso - MT

**Profa. Dra. Antonia Railda Roel (Doutora em Entomologia)**

Programa de Pós Graduação em Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária –  
Universidade Católica Católica Dom Bosco - UCDB

**Prof. Dr. Gilberto Gonçalves Facco (Doutor em Ciência Animal)**

Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional -  
Uniderp

**Prof. Dr. José Carlos Pina (Doutor em Meio ambiente e Desenvolvimento  
Regional)**

Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e  
Desenvolvimento Regional - Uniderp

## AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico em especial a minha mãe Ester, que sempre incentivou todos os filhos a buscarem por conhecimento, que da sua forma me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Aristides, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Obrigado meus irmãos Tobias, Tibiriça, Jeferson e Glaucyeth, minhas sobrinhas Maria Clara e Lunna Maytê, que nos momentos de minha ausência dedicada ao estudo, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação na presente!

A minha tia e madrinha Lourdes por todo apoio, carinho e incentivo aos estudos.

Ao meu primeiro orientador como pesquisador o Prof. Dr. Silvio Favero, que me ensinou e incentivou desde o final da graduação e até o presente na realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. José Sabino, que me acompanhou por essa jornada no doutorado, foi meu orientador que me ouviu, aconselhou, incentivou e acima de tudo me acolheu nos momentos mais difíceis, sempre me impulsionando a não desistir.

Ao meu comitê de orientação Profa. Rosemary Matias e Prof. Dr. Ademir Morbeck, que se dedicaram a realização dessa pesquisa, pelas contribuições, considerações e incentivo.

Meus agradecimentos aos meus amigos que estiveram comigo não somente na vida pessoal, mas na profissional também, em especial Nayara, José, Heidíne e Pâmella, que não foram presentes somente em amparo e incentivo, mas também no serviço de pesquisa que estiveram comigo me auxiliando no laboratório.

Agradeço a todos os professores do programa por me proporcionar o acesso aos seus conhecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e, da Universidade Anhanguera-Uniderp, através do pagamento de bolsa de estudo.

A todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente com este trabalho, muito obrigado!

## BIOGRAFIA DO DISCENTE

Luiz Octávio Gonzales Ferreira, nascido na cidade de Bela Vista, Estado do Mato Grosso do Sul, em 18 de agosto de 1993.

Em 2011 ingressou na Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, onde graduou-se no curso de Ciências Biológicas em dezembro de 2014.

Em março de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, nível de Mestrado, na área de conhecimento de ciências ambientais, com foco em prospecção de produtos naturais com ênfase no controle de pragas agrícolas com a utilização de óleos essências, pela Universidade Anhanguera-Uniderp, concluindo-o em março de 2017, com o título: Óleo essencial de *Pluchea sagittalis*: influencia comportamental e ação inseticida sobre *Sitophilus zeamais*, sendo bolsista CAPES.

Em março de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, nível de Doutorado, na área de concentração em Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável do Pantanal e do Cerrado e a Linha de pesquisa Sociedade, Ambiente e Desenvolvimento Regional Sustentável, com foco prospecção de produtos naturais no controle de pragas agrícolas com a utilização de óleos essenciais, concluindo-o em fevereiro de 2022, com bolsa da CAPES. Além das disciplinas obrigatórias e eletivas, participou de disciplinas complementares do Programa de Pós-Graduação, sendo elas Métodos de bioensaios com insetos e de óleo essenciais.

Em relação a capacitação participou de eventos como o Curso de coleta, conservação de sementes, produção de mudas, estratégias de restauração ecológica nos biomas Pantanal e Cerrado; II Seminário Estadual sobre Agrotóxicos em Mato Grosso do Sul; Workshop de Divulgação do Programa Centelha-MS, 71<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência; 20º Workshop On-Line de Plantas Medicinais de Mato Grosso do Sul; II Curso de capacitação sobre Plantas Medicinais: uso, cuidados e pesquisas. Participou de cursos de formação continuada como Alfabetização: Estratégias e ferramentas para o ensino remoto, Práticas Pedagógicas e Legislação, Práticas Educacionais no Contexto Atual, Educação Híbrida, Anos Iniciais e o uso de Projetos, A linguagem e a escrita nos anos iniciais, Fundamentos da Educação

Especial, Metodologias no Planejamento Escolar.

Estive presente em eventos científicos com produção e coprodução realizando o envio de resumos expandidos em entomologia e educação como:

- **21º Encontro de Atividades Científicas - EAC-Kroton**
  - 2018 - Proposta de inserção da educação ambiental no ensino regular através das tecnologias da informação;
  - 2018 - Utilização de óleo essencial das folhas de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urocam* no controle da lagarta *Chrysodeixis includens*;
  - 2018 - Controle de *Chrysodeixis includens* com a utilização de óleos essenciais das folhas de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urocam*.
- **22º Encontro de Atividades Científicas - EAC-Kroton**
  - 2019 - Avaliação do potencial inseticida dos óleos essenciais de *Eucalyptus grancam* e *Eucalyptus torelliodora* sobre larvas de *Spodoptera frugiperda*;
  - 2019 - Efeito de diferentes tratamentos na germinação de sementes de jenipapo;
- **23º Encontro de Atividades Científicas - EAC-Kroton**
  - 2020 - Efeito do óleo essencial de *Pluchea sagittalis* (Asteraceae) no controle da lagarta do cartucho do milho;
  - 2020 - O impacto da lei estadual nº 5.237/2018 para a conservação da área verde da região do Prosa em Campo Grande, Mato Grosso do Sul.
- **24º Encontro de Atividades Científicas - EAC-Kroton**
  - 2021 - Zoneamento Agroecológico e Geomorfológico do município de Bela Vista – MS;
  - 2021 - Levantamento de tipos de solos e análise do uso e ocupação da área do município de Bela Vista – MS;
- **10º Seminário de Iniciação Científica | 1º Seminário de Pesquisa e Pós-Graduação Stricto Sensu**
  - 2019 - Caracterização química de extrato etanólico das folhas de *Niedenzuella multiglandulosa*.
- **11º Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica | 2º Seminário de Pesquisa e Pós-Graduação Stricto Sensu**
  - 2020 - Efeito de óleos essenciais no controle de larvas de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (lepidoptera: noctuidae).

**- 12º Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica | 3º Seminário de Pesquisa e Pós-Graduação *Stricto Sensu***

- 2021 - Análise multitemporal dos anos de 2002 e 2015 na bacia hidrográfica do Imbirussu em Campo Grande – MS

**- VII Simpósio Plantas Medicinais do Vale do São Francisco**

- 2019 - Ação inseticida do óleo essencial das folhas de *Lippia gracilis* schauer (Verbenaceae) e de seu componente majoritário no controle de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Noctuidae)

**- 10º Simpósio Brasileiro de Óleos Essenciais**

- 2019 - Potencial inseticida do óleo essencial das folhas de *Ocimum gratissimum* L. e de seu componente majoritário no controle de *Spodoptera frugiperda* (SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)

Além disso, participei da condução de aulas práticas e teóricas das disciplinas de Morfologia Vegetal, Sistemática Vegetal e Biologia Celular, do curso de Agronomia da Universidade Anhanguera – Uniderp, sob a supervisão da professora Eloty Justina Dias Schleider.

Nos Cursos de graduação, Agronomia e Ciências Biológicas, fiz parte da banca de TCC avaliando os seguintes trabalhos:

**- Graduação em Agronomia - Universidade Anhanguera – Uniderp**

- 2018 - Tratamentos contra nematoides na cultura da soja.
- 2018 - Comportamento de acessos e híbridos de *Brachiaria* a diferentes níveis de acidez em um Latossolo do Cerrado;
- 2018 - Plantio direto na cultura da soja;
- 2018 - Sequestro de carbono na agricultura sobre o sistema de plantio direto;
- 2018 - Técnicas Agronômicas com uso de veículos aéreos não tripulados;
- 2018 - O uso de inoculantes na cultura da soja;
- 2018 - Tolerância de genótipos de *Panicum maximum* jacq. ao alagamento no solo;

- 2019 - Percevejo marrom na cultura da soja;
- 2019 - Rotação e culturas e incidência de pragas e doenças em lavouras;
- 2019 - Danos causados pelo percevejo barriga verde (*Dichelops melacanthus*) (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) em culturas de sucessão a

cultura da soja;

- 2019 - Manejo integrado de lagartas *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea* na cultura do milho;
- 2019 - Equilíbrio fisiológico das plantas e seu efeito no desenvolvimento de pragas e doenças;
- 2019 - Controle biológico de pragas da soja.
- **Graduação em Ciências Biológicas - Universidade Anhanguera – Uniderp**

- 2019 - Plantas medicinais do Mato Grosso do Sul para tratamento de helmintos;
- 2019 - Uso da biodiversidade para educação científica de jovens em idade escolar.

## SUMÁRIO

<b>1. Resumo Geral.....</b>	12
<b>2. General Summary.....</b>	14
<b>3. Introdução Geral.....</b>	16
<b>4. Revisão de Literatura.....</b>	19
<b>5. Referências Bibliográficas.....</b>	51
<b>6. Artigos</b>	
<b>Artigo I.....</b>	74
<b>Caracterização química e avaliação do potencial inseticida dos óleos essenciais de <i>Eucalyptus grancam</i>, <i>Eucalyptus urocam</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> (Myrtaceae) em <i>Chrysodeixis includens</i> (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) .....</b>	74
<b>Resumo.....</b>	74
<b>Abstract.....</b>	75
<b>Introdução.....</b>	76
<b>Material e Métodos.....</b>	78
<b>Resultados e Discussão.....</b>	82
<b>Conclusão.....</b>	91
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	92
<b>Artigo II.....</b>	98
<b>Ação inseticida de compostos monoterpenóides isolados sobre <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith, 1797) (Noctuidae).....</b>	98
<b>Resumo.....</b>	98
<b>Abstract.....</b>	99
<b>Introdução.....</b>	100
<b>Material e Métodos.....</b>	102
<b>Resultados e Discussão.....</b>	104
<b>Conclusão.....</b>	108
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	109
<b>Artigo III.....</b>	116
<b>Caracterização química do óleo essencial das folhas <i>Helietta apiculata</i> Benth (Rutaceae), coletadas em área de Cerrado no município de Jardim, Mato Grosso do Sul .....</b>	116
<b>Resumo.....</b>	116

<b>Abstract.....</b>	117
<b>Introdução.....</b>	118
<b>Material e Métodos.....</b>	120
<b>Resultados e Discussão.....</b>	122
<b>Conclusão.....</b>	129
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	130
<b>7. Conclusão Geral.....</b>	133

## 1. Resumo Geral

Os inseticidas químicos sintéticos, quando mal manejados, acarretam impactos ao meio ambiente e na saúde humana, em especial os usados no controle de *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) e a *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), por atacarem as duas culturas de maior área plantada, soja e milho, no país. Com a finalidade de mitigar estes impactos óleos essenciais (OEs) de plantas e seus componentes (EOCs) podem ser uma alternativa promissora e segura para o controle de insetos-praga o que contempla a linha de pesquisa Sociedade, Ambiente e Desenvolvimento Regional Sustentável e tem como objetivo realizar a caracterização química de óleos essenciais de plantas exóticas e nativa com potencial no controle sustentável de pragas agrícolas. Para alcançar estes objetivos a tese foi dividida em três artigos. No Artigo I “Caracterização química e avaliação do potencial inseticida dos óleos essenciais de *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) em *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Noctuidae)”: As folhas das três espécies, foram coletadas no período matutino, fevereiro de 2017, na área experimental da Universidade, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Os óleos foram extraídos por sistema de hidrodestilação em aparelho de Clevenger e submetidos à análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM). Os insetos de *C. includens* foram obtidos da criação do laboratório de Pesquisa em Entomologia da Universidade. Os bioensaios de toxicidade, exposição por aplicação tópica ( $DL_{50}$  e  $DL_{90}$ ) e exposição em superfície de contato ( $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ ) foram realizados em ambiente de laboratório. A caracterização química dos óleos reconheceu 23 compostos para *E. grancam*, 18 compostos *E. urocam* e 29 compostos para *E. urophylla*. Dos três óleos o mais tóxico foi *E. grancam* em relação aos os óleos de *E. urocam* e *E. urophylla* que apresentaram toxicidade semelhante. No Artigo II “Efeito de compostos monoterpenóides isolados sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Noctuidae)”, os compostos mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol foram adquiridos através da empresa Sigma-Aldrich® Merck., e nos bioensaios de toxicidade, exposição por aplicação tópica e exposição em superfície de contato com os insetos criados no Laboratório de Pesquisas os compostos que tiveram maior destaque com respostas homogêneas foram o mentol para a dose letal e o  $\alpha$ -pineno para a concentração

letal. No Artigo III “Caracterização química do óleo essencial das folhas *Helietta apiculata* Benth (Rutaceae) e potencial inseticida”, o óleo essencial das folhas de *H. apiculata*, coletadas no período matutino, fevereiro de 2019, em Jardim – MS, foi extraído pelo sistema de hidrodestilação utilizando o aparelho de Clevenger e submetido à análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM). Dos 96 compostos detectados foi identificados 59 compostos e no screening com larvas de *C. includens* demonstrou potencial inseticida. Conlui-se que os OEs e os monoterpenóides isolados, demonstraram potencial inseticida para o controle de insetos praga, podem ser prospectados como futuros inseticidas botânicos e têm potencial para ser uma alternativa afim de diminuir ou evitar a utilização constante de inseticidas químicos sintéticos.

**Palavras-chave:** Produtos Naturais; Inseticidas Botânicos; Óleos essenciais; Controle Sustentável; Lagarta falsa medideira; Lagarta do cartucho do milho.

## 2. General Summary

Synthetic chemical insecticides, when mishandled, cause impacts to the environment and human health, especially those used to control *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), for attacking the two crops with the largest planted area, soybean and corn, in the country. In order to mitigate these impacts essential oils (EOs) of plants and their components (EOCs) can be a promising and safe alternative for the control of insect pests, which includes the line of research Society, Environment and Sustainable Regional Development and has with the objective to carry out the chemical characterization of essential oils from exotic and native plants with potential in the sustainable control of agricultural pests. To achieve these objectives, the thesis was divided into three articles. In Article I "Chemical characterization and evaluation of the insecticidal potential of the essential oils of *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* and *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) in *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Noctuidae)": The leaves of the three species were collected in the morning, February 2017, in the experimental area of the University, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. The oils were extracted by hydrodistillation system in a Clevenger apparatus and submitted to analysis by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). *C. includens* insects were obtained from the creation of the University's Entomology Research laboratory. Toxicity, exposure by topical application (LD<sub>50</sub> and LD<sub>90</sub>) and exposure on contact surface (LC<sub>50</sub> and LC<sub>90</sub>) were performed in a laboratory environment. The chemical characterization of the oils recognized 23 compounds for *E. grancam*, 18 compounds for *E. urocam* and 29 compounds for *E. urophylla*. Of the three oils, the most toxic was *E. grancam* in relation to the oils of *E. urocam* and *E. urophylla* that showed similar toxicity. In Article II "Effect of isolated monoterpenoid compounds on *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Noctuidae)", the compounds menthol,  $\alpha$ -pinene, linalool and thymol were acquired through the company Sigma-Aldrich® Merck., and in the toxicity bioassays, exposure by topical application and exposure on contact surface with insects created in the Research Laboratory, the compounds that stood out with homogeneous responses were menthol for the lethal dose and  $\alpha$ -pinene for the lethal concentration. In Article III "Chemical characterization of the essential oil of the leaves *Helietta apiculata* Benth (Rutaceae) and insecticidal

potential", the essential oil of the leaves of *H. apiculata*, collected in the morning period, February 2019, in Jardim - MS, was extracted by the system hydrodistillation using the Clevenger apparatus and subjected to analysis by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). Of the 96 compounds detected, 59 compounds were identified and the screening with *C. includens* larvae showed insecticidal potential. It is concluded that the EOs and the isolated monoterpenoids, demonstrated insecticidal potential for the control of pest insects, can be prospected as future botanical insecticides and have the potential to be an alternative in order to reduce or avoid the constant use of synthetic chemical insecticides.

**Keywords:** Natural products; Botanical Insecticides; Essential oils; Sustainable Control; Soybean looper; Fall armyworm.

### 3. Introdução Geral

Com o intenso crescimento populacional humano, tornou-se necessário o aumento da produção agrícola para atender à demanda mundial por alimentos, o que fez o setor agrícola destacar-se como importante atividade na economia global. Nesse contexto o Brasil destaca-se na produção de soja e milho com a produção de grãos e a estimativa para safra de 2021/2022 para as culturas seja de 140.499,6 e 112.901,9 milhões de toneladas respectivamente (CONAB, 2022).

Contudo, essas culturas agrícolas sofrem com redução na produção em decorrência de doenças e ataque de inúmeras pragas. Entre esses problemas destacam-se o ataque das lagartas *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) conhecida popularmente como lagarta falsa medideira e *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a lagarta do cartucho do milho, que são insetos que apresentam comportamento alimentar polífago, dessa forma atacando outras plantas de interesse comercial, o que dificulta seu controle (BOAVENTURA *et al.*, 2020; SPECHT *et al.*, 2015).

O controle desses insetos praga são feitos principalmente com a utilização de inseticidas químicos sintéticos, em decorrência da fácil aquisição e manejo, porém nem sempre eficientes, ocasionado a seleção de insetos resistentes. Levando a utilização de doses mais altas e ao aumento de aplicações para a obtenção de resultados satisfatórios. Porém essa constante utilização provoca diversos problemas como: intoxicação aos aplicadores, contaminação ambiental, acúmulo de resíduos tóxicos, redução de inimigos naturais, fatores esses que contribuem para o crescimento populacional e para o aumento de custos na produção.

Dessa forma a busca por um ambiente equilibrado e alimentos com menor taxa de resíduos, faz com que a demanda de pesquisas com pretensão por inseticidas mais seguros vem crescendo. Como o uso de produtos à base de plantas, como os óleos essenciais, que possuem maior destaque por serem produtos bio e termo degradáveis, assim com baixo efeito residual e com consequentemente uma taxa reduzida de seleção de indivíduos resistentes.

O Brasil em sua extensa área territorial possui diversidade de espécies de plantas com potencial inseticida, logo o Cerrado brasileiro tem destaque por ser um bioma com uma grande variedade de espécies nativas e exóticas.

Dentre as espécies exóticas encontradas no Cerrado estão as pertencentes ao gênero *Eucalyptus* (Myrtaceae), utilizadas comumente para a produção de madeira, papel, celulose e ricas em óleos essenciais, esses que apresentam potencial inseticida para o controle de pragas agrícolas.

A espécie nativa *Helietta apiculata* Benth (Rutaceae), também é encontrada em área de Cerrado, sendo uma espécie que se apresenta na forma de arvoretas ou árvores, arbustos e ramificados, que é rica em óleos essenciais (GÓMEZ-CALVARIO *et al.*, 2019; LORENZI, 2020).

Os inseticidas botânicos, como os óleos essenciais (OEs), misturas de compostos voláteis bioativos, geralmente consistem em terpenóides, sesquiterpenos, monoterpenos, fenilpropanóides, terpenos oxigenados e componentes aromáticos, como cetonas, ésteres e álcoois (ABDELATTI e HARTBAUER, 2020; HUANG *et al.*, 2020).

Além disso, os OEs e seus componentes (EOCs) têm potente atividade inseticida contra um amplo espectro de agrícolas pragas, agindo como inseticidas de contato, fumigantes, antialimentar e repelentes (LAQUALE *et al.*, 2018; WANZALA *et al.*, 2018; MUDRONČEKOVÁ *et al.*, 2019; ARENA *et al.*, 2020). Por essas características têm sido usados também na agricultura orgânica (KLEIN *et al.*, 2020).

Tendo em vista o que foi apresentado, o objetivou-se por meio desta pesquisa realizar a caracterização química de óleos essenciais de plantas exóticas e nativa e avaliar o potencial inseticida no controle sustentável de pragas agrícolas.

Como objetivos específicos:

- Determinar a composição química e avaliar o potencial inseticida dos óleos essenciais de *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) e avaliar o potencial inseticida em larvas de terceiro instar de *Chrysodeixis includens* (WALKER, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) e relacionar com os constituintes químicos.
- Avaliar o efeito inseticida dos compostos majoritários isolados de óleos essenciais, mentol, α-pineno, linalol e timol, sobre larvas de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), em condições de laboratório.
- Determinar a composição química e avaliar o potencial inseticida do óleo essencial de *Helietta apiculata* em larvas de terceiro instar de *Chrysodeixis*

*includens* (WALKER, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) e relacionar com os constituintes químicos.

## 4. Revisão de Literatura

### 4.1 A produção de grãos no Brasil

Para atender a essa demanda por alimentos, a produção de grãos – sobretudo de milho e de soja – teve uma notável expansão e a *Food and Agricultural Organization of the United Nations* (FAO) e a *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD) descrevem que essa demanda por alimentos favoreceu a expansão agrícola no mundo. Nesse cenário, o Brasil desponta como liderança com maior produtor de soja, a maior fonte de proteína do mundo e o terceiro na produção de milhos sendo os principais fornecedores de *commodities* para suprir tal necessidade (FAO, 2015; CONAB, 2022).

No Sul do Brasil a cultura da soja encontrou condições adequadas para se desenvolver, devido às condições climáticas dos ecossistemas de origem das linhagens trazidas do sul dos Estados Unidos. Houve êxito a partir dos anos 1940, e na década de 1970 a soja já era uma das principais culturas do agronegócio nacional (EMBRAPA, 2000; DALL'AGNOL, 2016).

Com a sua alta capacidade de adaptação de cultivo da soja é baseada em pesquisas nos últimos 30 a 40 anos. Com o melhoramento genético e os avanços em biotecnologia se têm mais de 300% de ganho na produtividade, passando de 1000 quilos para 3300 quilos por hectare (PESKE, 2009; KRZYZANOWSKI *et al.*, 2012).

A soja, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, constitui-se parte das principais atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial, sendo que 82% dessa produção se concentram nos Estados Unidos, Brasil e Argentina (CELIK, 2015).

O Brasil é o maior exportador de soja e, segundo Lee *et al.* (2016), o aumento da produção de aves e suínos no mercado interno está conectado ao aumento da demanda nacional, mas a exportação ainda continua sendo o principal mercado.

O complexo da soja (grão, farelo e óleo) é o principal gerador de divisas cambiais no país, o aumento na produção é motivado pela alta dos preços internacionais a forte demanda interna e aumento da demanda exportadora. A produção de soja no Brasil vem atingindo recordes na produção: na safra 2019/20 foi calculada em 138,1 milhões de toneladas, ao passo que para a safra

2021/22, a estimativa inicial para a produção é de 140,4 milhões de toneladas, representando incremento de 1,67% em relação à safra passada. (CONAB, 2022).

A cultura e produção de milho são muito variados, desde a produção para subsistência, que é comum o plantio de milho consorciado com outras culturas, e as produções com altas tecnologias como rotação de culturas, plantio direto, a utilização de insumos, sementes melhoradas e maquinários eficientes, assim auxiliando na produção (EMBRAPA, 2004).

Os grãos de milho podem ser considerados como produtos indispensáveis na alimentação humana, pois está presente também através de seus subprodutos como óleo, farinha, ração, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais etc. Também seu consumo é imprescindível para a suinocultura e avicultura, dessa forma pode gerar rendimentos significativos para o pequeno e grande produtor rural (SILOTO, 2002; PEZARICO e RETORE, 2018).

No Brasil a cultura encontrou condições adequadas para se desenvolver, segundo dados do EMBRAPA (2004), o milho é cultivado praticamente em todo o território nacional, a safra de 2000/2001 era cultivada em uma área de 13 milhões de hectares com uma produção de 41,5 milhões de toneladas e uma produtividade de 3.272 kg/ha.

Com os avanços tecnológicos na produção agrícola a com dados da (CONAB, 2022) a estimativa para a safra 2021/22 é esperada uma produção total de 112,9 milhões de toneladas, cultivadas em uma área estimada de 20.943,7 mil há, com uma produtividade de 5.391 kg/ha.

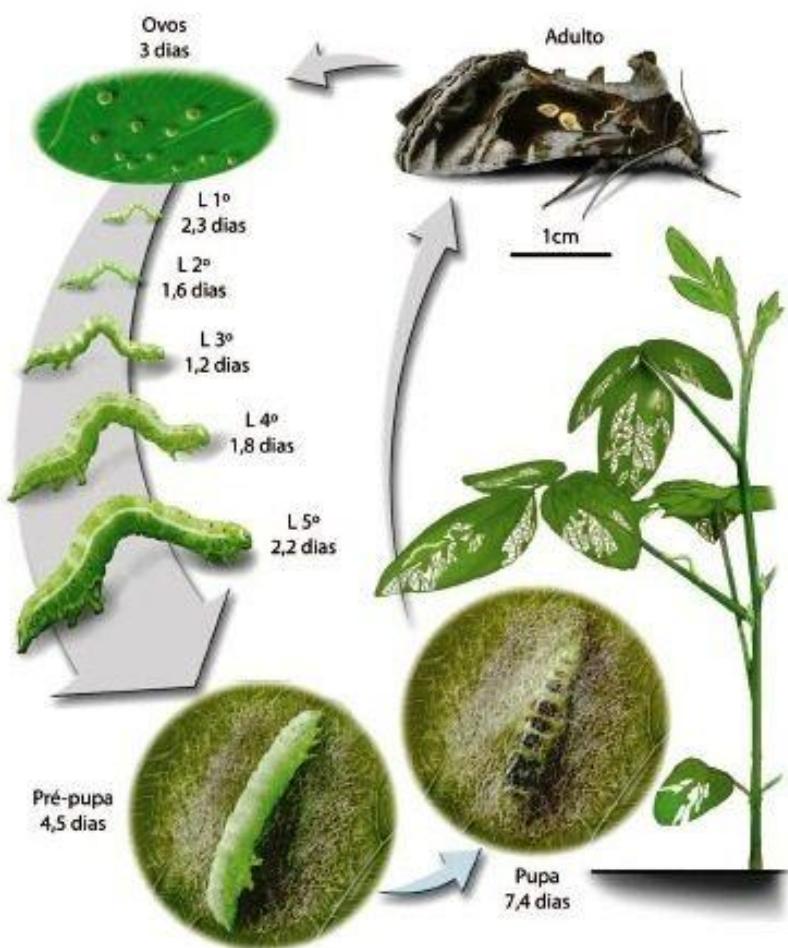
Porém durante todo o ciclo de produção da soja e do milho estão sujeitos aos ataques de insetos pragas como a lagarta falsa medideira *Chrysodeixis includens* (Walker) (Noctuidae) e lagarta do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) que causam perdas na produção em decorrência do ataque direto e indireto de pragas, por atuarem também como agente dispersor de vários patógenos.

#### **4.2 *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)**

A lagarta *C. includens* é conhecida popularmente como falsa medideira por se deslocar como que medindo palmos. Tem como sinônima *Pseudoplusia*

*includens* e apresenta capacidade de se desenvolver em 73 plantas hospedeiras no Brasil. Inicialmente, as lagartas falsas-medideiras foram observadas atacando feijão, repolho, quiabo, batata-doce, fumo e tomate, sendo estas plantas consideradas os hospedeiros mais frequentes da praga. Posteriormente, foi observado ataque também ao algodão e à soja (HERZOG, 1980).

*C. includens* é um inseto holometábolo (Figura 1), passando por ovo que são globulares e medem cerca de 0,5 mm de diâmetro e apresentam, logo após a oviposição, coloração creme-clara e marrom-clara próximo à eclosão. O desenvolvimento embrionário se completa em torno de 2,5 dias (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2014; AGROLINK, 2021).



**Figura 1.** Ciclo de desenvolvimento de *Chrysodeixis includens*.

**Fonte:** Greene *et al.* (1973); Vázquez (1988).

As lagartas que eclodem são de coloração verde-clara, com listras longitudinais brancas e pontuações pretas; a fase larval pode durar entre 14 e

20 dias e no seu último estágio larval pode atingir de 40 a 45 mm de comprimento e a transformação para a fase de pupa ocorre sob uma teia, em geral, na face ventral das folhas (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2014; AGROLINK, 2021).

As pupas têm coloração amarelo-pálida para verde-clara no início do desenvolvimento, com pigmentação dorsal irregular até 48 horas antes da emergência, esse período pode durar de 7 a 9 dias até a emergência dos adultos. Quando as lagartas se alimentam apenas de folhas vão originar pupas verde-escuras (AGROLINK, 2021).

Os adultos apresentam asas dispostas de forma inclinada, as mariposas recém emergidas apresentam manchas prateadas brilhantes na região central do primeiro par de asas, as fêmeas apresentam longevidade média de 15 a 18 dias e podem colocar até 600 ovos (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2014).

Possivelmente, as aplicações de fungicidas para o controle da ferrugem estejam contribuindo para a diminuição da incidência de fungos entomopatogênicos como o fungo o *Nomuraea rileyi*. As lagartas mortas por esse fungo apresentam coloração branca, com aspecto seco, mumificado (Figura 2), e essa dinâmica mantinha as populações dos insetos em equilíbrio, tornando desnecessária a aplicação de medidas de controle (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2003).



**Figura 2.** Lagarta morta pelo ataque de *Nomuraea rileyi*. **Fonte:** (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2003).

Contudo, os principais obstáculos para os produtores rurais são os altos investimentos em equipamentos, altos custos na produção devido à dependência de insumos que não são encontrados dentro da propriedade e

necessitam de considerável recurso monetário para serem adquiridos (PEZARICO e RETORE, 2018).

De acordo com Inagaki (2018), o sistema produtivo de soja é baseado na intensa utilização de insumos, desde sementes, adubos, herbicidas, fungicidas e inseticidas. Essa prática de dependência é reflexo das mudanças na agricultura, influenciadas por diversos interesses que provocam alterações ambientais e sociais numa região, cuja finalidade é atender as necessidades econômicas exclusivamente capitalistas (SCHMITT, 2009).

No entanto, na busca por maior produtividade para exportação, o grão de soja chama atenção devido aos impactos ambientais relacionados ao seu cultivo, que resultam na deterioração do ambiente, esse que é o elemento essencial para o ciclo do desenvolvimento rural (MACIEL *et al.*, 2015).

Devido à lagarta possuir o hábito de permanecer na parte inferior das folhas, dificulta o contato com o produto fazendo com que sejam aplicadas doses maiores de inseticidas, diminuindo a ação dos inimigos naturais e causando o aparecimento de populações resistentes (CARVALHO *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2013).

O aparecimento de populações resistentes, além de não levar em consideração a seletividade dos agentes de controle biológico, induz ao aumento da poluição do ambiente, causam intoxicação aos aplicadores e deixam resíduos tóxicos nos alimentos (COITINHO *et al.* 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2007; TOSCANO *et al.*, 2012).

As alterações comportamentais em relação à resistência de pragas aos inseticidas sintéticos envolvem o mecanismo de evolução da resistência da praga, comportamento que deve ser compreendido para que haja tomadas de decisão coerente com relação ao manejo de resistência de pragas (BECKEL *et al.*, 2005).

#### **4.3 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**

Dentre os diversos fatores que afetam a produção agrícola do milho, é possível destacar o ataque de pragas, principalmente o ataque da lagarta do cartucho a *Spodoptera frugiperda* (CRUZ, 2012).

De acordo com Cruz (1995), a lagarta do cartucho foi descrita como praga do milho em 1797, Geórgia, Estados Unidos da América do Norte. Sua primeira

descrição foi com o nome de *Phalaena frugiperda* (SIMMONS e WISEMAN, 1993), posteriormente recebeu outras designações, tais como *Trigophora frugiperda*, *Prodenia autumnalis*, *Laphygma frugiperda*, entre outras (SILVA, 1995). Porém segundo Simmons e Wiseman (1993) descrevem que muitos autores atribuíram erroneamente a autoria taxonômica da lagarta-do-cartucho a Smith e Abbot, no entanto, o prefácio da publicação, bem como as notas de Abbot, indicam que Smith é o único autor taxonômico, assim sendo a atual denominação da espécie sendo *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797), o primeiro grande surto populacional registrado ocorreu em 1899, na região leste das montanhas Rochosas nos Estados Unidos, causando danos as culturas milho, feijão, sorgo e trigo (SILVA, 1995).

No ano de 1902 cerca de 40.000 acres de pastagem no Texas foram danificados pelo ataque desse inseto, houve danos também em culturas de aveia e algodão. Nos Estados Unidos, Colômbia, Venezuela, Guatemala, México, Peru e Chile é considerada a principal praga de milho, pastagem e amendoim (CRUZ, 1995).

Este inseto apresenta hábito polífago, ou seja, ataca diversas culturas além do milho, como a soja, algodão, feijão, alface entre outras culturas, ela é encontrada em diversos estados do Brasil, pois seu ciclo de vida é favorecido pelas condições climáticas e pela disponibilidade e diversificação de plantas hospedeiras o ano todo (CRUZ, 2012).

Este inseto é frequente desde a emergência da plântula até a formação da espiga e enchimento dos grãos, os danos causados pela lagarta-do-cartucho dependem do estágio de Desenvolvimento que a planta se encontra, até os primeiros 30 dias de desenvolvimento da cultura os prejuízos podem chegar a 15%, e no período de florescimento podem ultrapassar 30% (BARROS, 2012).

O desenvolvimento da *S. frugiperda* é do tipo holometabólico, assim compreende as fases de ovo, larva, pupa e adultos (Figura 3). Na fase adulta, as mariposas têm 35mm de envergadura e o corpo com cerca de 15mm, de coloração acinzentada. As asas anteriores dos indivíduos machos possuem manchas mais claras, assim diferenciando-se das fêmeas. As asas posteriores de ambos os sexos são de coloração clara, circundadas com linhas marrons (CRUZ, 1995).

As mariposas depositam seus ovos durante as primeiras horas da noite: os ovos são postos em massas, o número de ovos em cada pode variar de 8 a mais de 500, com coloração verde clara, na parte inferior das folhas e são cobertos por uma secreção produzida pelo aparato bucal e por escamas do corpo da fêmea, as mariposas podem ovipositar cerca de 1.500 a 2.000 ovos durante o seu ciclo de vida (PÉREZ *et al.*, 1997; SPARKS, 1979).

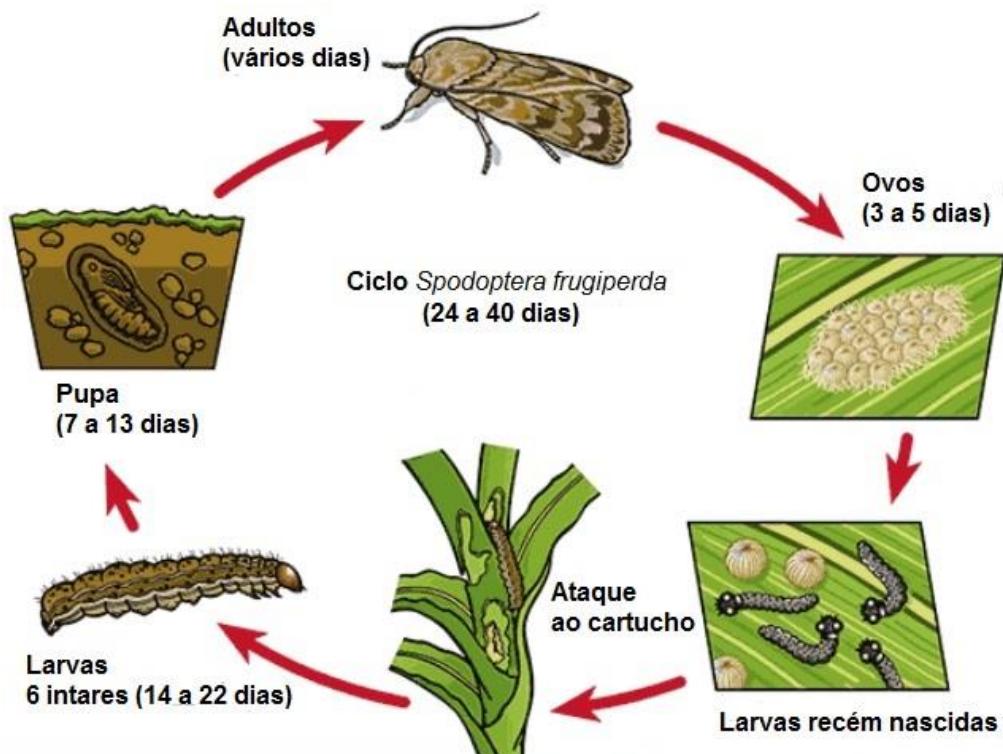
O período de incubação dos ovos varia de 3 a 5 dias, e esse tempo sofre influência da temperatura; após a eclosão dos ovos as larvas alimentam-se do córion, a casca do ovo, e, posteriormente, se dispersam em busca de alimento, utilizando um fio tecido pela própria lagarta; essa habilidade de tecer esse fio é perdida geralmente no primeiro instar (CRUZ, 1995; GALLO *et al.*, 2002).

As larvas de *S. frugiperda*, passam por seis instares, sendo que nos dois primeiros elas se alimentam raspando as folhas, provocando o sintoma conhecido como "folhas raspadas"; à medida que as larvas crescem, começam a causar orifícios nas folhas; no terceiro instar, elas se encaminham ao cartucho do milho onde causam os maiores danos à planta (SILVA, 1995).

De acordo com ZUCCHI *et al.* (1993), a lagarta apresenta coloração variando de cinza pardo-escura, verde até quase preta e contém uma faixa dorsal com pináculos pretos (base das cerdas) ao longo do corpo; possui cinco pares de falsas pernas e com um característico Y invertido na parte frontal da cabeça (BARROS, 2012). Devido ao comportamento canibalista é comum encontrar apenas um indivíduo no cartucho do milho; o período larval dura de 12 a 30 dias e no final desse período as larvas podem chegar a 50mm de comprimento (GALLO *et al.*, 2002). Após esse período, as larvas se encaminham para o solo, onde transformam-se em pupas de coloração castanho avermelhada, medindo cerca de 15mm de comprimento, ficando em média entre 2 e 8cm de profundidade no solo. Essa profundidade, porém, varia em decorrência da textura do solo. O período de pupa varia de oito dias no verão e de 25 no inverno (CAPINERA, 2003; CRUZ, 1995).

Segundo Clavijo *et al.* (1992), a temperatura do ambiente é um fator de grande importância de influência no ciclo de desenvolvimento do inseto, em todas as suas fases, visto que ele pode suportar temperaturas entre 16 e 34°C. Porém, o sucesso de desenvolvimento e a capacidade reprodutiva são mais favorecidos em temperaturas entre 20 e 30°C, podendo ocorrer até 12 gerações

da praga por ano. Assim, a duração do ciclo está relacionada às condições climáticas, podendo ser diminuída ou aumentada a fim de preservar a espécie (CRUZ, 1995).



**Figura 3.** Ciclo biológico de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797), (Lepidoptera: Noctuidae) (CESAVEG, 2015).

Para o controle da *S. frugiperda*, são utilizadas várias estratégias, como: o plantio de cultivares resistentes, feromônios, inimigos naturais, rotação de culturas, inseticidas químicos e biológicos com base em *Bacillus thuringiensis*, culturas armadilhas e extratos botânicos (PEREIRA *et al.*, 2004; SAITO, 2004; MEDEIROS *et al.*, 2005; MARTINAZZO *et al.*, 2007).

#### 4.4 Controle de pragas e problemas fitossanitários com uso de inseticidas químicos sintéticos

A utilização de inseticidas químicos sintéticos são os agentes primários utilizados no controle desses insetos (ZHANG, *et al.*, 2015; WANGEN *et al.*, 2015).

Os inseticidas que são empregados no controle de insetos praga são classificados de acordo com o grupo de compostos químicos sendo quatro

grupos químicos principais, sendo os organofosforados, carbamatos, organoclorados e piretróides (PERES e MOREIRA, 2003).

O Brasil buscando atender a grande demanda na produção da agroindústria, está desde 2008 entre os maiores consumidores de agrotóxicos no mundo, fator relacionado aos grandes avanços na produção de *commodities* (INCA, 2021).

Com a excessiva utilização de inseticidas sintéticos promovidos pelo manejo e eficiência, mas com o uso intenso e indiscriminado, surgem diversos problemas como: seleção de insetos resistentes, intoxicação aos aplicadores, acúmulo de resíduos tóxicos, contaminação do ambiente e aumento de custos na produção (COITINHO *et al.*, 2006; RESTELLO *et al.*, 2009).

O aparecimento de populações resistentes, além de não levar em consideração a seletividade dos agentes de controle biológico, induz ao aumento da poluição do ambiente, causam intoxicação aos aplicadores e deixam resíduos tóxicos nos alimentos (COITINHO *et al.* 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2007; TOSCANO *et al.*, 2012).

Para o controle das populações resistentes são necessárias doses mais elevadas por um período prolongado (MARTINAZZO *et al.*, 2000). São três os mecanismos de resistência dos insetos aos inseticidas: redução da penetração do inseticida pela cutícula; redução da sensibilidade ao sítio de ligação do sistema nervoso; e detoxificação ou metabolização do inseticida por enzimas. A resistência das pragas aos inseticidas é exemplo da microevolução de espécies em curto intervalo de tempo, uma vez que esses produtos selecionam os genomas previamente existentes que codificam organismos mais resistentes (LORINI, 1999).

Adicionam-se a esses fatores, a preocupação dos consumidores em relação à conservação ambiental e à qualidade dos alimentos. Esse quadro de pressões deletérias, combinado ao alerta ambiental, tem impulsionado pesquisas na busca por formas de controle menos impactantes dessa lagarta. Essa demanda por produção ambientalmente sustentável estimula a busca por produtos vegetais, como extratos e óleos essenciais e seus constituintes. Assim, os óleos essenciais apresentam-se como alternativa viável, especialmente se integrados a outros métodos de controle (CAVALCANTE *et al.*, 2006; ISMAN, 2006; COITINHO *et al.*, 2010), por apresentarem rápida degradação, baixa

toxicidade comparativa para mamíferos e aves, além de custos mais baixos do que produtos sintéticos (ROEL *et al.*, 2000; MOREIRA *et al.*, 2005; COITINHO *et al.*, 2010).

#### **4.4 Plantas inseticidas, óleos essenciais e terpenos para o controle de lepidópteros**

Propriedades inseticidas foram demonstradas para diferentes famílias de plantas, em especial as aromáticas que produzem os óleos essenciais (OE): Apiaceae, Asteraceae, Cupressaceae, Fabaceae, Hypericaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Liliaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Mytisticaceae, Oleaceae, Pinaceae, Piperaceae, Rosaceae e Rutaceae (SIMÕES *et al.*, 2017; BARATA *et al.*, 2011).

As plantas utilizadas para extração de óleo essencial, em geral, são herbáceas. Para as plantas arbóreas, as espécies conhecidas são as exóticas, tais como como o eucalipto e o nim (*Azadirachta indica*) (KOLANI *et al.*, 2016; FILOMENO *et al.*, 2017).

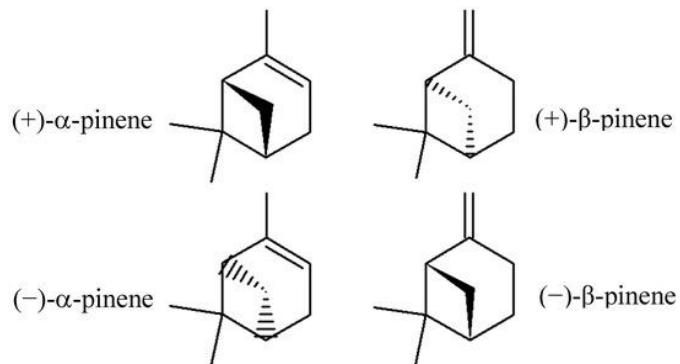
Os óleos essenciais são conhecidos por serem substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas em temperatura ambiente com aspecto oleoso, possuem aroma agradável e forte na maioria de seus representantes (VITTI e BRITO, 2003).

Conforme Vitti e Brito (2003), os óleos essenciais são produzidos em estruturas especializadas como: pelos glandulares, células parenquimáticas modificadas, canais oleíferos ou bolsas específicas, e podem estar localizados em partes peculiares ou na planta toda.

Os óleos essenciais podem conter uma vasta variedade de compostos químicos como: terpenóides, sesquiterpenos, monoterpenos, fenilpropanóides, terpenos oxigenados, hidrocarbonetos terpênicos, alcoóis simples e terpênicos, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas e até mesmo compostos com enxofre. Dentre essas substâncias, destacam-se os terpenóides, devido à grande variedade estrutural (ABDELATTI e HARTBAUER, 2020; HUANG *et al.*, 2020; SIMÕES *et al.*, 2017).

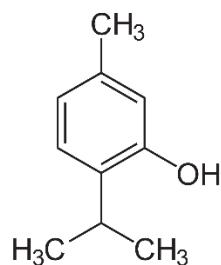
De acordo com Bakkali *et al.* (2008), a maior classe de metabolitos secundários é composta por terpenos, como o  $\alpha$ -pineno (Figura 4), que

apresentam propriedades antibacteriana, antifúngica e inseticida. Os óleos essenciais podem atingir o sistema nervoso dos insetos, inibirem a acetilcolinesterase ou serem antagonista dos receptores de octopamina (ENAN, 2001).



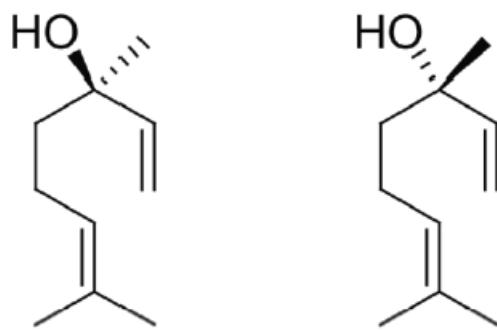
**Figura 4.** Fórmulas estruturais dos enantiômeros  $\alpha$ -pineno e  $\beta$ -pineno. Fonte: Silva *et al.* (2012).

O timol (Figura 5), composto terpênico majoritário do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris* L.), possui registro na United States Environmental Protection Agency (EPA) como ingrediente ativo de produtos pesticidas com ação repelente. Pesquisas realizadas com a utilização deste óleo apresentaram potencial inseticida sobre *S. frugiperda* (CASTRO *et al.*, 2006; NOGUEIRA, 2015).



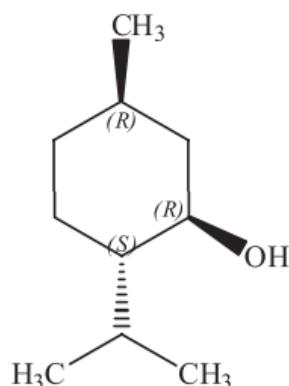
**Figura 5.** Fórmula estrutural timol. Fonte: Peixoto *et al.* (2010).

De acordo com Sertkaya *et al.* (2010), monoterpenos como o linalol (Figura 6), possuem atividade inseticida, por inibirem a atividade da enzima acetilcolinesterase. O linalol e  $\alpha$ -pineno, muito presentes em óleos de eucalipto (*Eucalyptus* spp.), possuem um largo espectro de atividade biológica, sendo fungicida, inseticida, herbicidas e acaricidas, por exemplo (LIU *et al.*, 2008; SAMPAIO *et al.*, 2017).



**Figura 6.** Estruturas químicas do (-)-Linalol e (+)-Linalol. Fonte: Camargo e Vasconcelos (2014).

O mentol (Figura 7), originalmente extraído do óleo essencial de plantas do gênero *Mentha*, é um terpeno que possui potencial inseticida. KUMAR *et al.* (2011) verificaram seu potencial larvicida e repelente sobre larvas e adultos de *Aedes aegypti*, verificando o excelente poder repelente deste óleo sobre esse inseto.



**Figura 7.** Estrutura química do mentol. Fonte: Braibante *et al.* (2014).

Os componentes dos óleos essenciais podem atuar como um agente antialimentar, assim fazendo com que os insetos não se alimentem e morram por inanição. Essas substâncias atuam através da ingestão, penetrando no organismo por via oral, restrita a herbívoros, assim se tornando uma forma específica de controle (MOREIRA *et al.*, 2007).

A maioria exibe baixa toxicidade para mamíferos e para o ambiente, com segurança para organismos não-alvo, por sua compatibilidade ambiental e resistência de baixo nível (KHANI e RAHDARI, 2012; ISMAN e GRIENEISEN, 2014; MARRONE, 2019) e até alguns foram aprovados como agentes aromatizantes em alimentos (RAJENDRAN e SRIRANJINI, 2008).

Os óleos essenciais e seus compostos podem afetar os insetos de várias formas, mas podem também indicar sintomas de ação neurotóxicas, agindo sobre o sistema nervoso dos insetos, comprometendo o transporte de íons e liberação de acetilcolinesterase (KOSTYUKOVSKY *et al.*, 2002).

De acordo com Moreira *et al.* (2005), os efeitos causados nos insetos com a utilização de inseticidas botânicos são variáveis, podendo ser tóxico, repelente, causar esterilidade, alterar o comportamento, o desenvolvimento do inseto e reduzir sua alimentação.

Diversas pesquisas apresentam resultados para o controle de lepidópteros com a utilização de óleos essenciais e alguns extratos também. Lima *et al.* (2010) analisaram o efeito de mortalidade do óleo de *Ageratum conyzoides* L. para o controle de *S. frugiperda* com folhas de milho tratadas com o óleo.

Knaak *et al.* (2015) utilizaram óleos essenciais de *Zingiber officinale* Rosc., *Cymbopogon citratus* (DC.) Staf, *Artemisia absinthium* L. e *Ruta graveolens* L. sobre *S. frugiperda* e observaram que houve potencial de controle pela via de intoxicação aguda tópica e superfície de contato e a mudança comportamental do inseto pelo bioensaio de repelência e todos os óleos demonstraram ter potencial inseticida.

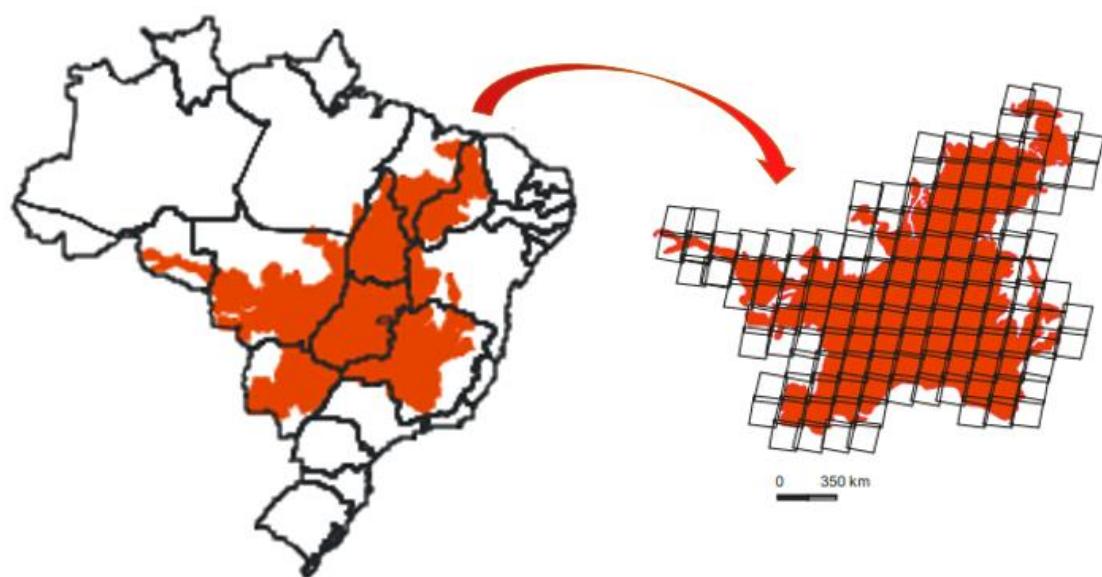
Cruz *et al.* (2016) determinaram as Doses Letais, LD<sub>50</sub> dos óleos essenciais de *Foeniculum vulgare* Mill. (5,04 mg/g), *Eucalyptus staigeriana* F. Muell. (3,20 mg/g), sendo o mais tóxico dos três óleos testados o de *Ocimum gratissimum* L. (1,52 mg/g). No bioensaio de alterações biológicas, todos os óleos apresentaram picos de mortalidade e, posteriormente, modificações na biologia, demonstrando seu potencial de uso para o controle de *S. frugiperda*.

Massaroli (2013) avaliou o potencial de extratos de *Annona mucosa* e *Annona crassiflora* inseticidas para o controle de *C. includens* e obteve resultados promissores para o controle desta praga em vários estágios de desenvolvimento.

Sanini *et al.* (2017) avaliaram o óleo essencial de *Piper aduncum* e foi tóxico para as lagartas do terceiro instar *C. includens*, por ingestão. Assim, os resultados se mostraram positivos no controle dessa praga, podendo reduzir assim, o uso de produtos químicos sintéticos.

#### 4.5 O Bioma Cerrado e a expansão das Florestas Plantadas

O bioma Cerrado possuía uma área original de 2,04 milhões de quilômetros quadrados, ou seja, aproximadamente 22% do território brasileiro, o que representa o segundo maior bioma do país (Figura 8). Esse bioma se encontra na parte central do Brasil, presente nos Estados de Goiás, Distrito Federal, e parte dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Tocantins, Maranhão, Piauí e Pará (SANO *et al.*, 2008; SANO e FERREIRA, 2005; KLINK e MACHADO, 2005; SHIKI, 1997).



**Figura 8.** Localização espacial do Bioma Cerrado no território brasileiro.

**Fonte:** Adaptação de Sano e Ferreira (2005).

No bioma Cerrado são encontrados cerca de um terço da biodiversidade brasileira e 5% da fauna e flora mundial, sendo considerada a savana mais diversificada do mundo de espécies e habitats (KLINK e MACHADO, 2005). De tal modo este bioma está na lista das 25 regiões (*hotspots*) prioritárias para investimentos em conservação, pois apresentam uma maior concentração de espécies endêmicas com maior perda de habitat. No Brasil, há dois desses hotspots: a Mata Atlântica e o Cerrado Brasileiro (MMA, 2000; MYERS *et al.*, 2000; HOGAN *et al.*, 2002; SAWYER, 2002; KLINK e MACHADO., 2005).

A história da ocupação do Cerrado destaca as pressões sofridas pela eliminação de grandes áreas de vegetação nativa, sendo substituídas principalmente por soja, café, algodão e milho. A prática de monoculturas trouxe

diversas mudanças, tanto na forma de utilização das terras, como nos desdobramentos e impactos socioeconômicos e ambientais (MESQUITA e LIMA, 2018).

Observa-se também que a silvicultura se implementou no bioma, visto que as características do clima tropical e subtropical facilitam o crescimento vegetativo de espécies como o eucalipto. A Industria Brasileira de Árvores, após mapear as áreas de cultivo do eucalipto no Brasil por estado, em seu relatório anual aponta que o eucalipto está presente em praticamente todos os estados inseridos no bioma Cerrado. A área plantada de eucalipto dentro do bioma chega a 4.751.412 de hectares (IBA, 2020).

Em Mato Grosso do Sul, a expansão das áreas de plantações de eucalipto está associada à crescente demanda por produtos oriundos dessa cultura como celulose, papel, bioenergia e madeira do eucalipto para as siderúrgicas o que levou a pesquisa por melhoramento genético em clones sendo alguns deles *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *C. citriodora*, *C. citriodora*, *C. maculata* e *C. torelliana* (BARATELLI, 2021; REIS *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021).

Além do valor comercial da madeira as folhas das diferentes espécies e clones do gênero *Eucalyptus* é reconhecido por serem ricas em óleos essenciais com uma diversidade de atividades biológicas atribuídas para o óleo e seus constituintes, em especial a atividade inseticida e de repelência no controle de diversos insetos (ALI, 2018; BETT *et al.*, 2017; DHAKAD *et al.*, 2018).

#### **4.6 O gênero *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) e seu potencial inseticida**

A família Myrtaceae são essencialmente distribuídas em regiões tropicais e subtropicais (Figura 9), ou seja, sua distribuição cobre as regiões tropicais da Austrália, Ásia e América além de ter baixa representatividade no continente Africano. Possui cerca de 145 gêneros e mais de 5.500 espécies descritas no mundo, sendo que no Brasil ocorrem 23 gêneros e aproximadamente 1030 espécies distribuídas na Floresta Atlântica, o Pampa, a Restinga e o Cerrado (ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP III, 2009; WILSON, 2011; SOUZA e LORENZI, 2012).



**Figura 9.** Mapa de registros de ocorrências da família Myrtaceae. **Fonte:** SIBBR (2020).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae é nativo da Austrália, onde cobre 90% da área florestal do país, formando densos maciços nativos. Por volta do ano de 1774, espécimes de eucaliptos começaram a ser plantados mundo afora, como Índia, África do Sul, Portugal, Espanha e Itália (ANDRADE, 1922).

Na América do Sul, possivelmente o primeiro país a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823, seguido pelo Uruguai em 1853 e, posteriormente, a Argentina em 1865. No Brasil existe certa dificuldade em determinar uma data da introdução da espécie no país: (i) há registro de plantio feito por Frederico de Albuquerque em Rio Grande do Sul, em 1868, por sementes vindas de Paris e (ii) registros apontam que sementes vindas de Montevidéu, por intermédio do deputado coronel Felipe de Oliveira Néri, foram plantadas no Rio Grande do Sul

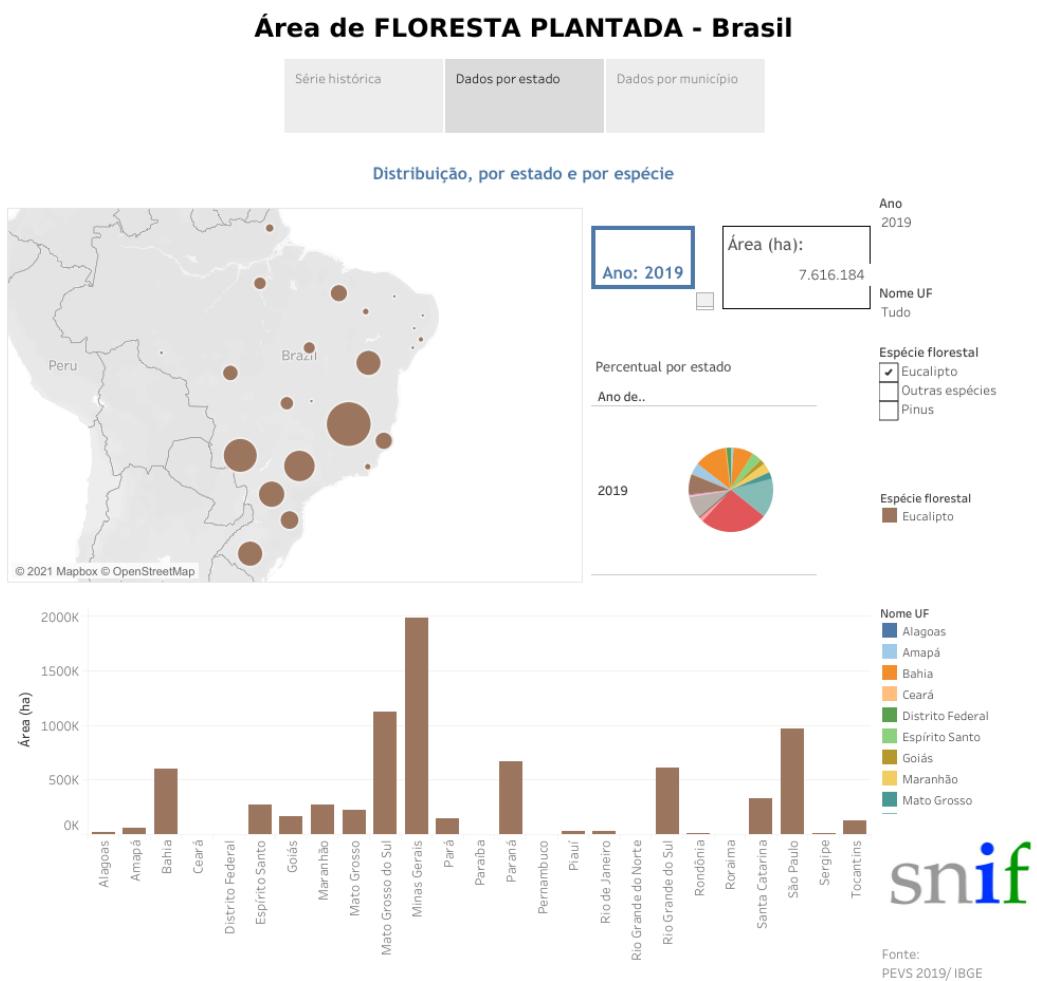
em 1865 (ANDRADE, 1922; MARTINI, 2004). No ano de 1868, o tenente Pereira da Cunha plantou alguns exemplares na Quinta da Boa Vista, no Rio de Janeiro. O acadêmico Osório Duque Estrada afirmou que, em 1875, na antiga propriedade de seu pai, havia exemplares pelo seu porte gigantesco, não deviam contar menos de 20 anos, o que faz recuar a data de sua introdução no Brasil para 1855 (ANDRADE, 1922; MARTINI, 2004).

No entanto, Rodrigues (1989), relata que o frei Leandro do Sacramento diretor do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, em seu *"Hortus Fluminensis"*, aponta o plantio de dois exemplares de *Eucalyptus gigantea* Dehnh., na parte posterior do jardim, essas arvores que constam no Catálogo das Plantas Cultivadas no Jardim Botânico.

Martini (2004), afirma que apesar da dificuldade de se ter uma data precisa da introdução do *Eucalipto* no país, há registros da introdução no Estado de São Paulo, no início de século XX. O eucalipto era plantado com finalidades paisagísticas que, somadas ao rápido desenvolvimento, o efeito quebra-vento e suas supostas propriedades sanitárias, foram marcantes para a expansão do cultivo no país. Entretanto, é apontado como um dos pioneiros no cultivo e utilização do *Eucalipto* em grande escala a Companhia Paulista de Estradas de Ferro do Estado de São Paulo para fins comerciais, como a busca por uma espécie com um excelente potencial para o fornecimento de carvão e utilização como dormentes em linhas férreas de bitola larga, ou seja, servindo como base para os trilhos.

Dessa forma, as espécies desse gênero são utilizadas como forma de oferta de madeira e outros produtos florestais, devido ao seu rápido crescimento e adaptação as condições edafoclimáticas existentes em diferentes regiões do país e apresentam ampla plasticidade de uso da madeira, assim diminuindo as pressões sobre as florestas nativas (STURION e BELLOTE, 2000; MARTINEZ *et al.*, 2012).

De acordo com a Industria Brasileira de Arvores (IBA, 2020), as áreas de floresta plantada no ano de 2019 chegaram a nove milhões de hectares, dos quais 77% dessa área, ou seja, 6,97 milhões de hectares eram ocupados por povoamentos de eucalipto (Figura 10). Estes são originados de sementes ou de propagação assexuada, formados em grandes e médias empresas e em pequenas propriedades rurais.



**Figura 10.** Mapa de registros de florestas plantadas de eucaliptos no Brasil.

**Fonte:** PEVS 2019/IBGE (2020).

O nome do gênero *Eucalyptus*, faz referência ao opérculo que cobre os órgãos reprodutores, esse opérculo que é formado por pétalas modificadas, logo a atração da flor ocorre devido a exuberância dos estamos e não as pétalas em si. Os frutos são lenhosos sendo do tipo baga ou cápsula, ligeiramente cônicos e possuem válvulas para dispersão de sementes, as flores e os frutos podem ser considerados os elementos mais característicos das espécies de *Eucalyptus*. Outras características do gênero é que possuem floema interno, canais oleíferos na forma de pequenos pontos translúcidos, presentes nas folhas (principalmente), flores, frutos e sementes (TUME, 2003).

Tume, (2003), descreve que as folhas são simples de borda inteira, opostas (nativas) ou alternas (na maioria dos gêneros *Eucalyptus*), peninérveas

e com nervura marginal (Figura 11). Contudo, existem particularidades em folhas de *Eucalyptus* spp., uma vez que muitas espécies apresentam dimorfismo foliar: quando jovens suas folhas são opostas, ovais a arredondadas e, ocasionalmente, sem pecíolo, e após um ou dois anos de crescimento, a maioria das espécies passa a apresentar folhas alternadas, de lanceoladas a falciformes e estreitas.

As espécies, clones e híbridos de eucalipto apresentam diferenças entre si, quanto aos estímulos ambientais e condições edafoclimáticas, assim servindo de base para avaliação da sua capacidade de adaptação e produção (FERREIRA *et al.*, 2017).

Segundo Ferreira (1992), as variações das espécies pertencentes ao gênero vão desde o tronco, tamanho e até as folhas, como algumas espécies apresentam casca lisa, rugosa ou fibrosa, de cor cinza ou castanha, alturas variando de 20 até 80 metros dependendo da espécie.

Andrade (1961), descreve que quase todas as espécies são ricas em óleos essenciais, em estudos realizados pelo Serviço Florestal da Companhia Paulista, identificaram duas espécies que possuem potencial de produção de óleos com finalidade comercial, sendo o *C. citriodora* e *E. globulos*, Os resultados obtidos foram que a cada 100kg de folhas frescas, produziam em média cerca de 1,5 a 2 kg de óleo, e também identificaram a presença dos compostos eucaliptol e citronelal, óleos que são utilizados para a fabricação de sabão e perfumaria.



**Figura 11.** Imagem das características botânicas do gênero *Eucalyptus spp.*

**Fonte:** Potencial Florestal (2019); Epaletes (2020).

No Brasil, a produção de eucalipto vem obtendo bons resultados, notadamente pelo manejo adequado composto pela combinação de melhoramento genético, técnicas de silvicultura intensiva adequadas, manejo do solo, combate a pragas e doenças (HIGASHI *et al.*, 2000).

Foi realizado um levantamento de dados com um recorte de artigos publicados de 2002 ao mais recente de 2016, sendo cinco espécies investigadas. As características botânicas de *Eucalyptus spp.*, uso popular, ocorrência, parte utilizada, classes de metabólitos secundários e substâncias isoladas, óleos essenciais e uso inseticida são apresentadas no quadro 1.

Chagas *et al.* (2002) descrevem que os óleos essenciais de *Eucalyptus spp.* são compostos principalmente por monoterpenos 1,8-cineol e eucaliptol, esses que são produzidos no metabolismo secundário das plantas, que podem

estar relacionados à defesa contra inseto herbívoros, resistência ao frio, e efeito alelopático e redução de água dependendo das condições ambientais, e os óleos essenciais são classificados em três categorias medicinal, industrial e aromática (VITTI e BRITO, 2003).

**Quadro 1.** Espécies de *Eucalyptus spp.* (Myrtaceae) cultivadas no Brasil. Local de ocorrência, parte utilizada, compostos identificados nos óleos essenciais, uso inseticida e referências consultadas

Local de Ocorrência	Parte utilizada	Óleos Essenciais	Potencial de ação	Referências
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn				
Lavras, Minas Gerais	Folhas	NI	Antifúngica	Salgado <i>et al.</i> (2003)
Antália, Turquia	Frutos secos	NI	Repelente	Erler <i>et al.</i> (2006)
<i>Corymbia citriodora</i> Hook				
Aquisição comercial	NR	- Identificados: rês compostos. - Majoritários: citronelal.	Acaricida em <i>Boophilus microplus</i>	Chagas <i>et al.</i> (2002)
Lavras, Minas Gerais	Folhas	NI	Antifúngica	Salgado <i>et al.</i> (2003)
Itatinga, São Paulo	Folhas	NI	Inseticida	Brito <i>et al.</i> (2006)
Aquisição comercial, São Paulo	Folhas	- Identificados: Seis compostos. - Majoritários: e $\beta$ -citronellal.	Inseticida	Maciel <i>et al.</i> (2010)
<i>Eucalyptus globulus</i>				
Aquisição comercial	NR	NI	Acaricida em <i>Boophilus microplus</i>	Chagas <i>et al.</i> (2002)
Itatinga, São Paulo	Folhas	NI	Inseticida	Brito <i>et al.</i> (2006)
Ichimaru Pharcos, Nagoya	Folhas secas	NI	Antioxidantes, anti-inflamatória anti-melanogênica	Hasegawa <i>et al.</i> (2008)
Aquisição comercial, São Paulo	NR	$\alpha$ -pineno, $\alpha$ -cimeno, (+)-limoneno, eucaliptol, $\gamma$ -terpineno	<i>in vitro</i> efeito anti-helmíntico	Macedo <i>et al.</i> (2009)
Aquisição comercial, São Paulo	Folhas	- Identificados: quatro compostos. Majoritários: 1,8-cineol.	Inseticida	Maciel <i>et al.</i> (2010)

<i>Eucalyptus staigeriana</i>				
Aquisição comercial	NR	- Identificados: sete compostos. - Majoritários: e 1,8-cineol e alfa-pineno.	Acaricida em <i>Boophilus microplus</i>	Chagas <i>et al.</i> (2002)
Itatinga, São Paulo	Folhas	NI	Inseticida	Brito <i>et al.</i> (2006)
Aquisição comercial, São Paulo	NR	- Identificados: Vinte compostos. Majoritários: Limoneno, <i>E</i> -citrал e <i>Z</i> -citrал.	<i>in vitro</i> efeito anti-helmíntico	Macedo <i>et al.</i> (2010)
Aquisição comercial, São Paulo	Folhas	- Identificados: Onze compostos. - Majoritários: (+) Limoneno, <i>E</i> -citrál, <i>Z</i> -citrál.	Inseticida	Maciel <i>et al.</i> (2010)
Aquisição comercial	NR	- Identificados: Oito compostos. - Majoritários: (+) – Limoneno.	Anti-helmíntica	Ribeiro <i>et al.</i> (2013)
Aquisição no Departamento de Ciências Florestais, ESALQ-USP	NR	- Identificados: Dez compostos. Majoritários: Limoneno, nerál e geranal	Inseticida	Cruz <i>et al.</i> (2016)
<i>Eucalyptus urophylla</i> Blake				
Lavras, Minas Gerais	Folhas	NI	Antifúngica	Salgado <i>et al.</i> (2003)

NI: Não Relatado. NI: Não Identificado;

#### **4.7 O Gênero *Helietta* (Rutaceae) potencial medicinal, farmacológicos e características químicas**

A família Rutaceae é essencialmente Pantropical (Figura 12), ou seja, sua distribuição cobre as regiões tropicais de todos os continentes. Possui cerca de 150 gêneros e 1.600 espécies descritas, sendo que na região neotropical, ocorrem 52 gêneros, no Brasil 32 gêneros e 154 espécies conhecidas, sendo que os maiores centros de diversidade são a Amazônia e a Mata Atlântica (PIRANI, 2002).

As espécies dessa família são reconhecidas pela diversidade de metabólitos secundários, com destaque os alcaloides, cumarinas, ligninas, flavonoides, terpenóides e os limonóides, sendo que muitos desses metabolitos

possuem diversas atividades biológicas, o que desperta o interesse na investigação dos constituintes químicos dessa família (GROOPPO *et al.*, 2008; ZANON, 2010).



**Figura 12.** Mapa de registros de ocorrências da Família Rutaceae. **Fonte:** SIBBR (2020).

O gênero *Helietta* é composto por oito espécies, possui distribuição neotropical, em áreas disjuntas na América do Norte (Texas e México), Cuba, norte da América do Sul e Sudeste do Brasil, Paraguai e norte da Argentina, principalmente em formações mesófilas a sub áridas, dentre elas está a *H. apiculata* com registros na região sul da América do Norte, América Central e do Sul (PIRANI, 1998; VILELA, 2011).

Pirani (1998), ao publicar a revisão taxonômica de *Helietta*, descreveu que há incongruências nos registros, resultando que o Gênero apresenta várias sinonímias. O autor que o Gênero possui oito espécies, incluindo *Helietta glaziovii* (PIRANI, 1998),

A maioria das espécies de *Helietta* apresenta-se na forma de arvoretas ou árvores, arbustos e ramificados, com altura entre 2 e 15 m e tronco entre 30 e 50 cm (DAP), possuem folhas compostas trifolioladas e sustentadas por pecíolos de 3-4 cm de comprimento, comumente floresce em novembro-dezembro e seus frutos maturam em março-maio (PIRANI, 1998; LORENZI, 2020).

Entre as espécies do gênero *Helietta* que tem ocorrência no sul da América do Norte, mais precisamente no México, está a espécie *Helietta parvifolia* (A. Gray), com estudos químicos dos extratos e óleos essenciais obtidos no caule, cascas dos caules, galhos e folhas. Esses estudos revelaram a presença uma diversidade de fito constituintes com potencial medicinal, anti-inflamatório e anticolinesterásica (CHANG *et al.*, 1976; MARROQUIN-SEGURA *et al.*, 2009; GÓMEZ-CALVARIO *et al.*, 2019).

Uchoa *et al.* (2004), ao realizarem estudos com extratos dos ramos e folhas de *Helietta cubensis* Monach-Moldenke (que é uma sinonímia da *H. apiculata*), coletados em Cuba, encontraram diversos compostos secundários como fenóis, taninos, flavonoides, lactonas, cumarinas, triterpenos e esteroides.

Na América Latina, ao Nordeste da Argentina, tem a ocorrência da espécie *Helietta longifoliata* Britt. Estudos com extratos com éter de petróleo das cascas apontam a presença do triterpeno pentacíclico Isobaurenol, pouco conhecido na família Rutaceae e a furocumarina terpênica helietina (POZZI *et al.*, 1967; THEUMANN e COMMINS, 1969).

No Paraguai, Ferreira *et al.* (2010) estudaram *H. apiculata* e os resultados das análises das substâncias extraídas das cascas do caule revelaram a presença dos seguintes compostos químicos, alcaloides (dictamina,  $\gamma$ -fagarina, skimianina, flindersamina, maculina) e cumarinas (scopoletina, scoparona, decursinol, helietina) com potencial Leishmanicida *in vitro* (FERREIRA *et al.*, 2010).

No Brasil, ocorre a espécie *H. longifoliata*, da qual foram feitas análises químicas com extratos das cascas e folhas e foi possível determinar a presença dos compostos químicos: alcaloides ( $\gamma$ -fagarina, flindersina, kokusaginina, maculosina) e cumarinas (rutaculina, chalepina, helietina uliscomoncadina) que possuem ação antibacteriana (MOURA *et al.*, 2002).

Nunes *et al.* (2005), ao trabalharem com o extrato hexânico das raízes de *Esenbeckia grandiflora* (sinônimo de *H. longifoliata*), determinaram a presença

de maculina, um alcaloide quinolônicos, e uma nova furanocumarina 3,8-dimetil furo [3,2-g] cumarina. Estudos realizados com extratos obtidos de caule, galhos e folhas para a determinação da composição química das substâncias de *Helietta puberula* RE Fr, revelaram a presença de diversos componentes químicos, nos quais foram observados usos potenciais de inseticida e fungicida (SIMOTE, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2007).

Estudos brasileiros realizados com a espécie *H. apiculata*, foram feitos com extratos, óleos essenciais e hidrolato obtidos das cascas do caule e das folhas e, posteriormente, foi realizada a caracterização química dessas amostras. Observou-se a presença de diversos compostos químicos, que foram testados para verificar potencial de ação e os resultados demonstraram ação antibacterianas, antifúngicas, antimicrobiana, a presença de compostos indutores de fitoalexinas, antioxidante e de inibição da enzima acetilcolinesterase (FRANZENER *et al.*, 2007; FERNANDES, 2011; FERRONATTO *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2017).

Como na literatura há numerosos estudos publicados com as espécies do gênero *Helietta*, foi realizado um levantamento de dados com um recorte de artigos publicados de 1967 ao mais recente de 2019, sendo seis espécies investigadas, optou-se em compor um quadro apenas com as características botânicas, uso popular, ocorrência, parte utilizada, classes de metabólitos secundários e substâncias isoladas, óleos essenciais e indicação medicinal e inseticida de espécies nativas no Brasil (Quadro 2).

A espécie *H. apiculata*, ocorre no Paraguai oriental, no nordeste da Argentina, com um registro disjunto no Peru e no Brasil nos estados de Mato Grosso do Sul, oeste de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, normalmente encontrada em florestas semideciduais nas bacias dos rios Paraná, Paraguai e Alto Uruguai (Figura 13) (PIRANI, 1998).

O período reprodutivo e floração, em geral, estende-se de outubro a março, ou às vezes até maio e a frutificação ocorre entre dezembro e maio. Essa planta arbórea possui madeira de coloração pálido-amarelada e com potencial para exploração, porém sua utilização é limitada em decorrência do pequeno diâmetro (20cm em média, raro 50cm) (PIRANI, 2002).



**Figura 13.** Mapa de registros de ocorrências registradas da espécie *Helietta apiculata* Benth. Fonte: SIBBR (2020).

**Quadro 2.** Espécies de *Helietta* nativas do Brasil. Nome popular, ocorrência, parte utilizada, classes de metabólitos secundários e substâncias isoladas, óleos essenciais, uso inseticida e referências consultadas

Nome popular	Ocorrência	Parte utilizada	Tipo de extrato	Metabólitos secundários	Óleos essenciais	Potencial de ação	Ref.
<b><i>Helietta apiculata</i> Benth</b>							
Canela de veado	Chapecó, Santa Catarina	NI	Hidrolato	----	----	Antibacteriano, antifúngico e compostos indutores de fitoalexinas	1
Yvyra ovi	Piribebuy, Paraguai	Cascas de caule	Extrato etanólico - maceração	- Alcaloides: dictamina, $\gamma$ -fagarina, skimianina, flindersamina, maculina. - Cumarinas: scopoletina, scoparona, decursinol, helietina	----	Leishmanicida <i>in vitro</i>	2
Canela de veado	Mata, Rio Grande do Sul	Casca do caule e folhas	Extrato metanólico	- Alcalóides furoquinolínicos: $\gamma$ -fagarina, Maculina, Kokusaginina Isodictamina. - Cumarinas: Chalepina. - Limonóide: Limonina. Ácido cinâmico: 4- hidroxi-3,5-dimetoxicinamato de metila e 3,4,5-trimetoxicinamato de metila. Mistura de três neolignanas	elemeno, o $\gamma$ -elemol, o elemol e o espatulenol	antimicrobiana, antioxidante e de inibição da enzima Acetilcolinesterase	3
Canela de veado	Chapecó, Santa Catarina	Folhas	Hidrodestilação com Clevenger	----	Monoterpenos, Monoterpenos oxigenados, Sesquiterpenos e sesquiterpenos oxigenados	Antimicrobiano	4

Nome popular	Ocorrência	Parte utilizada	Tipo de extrato	Metabólitos secundários	Óleos essenciais	Potencial de ação	Ref.
Canela de veado	Mata, Rio Grande do Sul	Casca do caule	Extrato metanólico	Alcalóides (ditamina, gfagarina, maculina, flindersamina, N-metil-4-metoxi-quinolinona, kokusaginina, maculosidina, skimmiamine). Cumarina (escopoletina).	----	Antimicrobiano	5
<b><i>Helietta longifoliata</i> Britt</b>							
Canela-amarilha	Nordeste da Argentina	Cascas	Extrato éter de petróleo	Furocumarina terpênica Helietina	----	----	6
Canela-amarilha	Nordeste da Argentina	Cascas	Extrato éter de petróleo	Isobaurenol (triterpeno pentaciclico)	----	----	7
Canela de veado	Jaguari, Rio Grande do Sul	Casca e folhas	Extrato etanólico	Alcalóides ( $\gamma$ -fagarina, flindersina, kokusaginina, maculosina). Cumarinas (rutaculina, chalepina, heliettina uliscomoncadina)	limoneno, germacreno, elemol, biciclogermacreno, guaiol, epi- $\alpha$ -bisabolol	Antibacteriana	8
<b><i>Helietta parvifolia</i> (A. Gray)</b>							
Baretta	México	Galhos e folhas	Extrato éter de petróleo e Extrato metanólico	heliparvifolina, furoquinolina, flindersamina, isoflindersamina	----	----	9
Baretta	El Tanque, México	Casca do caule	Extrato aquoso	----	----	Antiinflamatório	10

Nome popular	Ocorrência	Parte utilizada	Tipo de extrato	Metabólitos secundários	Óleos essenciais	Potencial de ação	Ref.
Baretta	Santa Catarina, San Luis Potosí, Mexico	Folhas	Extratos com os solventes hexano, acetato de etila, butanol e Hidrodestilação Clevenger	Monoterpenos, Monoterpenos oxigenados, Trinor-sesquiterpeno, Sesquiterpenos, Sesquiterpenos oxigenados, Ácido graxo, Derivados de éster de ácido graxo, Diterpenos oxigenados, Alcalóides, Esteróis, Triterpenos, Derivados aromáticos, Fenilpropenos	Oitenta e quatro compostos foram identificados: sendo elemol (23, 33,6%), (E) -isosafrol (12,8%), pregeijerene B, 10,5%) foram os componentes majoritários.	Anticolinesterásica <i>in vitro</i>	11
<b><i>Helietta puberula RE Fr</i></b>							
Canela-guaicá, canela-sêbo	Corumbá, Mato Grosso do Sul	Caule, galhos e folhas	Extratos com os solventes hexano, diclorometano e metanol	Esteroides (Sitosterol, estigmasterol, sitostenona, estigmastenona, campestenona). Cumarinas (isoescopoletina, metiletergravelifera). Terpenos (lupeol, lufenona). Ácido cinâmico (trimetoxicinamato de metila, dimetoxicinamato de geranila) Alcalóides (quinolinona, acridonico, arborinina, flindersiamina)	----	Inseticida	12

Nome popular	Ocorrência	Parte utilizada	Tipo de extrato	Metabólitos secundários	Óleos essenciais	Potencial de ação	Ref.
Canela-guaicá, canela-sêbo	NI	Caule, galhos e folhas	Extratos com os solventes hexano, diclorometano e metanol	Ácido antranílico, Flindersiamina, Dictamnina, Kokusaginina, Maculina e Sitosterol	Extratos	Inseticida e Fungicida	13
<i>Esenbeckia grandiflora Martius subsp. grandiflora var. grandiflora</i>							
Guaxupita-da-flor-grande, pau-de-cutia	Fazenda Chapada, Maranhão, Brasil	Raízes	Extrato hexânico	Maculina alcalóide furoquinolina nova furanocumarina 3,8-dimetil furo [3,2-g] cumarina (2)	----	----	14
<i>Helietta cubensis</i> Monach-Moldenke							
----	Pinar del Río, Cuba	Folhas e ramos	Extrato com os solventes hexano, etanol e água destilada	Triterpenos, esteróides, flavonóides, lactonas, cumarinas, fenóis, taninos	----	----	15

NI: Não Identificado. Ref.= Referencias: (1) Franzener *et al.* (2007); (2) Ferreira, *et al.* (2010); (3) Fernandes (2011); (4) Ferronatto *et al.* (2012); (5) Fernandes *et al.* (2017); (6) Pozzi, *et al.* (1967); (7) Theumann e Commin (1969); (8) Moura, *et al.* (2002); (9) Chang, *et al.* (1976); (10) Marroquin-Segura *et al.* (2009); (11) Gómez-Calvario *et al.* (2019); (12) Simote (2006); (13) Almeida *et al.* (2007); (14) Nunes, *et al.* (2005); (15) Ochoa *et al.* (2004).

A *H. apiculata* é conhecida popularmente como canela-de-veado, canela-de-cutia, cun-cun, osso-de-burro e amarelinho, e tem como sinônima *Helietta longifoliata* Britt, *Helietta cuspidata* e *Esenbeckia cuspidata*. A esta planta é atribuída diversas atividades biológicas, como antimicrobiana, antioxidante e antimalária (Figura 14) (PIRANI, 1998; LORENZI, 2020; GROOPPO *et al.*, 2008; ZANON, 2010).

Em estudos realizados por Goloubkova *et al.* (1998), com o extrato das folhas da planta, foram encontrados diversos alcaloides do tipo furoquinolinos, aos quais foram apontados efeito depressor do pentobarbital no Sistema Nervoso Central (SNC), por atuarem principalmente, nas enzimas dependentes do citocromo P450, com potencial a ação hipnótica de pentobarbital em camundongos.



**Figura 14.** Imagem das características da espécie *Helietta apiculata* Benth.

**Fonte:** Santos (2013); Radins (2014).

Franzener *et al.* (2007), ao trabalharem com o hidrolato que é um subproduto da extração dos óleos essenciais, verificaram que ainda que em baixas concentrações, possuem compostos antibacterianos, antifúngicos e elicitores de fitoalexinas o que reforça a importância da caracterização dos compostos para melhor compreensão dos mecanismos envolvidos.

Fernandes (2011), ao analisar a composição do óleo essencial de *H. apiculata*, coletadas no município de Mata, Rio Grande do Sul, em diversas estações do ano, detectou a variação dos compostos como a maior concentração de  $\delta$ -elemeno (8,08%),  $\gamma$ -elemeno (6,96%), elemol (15,27%), espatulenol (6,51%) e limoneno (28,3%), em todas nas estações avaliadas, enquanto limoneno aparece em quantidades consideráveis, porém não se manifesta durante a primavera.

Ferronatto *et al.* (2012), ao realizarem coletas nas quatro estações ano, analisaram a composição química do óleo essencial de *H. apiculata* e identificaram 28 terpenos, dentre eles monoterpenos, monoterpenos oxigenados, sesquiterpenos e sesquiterpenos oxigenados, sendo o limoneno o majoritário.

Pimpinato *et al.* (2017), ao analisarem a oviposição de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae, inseto vetor da bactéria *Candidatus Liberibacter* spp., causadora da doença Huanglongbing (HLB=ex-greening), uma ameaça fitossanitária severa para a atividade citrícola no Brasil), em mudas de *Murraya exotica* L e *H. apiculata*, verificaram que houve uma menor porcentagem o oviposição nas mudas de *H. apiculata* ao ser comparada com a outra espécie analisada. Esse resultado indicou que a presença dessa espécie pode servir como inibidor de oviposição. Com base nesses resultados é possível inferir que a planta possui metabólitos de interesse para manejo de pragas, como por exemplo os óleos essenciais.

A mistura de substâncias que compõem os óleos essenciais é investigada em vários aspectos, dentre eles os inseticidas. Com isso pode contribuir para o controle de pragas resistentes, devido à diversidade de substâncias que compõem estes óleos (LEONARDI e BERNARDO, 2020), o que justifica investigar a ação deste óleo em pragas que afetam a produção agrícola do Brasil.

## 5. Referências Bibliográficas

ABDELATTI, Z. A. S.; HARTBAUER, M. Plant oil mixtures as a novel botanical pesticide to control gregarious locusts. **Journal of Pest Science**, Innsbruck, v. 93, n. 1, p. 341-353, 2020.

AGROLINK- O Portal do Conteúdo Agropecuário. **Lagarta-falsa-medideira** (*Chrysodeixis includens*) 2021. Disponível em:< [https://www.agrolink.com.br/problemas/falsa-medideira\\_3083.html](https://www.agrolink.com.br/problemas/falsa-medideira_3083.html)>. Acesso em: 26 de abril de 2021.

ALI, M. A. Toxicity of certain plant oils on pupal stage of the peach fruit fly, *B. zonata* (sunders)(Tephritidae: Diptera)' **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 8, n. 6, p. 372-374, 2018.

ALMEIDA, R. N. A.; PEÑAFLOR, M. F. G. V.; SIMOTE, S. Y.; BUENO, O. C.; HEBLING, M. J. A.; PAGNOCCA, F. C.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; SILVA, M. F. G. F. da. Toxicity of substances isolated from *Helietta puberula* RE Fr. (Rutaceae) to the leaf-cutting ant *Atta sexdens* L. (Hymenoptera: Formicidae) and the symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Singer) Möller. **BioAssay**, Santo Antônio de Goiás v. 2, n. 2, p. 1-8, 2007.

ANDRADE, E. N. **O problema florestal no Brasil**. São Paulo: Biblioteca do Estado de São Paulo, 1922. 104p.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2ed. São Paulo: Companhia Paulista de Estradas de Ferro 1961. v 2. 667p.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update 4. of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 161, n. 2, p. 105-21, out. 2009.

APROSOJA - Associação dos Produtores de Soja do Brasil (Brasília). **A História da Soja. 2014.** Disponível em: < <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/#:~:text=Registros%20hist%C3%B3ricos%20indicam%20que%20a,das%20chamadas%20grandes%20navega%C3%A7%C3%A3o%20europeias.>>. Acesso em: 26 de abril de 2021.

APROSOJA - Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso (Cuiabá). **A HISTÓRIA DO MILHO.** Disponível em:<<http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-do-milho>. Acesso em: 18 março de 2021.

ARENA, J. S.; MERLO, C.; DEFAGÓ, M. T.; ZYGADLO, J. A. Insecticidal and antibacterial effects of some essential oils against the poultry pest *Alphitobius diaperinus* and its associated microorganisms. **Journal of Pest Science**, Innsbruck, v. 93, n. 1, p. 403-414, 2020.

AZEVEDO-SANTOS, V. M.; FREDERICO, R. G.; FAGUNDES, C. K.; POMPEU, P. S.; PELICICE, F. M.; PADIAL, A. A.; NOGUEIRA, M. G.; FEARNSIDE, P. M.; LIMA, L. B.; DAGA, V. S.; OLIVEIRA, F. J. M.; VITULE, J. R. S.; CALLISTO, M.; AGOSTINHO, A. A.; ESTEVES, F. A.; LIMA-JUNIOR, D. P.; MAGALHÃES, A. L. B.; SABINO, J.; MORMUL, R. P.; GRASEL, D.; ZUANON, J.; VILELLA, F. S.; HENRY, R. Protected areas: A focus on Brazilian freshwater biodiversity. **Diversity and Distributions**, Paris, v. 25, p. 1-7, 2018.

BADGLEY, C.; MOGHTADER, J.; QUINTERO, E.; ZAKEM, E.; CHAPPELL, M. J.; AVILES-VAZQUEZ, K.; SAMULON, A.; PERFECTO, I. Organic agriculture, and the global food supply. **Renewable agriculture and food systems**, New York, v. 22, n. 2, p. 86-108, 2007.

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

BALMFORD, A.; GREEN, R. E.; SCHARLEMANN, J. P. W. Sparing land for nature: exploring the potential impact of changes in agricultural yield on the area needed for crop production. **Global Change Biology**, Champaign, v. 11, n. 10, p. 1594-1605, 2005.

BARATA, A.M.; ROCHA, F.; LOPES, V.; BETTENCOURT, E.; FIGUEIREDO A.C. 2011. Medicinal and Aromatic Plants – Portugal. In: **Medicinal and Aromatic Plants of the World**, Oxford: Developed under the auspices of the UNESCO, EOLSS, 2011, p. 1-45.

BARATELLI, A. E. S.; NARDOQUE, S. A expansão da agricultura capitalista subsidiada pelas ações do estado em Mato Grosso do Sul. **Revista Nera**, Presidente Prudente, n. 60, p. 152-174, 2021.

BARLOW, J.; GARDNER, T. A.; ARAUJO, I. S.; ÁVILA-PIRES, T. C.; BONALDO, A. B.; COSTA, J. E.; ESPOSITO, M. C.; FERREIRA, L. V.; HAWES, J.; HERNANDEZ, M. I. M.; HOOGMOED, M. S.; LEITE, R. N.; LOMAN-HUNG, N. F.; MALCOLM, J. R.; MARTINS, M. B.; MESTRE, L. A. M.; MIRANDA-SANTOS, R.; NUNES-GUTJAHR, A. L.; OVERAL, W. L.; PARRY, L.; PETERS, S. L.; RIBEIRO-JUNIOR, M. A.; DA SILVA, M. N. F.; DA SILVA MOTTA, C.; PERES. C. A. Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 104, n. 47, p. 18555-18560, 2007.

BARROS, R. **Pragas do milho**. In: PEDROSO, R. S. (Coord.). **Tecnologia de produção: soja e milho 2011/2012**. Maracaju: Fundação MS, 2012. cap. 14, p. 275-296.

BECKEL, H.; LORINI, I.; LAZZARI, S. M. N. Efeito de repelência do inseticida deltamethrin sobre insetos de raças resistentes e suscetíveis de *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera, Bostrichidae) em grãos de trigo armazenado. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 49, n. 4, p. 572-574, 2005.

BETT, P. K.; DENG, A. L.; OGENDO, J. O.; KARIUKI, S. T.; KAMATENESIMUGISHA, M.; MIHALE, J. M.; TORTO, B. Residual contact toxicity and repellence of *Cupressus lusitanica* Miller and *Eucalyptus saligna* Smith essential oils against major stored product insect pests. **Industrial Crops and Products**, v. 110, p. 65-74, 2017.

BOAVENTURA, D.; ULRICH, J.; LUEKE, B.; BOLZAN, A.; OKUMA, D.; GUTBROD, O.; GEIBEL, S.; ZENG, Q.; DOURADO, P. M.; MARTINELLI, S.; FLAGEL, L. HEAD, G.; NAUEN, R. Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. **Insect biochemistry and molecular biology**, Ceske Budejovice, v. 116, p. 103280, 2020.

BRASIL, 2007. Plano de Manejo RPPN – Fazenda Cabeceira do Prata – Jardim, MS - 2007. 358f. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2015/06/3-planodemanejorppncabeceiradoprata.pdf>>. Acesso: 05 de novembro de 2018.

BRITO, J. P.; OLIVEIRA, J. E. M.; BORTOLI, S. A. Toxicidade de óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v. 6, n. 1, p. 96-103, 2006.

BUENO, R. C. O. F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. F.; HADDAD, M. L. Desempenho de Tricogramatídeos como Potenciais Agentes de Controle de *Pseudoplusia includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 38, n. 3, p. 389-394, 2009.

CAPINERA, J. L. 2003. **Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae)**. University of Florida. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/IN255>. Acesso em 17 de mar. 2021.

CARVALHO, M. M.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, L. C.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Potencial do controle biológico para o controle de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) e *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) em soja. **Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer**, Jandaia, v. 9, n. 17, p. 2049-2063, 2013.

CARVALHO, L. C.; FERREIRA, F. M.; BUENO, N. M. Importância econômica e generalidades para o controle da lagarta falsa-medideira na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 8, p. 1021-1034, 2012.

CAVALCANTE, G. M.; MOREIRA, A. F. C.; VASCONCELOS, S. D. Potencialidade inseticida de extratos aquosos de essências florestais sobre mosca-branca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 9-14, 2006.

CELIK, A.; OZTURK, I.; WAY, T. R. Effects of various planters on emergence and seed distribution uniformity of sunflower. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 23, n. 1, p. 57-61, 2007.

CHAGAS, A. C. S.; PASSOS, W. M.; PRATES, H. T.; LEITE R. C.; FURLONG J.; FORTES, I. C. P. Efeito acaricida de óleos essenciais e concentrados emulsionáveis de *Eucalyptus* spp. em *Boophilus microplus*. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 39, n. 5, p. 247-253, 2002.

CHANG, P. T. O.; AYNILIAN, G. H.; CORDELL, G. A.; TIN-WA, M.; FONG, H. H. S.; PERDUE JR, R. E.; FARNSWORTH, N. R. Isolation of flindersiamine, isoflindersiamine, and a new alkaloid, heliparvifoline, from *Helietta parvifolia* (Rutaceae). **Journal of pharmaceutical sciences**, Lawrence, v. 65, n. 4, p. 561-563, 1976.

CLAVIJO, S. A.; BADILLO A. F.; RAMÍREZ, A. A.; DELGADO, A.; LATHULLERIE, J. M. Influencia de la temperatura sobre el desarollo de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Agronomía Tropical**, Maracay, n. 41. p. 245-256. 1992.

COITINHO, R. L. B. C.; OLIVEIRA, J. V.; JUNIOR, M. G. C. G.; CÂMARA, C. A. G. Atividade inseticida de óleos vegetais sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) em milho armazenado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 176-182, 2006.

COITINHO, R. L. B. C.; OLIVEIRA, J. V.; JUNIOR, M. G. C. G.; CÂMARA C. A. G.; Persistência de óleos essenciais em milho armazenado, submetido à infestação de gorgulho do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1492-1496, 2010.

CONAB (2022) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.9 – safra 2020/21, nº5 – quinto levantamento, março 2021.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/17625-5-levantamento-safra-2021-22>. Acessado em: 24 de fevereiro de 2022.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho.** Sete Lagoas: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1995. p. 45.

CRUZ, I. **Manejo de pragas na cultura do milho.** In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (eds) *Tecnologias de produção do milho*. Editora UFV, Viçosa, p.312-366, 2012.

CRUZ, G. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; OLIVEIRA, J. V.; LOPES, F. S. C.; BARBOSA, D. R. S.; BREDA, M. O.; DUTRA, K. A.; GUEDES, C. A.; NAVARRO, D. M. A. F.; TEIXEIRA, A. A. C. Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Laminaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, College Station, v. 109, n. 2, p. 660-666, 2016.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C. Manejo avançado: surtos de falsa-medideira. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, v. 178, p. 20-24, 2014.

DALL'AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições.** Embrapa Soja-Livro técnico (INFOTECA-E), Brasília, DF.: Embrapa 2016.

DHAKAD, A. K.; PANDEY, V. V.; BEG, S.; RAWAT, J. M.; SINGH, A. Biological, medicinal and toxicological significance of *Eucalyptus* leaf essential oil: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 3, p. 833-848, 2018

DOBROVOLSKI, R. **Biogeografia da conservação frente à expansão agrícola: conflitos e prioridades.** 2012. 100f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A cultura da soja no Brasil.** Londrina: Embrapa - CNPSO, 2000. 179 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho.** Brasília: Embrapa/Sede, 2004. 78 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A história da soja.** 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>>. Londrina: Portal Embrapa (Versão 3.59.2) p.04. Acesso em: 05 novembro 2018.

ENAN, E. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: **Toxicology & Pharmacology**, Miami, Florida, v. 130, n. 3, p. 325-337, 2001.

Epaletes – bioenergia. **Características botânicas do Eucalipto**. 2020. Disponível em: <<http://www.epaletes.com/eucalipto/#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20bot%C3%A3nicas,fase%20de%20crescimento%20da%20%C3%A1rvore>>. Acesso em 23 de abril de 2020.

ERLER, F.; ULUG, I.; YALCINKAYA, B. Repellent activity of five essential oils against *Culex pipiens*. **Fitoterapia**, Amsterdam, v. 77, n. 7-8, p. 491-494, 2006.

EWERS, R. M., SCHARLEMANN, J. P., BALMFORD, A., GREEN, R. E. Do increases in agricultural yield spare land for nature? **Global Change Biology**, Champaign, v. 15, n. 7, p. 1716-1726, 2009.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024**. Rome: FAO, 2015. 148p.

FERNANDES, T. S. **Análise Fitoquímica e Estudo das atividades antimicrobiana, antioxidante e de inibição da enzima Acetilcolinesterase da espécie *Helietta apiculata* Benth.** 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FERNANDES, T. S.; COPETTI, D.; DO CARMO, G.; NETO, A. T., PEDROSO, M., SILVA, U. F.; MOSTARDEIRO, M. A.; BURROW, R. E.; DALCOL, I. I.; MOREL, A. F. Phytochemical analysis of bark from *Helietta apiculata* Benth and antimicrobial activities. **Phytochemistry**, Nantes, v. 141, p. 131-139, 2017.

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. D. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; PAULA, T. R.; COUTINHO, R. P.; SILVA, R. L. D. Crescimento e produção de eucalipto na região do Médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, p.1-9, 2017.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Série Técnica IPEF**, ESALQ/USP - Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba, n. 45. 1992. p. 22-30.

FERREIRA, M. E.; ROJAS DE ARIAS, A.; YALUFF, G.; DE BILBAO, N.V.; NAKAYAMA, H.; TORRES, S.; SCHININI, A.; GUY, I.; HEINZEN, H.; FOURNET, A. Antileishmanial activity of furoquinolines and coumarins from *Helietta apiculata*. **Phytomedicine**, Mainz, v. 17, n. 5, p. 375-378, 2010.

FERREIRA, M. E.; ARIAS, A. R.; YALUFF, G., BILBAO, N. V.; NAKAYAMA, H.; TORRES, S.; SCHININI, A.; TORRES, S.; SERNA, E.; TORRECILHAS, A. C.; FOURNET, A.; CEBRIÁN-TORREJÓN, G. *Helietta apiculata*: a tropical weapon against Chagas disease. **Natural product research**, Londres, v. 33, n. 22, p. 3308-3311, 2019.

FERRONATTO, R.; CARRARO, C.; MARINS, K.; FLACH, A.; DE MOURA, N.F. Chemical composition, and antibacterial activity of the essential oils from *Helietta apiculata* Benth. (Rutaceae). **Journal of Essential Oil Research**, Londres, v. 24, n. 1, p. 13-17, 2012.

FILOMENO, C. A.; BARBOSA, L. C. A.; TEIXEIRA, R. R.; PINHEIRO, A. L. DE SÁ FARIAS, E.; DE PAULA SILVA, E. M.; Picanço, M. C. *Corymbia* spp. and *Eucalyptus* spp. essential oils have insecticidal activity against *Plutella xylostella*. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 109, p. 374-383, 2017.

FRANZENER, G.; SILVA, M. F. A.; STANGARLIN, J. R.; CZEPAK, M. P.; ESTRADA, K. R. F. S.; CRUZ, M. E. S. Atividades antibacteriana, antifúngica e indutora de fitoalexinas de hidrolatos de plantas medicinais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, 2007.

GALLO, D.; NAKANO, O. S.; SILVEIRA NETO, R. P. L.; CARVALHO, G. C. B.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, J. R. P; PARRA, R. A.; ZUCCHI, S. B.; ALVES, J. D.; VENDRAMIM, L. C.; MARCHINI, J. R. S.; LOPES, C.; OMOTO. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.

GIBSON, L., LEE, M.L., KOH, L.P., BROOK, B.W., GARDNER, T.A., BARLOW, J., PERES, C.A., BRADSHAW, C.J.A., LAURANCE, W.F., LOVEJOY, T.E., SODHI, N.S., Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, Londres, v. 478, n. 7369, p. 378, 2011.

GOLOUBKOVA, T. D.; HECKLER, E.; RATES, S. M. K.; HENRIQUES, J. A. P.; HENRIQUES, A. T. Inhibition of cytochrome P450-dependent monooxygenases by an alkaloid fraction from *Helietta apiculata* markedly potentiate the hypnotic action of pentobarbital. **Journal of Ethnopharmacology**, Amsterdã, v. 60, n. 2, p. 141-148, 1998.

GÓMEZ-CALVARIO, V.; RAMÍREZ-CISNEROS, M. Á.; ACEVEDO-QUIROZ, M.; RIOS, M. Y. Chemical composition of *Helietta parvifolia* and its in vitro anticholinesterase activity. **Natural product research**, Londres, v. 33, n. 6, p. 889-892, 2019.

GOTTEMS, L. Depois da *Helicoverpa armigera*, falsa medideira é a nova ameaça. Porto alegre, jan. 2014. Agrolink. Disponível em: [http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/noticia/depois-da-helicoverpa-armigera-falsa-medideira-e-a-nova-ameaca\\_189861.html](http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/noticia/depois-da-helicoverpa-armigera-falsa-medideira-e-a-nova-ameaca_189861.html). Acesso em: 26 de abril 2021.

GREEN, R. E.; CORNELL, S. J.; SCHARLEMANN, J. P. W.; BALMFORD, A. Farming and the fate of wild nature. **Science**, Washington, v. 307, n. 5709, p. 550-555, 2005.

GREENE G. L.; REID, J. C.; BLOUNT, V. N.; RIDDLE, T. C. Mating and oviposition behavior of the velvetbean caterpillar in soybeans. **Environmental Entomology**, Oxford, v. 2, n. 6, p. 1113-1115, 1973.

GROOPPO, M. PIRANI J. R.; SALATINO, M. L. F.; BLANCO, S. R.; KALLUNKI, J. A. Phylogeny of Rutaceae based on two noncoding regions from cpDNA. **American Journal of Botany**, Connecticut, v. 95, n. 8, p. 985-1005, 2008.

GUEDES, J. V. C.; STECCA, C. dos S.; RODRIGUES, R.B.; BIGOLIN, M. Nova dinâmica. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, n. 139, p.24-26, 2011.

HASEGAWA, T.; TAKANO, F.; TAKATA, T.; NIIYAMA, M.; OHTA, T. Bioactive monoterpenoid glycosides conjugated with gallic acid from the leaves of *Eucalyptus globulus*. **Phytochemistry**, Nantes, v. 69, n. 3, p. 747-753, 2008.

HERZOG, D. C. Sampling soybean looper on soybean. In: **Sampling methods in soybean entomology**. Springer, New York, NY, p. 141-168. 1980.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Propagação vegetativa de Eucalyptus: princípios básicos e a sua evolução no Brasil. **Circular técnica IPEF**, v. 192, p. 1-11, 2000.

HILDER, V. A.; BOULTER, D. Genetic engineering of crop plants of insect resistance a critical review. **Crop protection**, Lincoln, v 18 p 177-191, 1999.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. C.; CARMO, R. L. Uso do solo e mudança de sua cobertura no Centro-Oeste do Brasil: consequências demográficas, sociais e ambientais. In: HOGAN, D. J.; HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. **Migração e ambiente no Centro-Oeste**. Campinas: PRONEX, 2002, p. 149-174.

HUANG, Y.; LIN, M.; JIA, M.; HU, J.; ZHU, L. Chemical composition and larvicidal activity against *Aedes mosquitoes* of essential oils from *Arisaema fargesii*. **Pest management science**, Oxford, v. 76, n. 2, p. 534-542, 2020.

IBA – Industria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual 2020 ano base 2019**. Brasília: Design and DTP, 2020. 124p. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/986/o/relatorio-iba-2020.pdf>. Acessado em: 18 de abril de 2021.

INAGAKI, M. N.; JUNQUEIRA, C. P.; BELLON, P. P. DESAFIOS DA PRODUÇÃO DE SOJA ORGÂNICA COMO DETERMINANTE À IMPLANTAÇÃO DE SEU CULTIVO PARA FINS COMERCIAIS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 682-699, 2018.

INCA. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**. 2ed. Rio de Janeiro: INCA, 2021. 290p.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review Entomology**, San Mateo, v. 51, p. 45-66, 2006.

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in plant science**, Cambridge, v. 19, n. 3, p. 140-145, 2014.

KHANI, A.; RAHDARI, T. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Coriandrum sativum* seeds against *Tribolium confusum* and *Callosobruchus maculatus*. **International Scholarly Research Notices**, Londres, v. 2012, p. 140-145, 2012.

KLEIN, M. L.; CHASTAIN, T. G.; GARBACIK, C. J.; QIAN, Y. P. L.; MC DONNELL, R. J. Acute toxicity of essential oils to the pest slug *Deroceas reticulatum* in laboratory and greenhouse bioassays. **Journal of Pest Science**, Innsbruck, v. 93, n. 1, p. 415-425, 2020.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 148-155. 2005.

KNAAK, N., WIEST, S. L. F., SOARES, W., FIUZA, L. M. Natural products: insecticidal and antimicrobial activity. In: Méndez-Vilas, A. **The Battle Against Microbial Pathogens: Basic Science, Technological Advances and Educational Programs**. Badajoz: FORMATEX RESEARCH CENTER, v. 10. 2015. p. 328-335.

KOSTYUKOVSKY, M.; RAFAELI, A.; GILEADI, C.; DEMCHENKO, N.; SHAAYA, E. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. **Pest management science**, Oxford, v. 58, n. 11, p. 1101-1106, 2002.

KOLANI, L.; SANDA, K.; AGBOKA, K.; MAWUSSI, G.; KOBA, K.; DJOUAKA, R. Investigation of insecticidal activity of blend of essential oil of *Cymbopogon schoenanthus* and neem oil on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, Westminster, London, v. 19, n. 6, p. 1478-1486, 2016.

KRZYZANOWSKI, F.; FRANÇA NETO, J. B.; RUFINO, R. R. **Soja - A produção de sementes no Brasil**. Londrina: Studio 407, 2012. 172 p.

LAQUALE, S.; AVATO, P.; ARGENTIERI, M. P.; BELLARDI, M. G.; D'ADDABBO, T. Nematotoxic activity of essential oils from Monarda species. **Journal of pest science**, Insbruque, v. 91, n. 3, p. 1115-1125, 2018.

LEE, T., TRAN, A., HANSEN, J., ASH, M. Major factors affecting global Soybean and products trade projections. **Amber Waves**, Washington, n. 04, 2016.

LEONARDI, F. L.; BERNARDO, M. A. T. Óleos essenciais como alternativa sustentável à produção agrícola: uma revisão bibliográfica. **Cadernos de Agroecologia**, Dourados, v. 15, n. 4, 2020.

LIMA, R. K., CARDOSO, M. G.; MORAES, J. C.; ANDRADE, M. A.; MELO, B. A.; RODRIGUES, V. G. Caracterização química e atividade inseticida do óleo essencial de *Ageratum conyzoides* L. sobre a lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 8ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2020. v. 1. 384p.

LORINI, I. Grãos armazenados: resistência de pragas a inseticidas químicos. **Comunicado Técnico Online, 45**. Embrapa Trigo, 1999. Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co45.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co45.htm). Acesso em: 26 de abril de 2021.

LUCK, G. W. A review of the relationships between human population density and biodiversity. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 82, n. 4, p. 607-645, 2007.

MACEDO, I. T. F.; BEVILAQUA, C. M. L.; OLIVEIRA, L. M. B.; CAMURÇA-VASCONCELOS, A. L. F.; VIEIRA, L. S.; OLIVEIRA, F. R.; QUEIROZ-JUNIOR, E. M.; PORTELA, B. G.; BARROS, R. S.; CHAGAS, A. C. S. Atividade ovicida e larvicida in vitro do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* sobre *Haemonchus*

*contortus*. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, Jaboticabal, v. 18, n. 3, p. 62-66, 2009.

MACEDO, I. T. F.; BEVILAQUA, C. M. L.; OLIVEIRA, L. M. B.; CAMURÇA-VASCONCELOS, A. L. F.; VIEIRA, L. S.; OLIVEIRA, F. R.; QUEIROZ-JUNIOR, TOMÉ, A. R.; NASCIMENTO, N. R. F. Anthelmintic effect of *Eucalyptus staigeriana* essential oil against goat gastrointestinal nematodes. **Veterinary Parasitology**, Amsterdã, v. 173, n. 1-2, p. 93-98, 2010.

MACIEL, M. V.; MORAIS, S. M.; BEVILAQUA, C. M. L.; SILVA, R. A.; BARROS, R. S.; SOUSA, R. N.; SOUSA, L. C.; BRITO, E. S.; SOUZA-NETO, M. A. Chemical composition of *Eucalyptus spp.* essential oils and their insecticidal effects on *Lutzomyia longipalpis*. **Veterinary parasitology**, Amsterdã, v. 167, n. 1, p. 1-7, 2010.

MACIEL, G. V., ZORTEA, B. R., SILVA, W., CYBIS, L., EINLOFT, S., SEFERIN, M. Life Cycle Inventory for the agricultural stages of soybean production in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Bruno, República Tcheca, v. 93, p. 65-74, 2015.

MARRONE, P. G. Pesticidal natural products—status and future potential. **Pest management science**, Oxford, v. 75, n. 9, p. 2325-2340, 2019.

MARROQUIN-SEGURA, R.; FLORES-PIMENTEL, M.; CARREÓN-SÁNCHEZ, R.; GARCIA-BURCIAGA, M. M.; MORA-GUEVARA, J. L. A.; AGUILAR-CONTRERAS, A.; HERNANDEZ-ABAD, V. J. The effect of the aqueous extract of *Helietta parvifolia* A. Gray (Rutaceae) stem bark on carrageenan-induced paw oedema and granuloma tissue formation in mice. **Journal of ethnopharmacology**, Amsterdã, v. 124, n. 3, p. 639-641, 2009.

MARTINAZZO, A. P.; FARONI, L. R. A.; BERBERT, P. A.; REIS, F. P. Utilização da fosfina em combinação com o dióxido de carbono no controle do *Rhyzopertha dominica* (F.) **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1063-1069, 2000.

MARTINAZZO, T.; PIETROWSKI, V.; CORDEIRO, E. S.; ECKSTEIN, B.; GRISA, S. Liberação de *Trichogramma pretiosum* para controle biológico de *Spodoptera*

*frugiperda* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p.1657-1660, 2007.

MARTINEZ, D. T.; HIGA, A. R.; LINGNAU, C.; SILVA, I. C. **Escolha de espécies, planejamento e sistemas de produção para reflorestamento em pequenas propriedades no estado do Paraná**. Curitiba: FUPEF; 2012.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 332f. Dissertação (Mestre em História Social) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MASSAROLI, A. **Efeito de extratos de annonáceas sobre a lagarta falsa medideira *Chrysodeixis includens* (Walker 1857) (Lepidoptera)**, 2013. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Zoologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEDEIROS, P. T.; FERREIRA, M. D. N.; MARTINS, É. S.; GOMES, A. C. M. M.; FALCÃO, R.; DIAS, J. M. C. D. S.; MONNERAT, R. G. Seleção e caracterização de estirpes de *Bacillus thuringiensis* efetivas no controle da traça-das-crucíferas *Plutella xylostella*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1145-1148, 2005.

MESQUITA, B. A.; LIMA, L. A. P. A EXPANSÃO DE MONOCULTIVOS NOS CERRADOS E (RE)-ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO AGRÁRIO NO TOCANTINS E MARANHÃO. In: SILVA, R. G. C.; LIMA, L. A. P.; CONCEIÇÃO, F. S.; **Amazônia: dinâmicas agrárias e territoriais contemporâneas**. 1ed. São Carlos: Editora: Pedro & João Editores, 2018, v. 1, cap.3. p. 67-90.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Agenda 21 Brasileira – Agricultura sustentável**. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Consórcio Museu Emílio Goeldi, Brasília, 2000. 190p.

MOREIRA, M. D.; PICANÇO, M. C.; SILVA, E. M.; MORENO, S. C.; MARTINS, J. C. Uso de inseticidas botânicos no controle de pragas. In: **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa: Epamig/CTZM, 2005. p. 89-120.

MOREIRA, M. D., PICANÇO, M. C., BARBOSA, L. C. D. A., GUEDES, R. N. C., CAMPOS, M. R. D., SILVA, G. A., Martins, J. C. Plant compounds insecticide activity against Coleoptera pests of stored products. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 909-915, 2007.

MOURA, N. F.; SIMIONATTO, E.; PORTO, C.; HOELZEL, S. C.; DESSOY, E. C., ZANATTA, N.; MOREL, A. F. Quinoline alkaloids, coumarins and volatile constituents of *Helietta longifoliata*. **Planta medica**, Nova Iorque, v. 68, n. 07, p. 631-634, 2002.

MUDRONČEKOVÁ, S.; FERENČÍK, J.; GRUĽOVÁ, D.; BARTA, M. Insecticidal and repellent effects of plant essential oils against *Ips typographus*. **Journal of Pest Science**, Innsbruck, v. 92, n. 2, p. 595-608, 2019.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, n. 6772, p.853-858, 2000.

NUNES, F. M.; BARROS-FILHO, B. A.; OLIVEIRA, M. C. F.; ANDRADE-NETO, M.; MATTOS, M. C.; MAFEZOLI, J.; PIRANI, J. R. <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectra of 3, 8-dimethoxyfuro [3, 2-g] coumarin and maculine from *Esenbeckia grandiflora* Martius (Rutaceae). **Magnetic Resonance in Chemistry**, Pittsburgh, v. 43, n. 10, p. 864-866, 2005.

OCHOA, S. C.; LAVAUT, J. A. G.; GUEVARA, J. G.; GONZÁLEZ, S. P.; CRUZ, A. U. Identificación fitoquímica de las hojas y ramas de la *Helietta cubensis* Monach-Moldenke, especie endémica de Cuba. **Revista Cubana de Farmacia**, Havana, v. 38, n. 1, p. 1-4, 2004.

OLIVEIRA, M. S. S.; ROEL, A. R.; ARRUDA, E. J.; MARQUES, A. S. Eficiência de produtos vegetais no controle da lagarta-do-cartucho-do-milho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 326-331, 2007.

OLIVEIRA, J. R. G. di; FERREIRA, M. C.; ROMÁN, R. A. A. Diferentes diâmetros de gotas e equipamentos para aplicação de inseticida no controle de

*Pseudoplusia includens*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.1, p. 92-99, 2010.

PALMA, J.; MAEBE, K.; GUEDES, J. V. C.; SMAGGHE, G. Molecular variability and genetic structure of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), an important soybean defoliator in Brazil. **PLoS One**, Cambridge, v. 10, n. 3, p. 1-13, 2015.

PAPA, G.; CELOTO, F. J. Lagartas na soja; 2007. **Ilha Solteira**, São Paulo, 2007.

PEREIRA, F. F.; BARROS, R.; PRATISSOLI, D. Desempenho de *Trichogramma pretiosum* Riley e *T. exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) submetidos a diferentes densidades de ovos de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1669-1674, 2004.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. **É veneno ou é remédio? agrotóxicos, saúde e ambiente**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. 384p.

PÉREZ, E.; PIEDRA, E.; BLANCO, E. 1997. *Spodoptera frugiperda* en maíz. Boletín Técnico, n. 2. 71p. **Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal**. (Cuba).

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 107, n. 13, p. 5786-5791, 2010.

PESKE, S. T. Comprando além da semente. **Seed news**, Pelotas, v. 13, n. 2, p.22-27, 2009.

PEVS - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. (2019). IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). **As Florestas Plantadas - IBGE - Painel Interativo**. Serviço Florestal Brasileiro. Sistema Nacional de Informações Florestais. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/conservacao-das-florestas/86-florestas-e-recursos-florestais/452-painel-interativo-1a>. Acesso em 22 de abril de 2021.

PEZARICO C. R.; RETORE, M. **Tecnologias para a agricultura familiar.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018. Disponível em: <http://www.agraer.ms.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Tecnologias-para-a-Agricultura-Familiar.pdf>. Acesso em 30 abril 2021.

PHALAN, B., ONIAL, M., BALMFORD, A., RHYS E., GREEN, R. E. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. **Science**, Washington, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011.

PIMPINATO, H. A. S.; ALVES, G. R.; YAMAMOTO, P. T. Feeding and oviposition of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) on *Helietta apiculata* (Sapindales: Rutaceae): a potential host? **Florida Entomologist**, Nova Iorque, v. 100, n. 2, p. 476-477, 2017.

PIRANI, J. R. A revision of *Helietta* and *Balfourodendron* (Rutaceae-Pteleinae). **Brittonia**, Nova York v. 50, n. 3, p. 348-380, 1998.

PIRANI, J. R. Rutaceae In: WANDERLEY, M.G.L.; SHEPHERD, G.J.; GIULIETTI, A.M.; MELHEM, T.S.; BITTRICH, V.; KAMEYAMA, C. **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2002. vol. 2, pp: 281-308.

Potencial Florestal – Fibras, Floresta, Biomassa. Conheça as características do Eucalipto. 2019. Disponível em: <https://potencialflorestal.com.br/Características-eucalipto/> Acesso em 23 de abril de 2020.

POZZI, H.; SANCHEZ, E.; COMIN, J. Studies on argentine plants—XXII: Heliettin, a new furocoumarine from *Helietta longifoliata* Britt. **Tetrahedron**, Pasadena, v. 23, n. 3, p. 1129-1137, 1967.

PURVIS, A.; GITTLEMAN, J. L.; COWLISHAW, G.; MACE, G. M. Predicting extinction risk in declining species. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, Toronto, v. 267, n. 1456, p. 1947-1952, 2000.

RADINS, J. A. **Fotografia de Helietta apiculata** Benth. 2014. Flora de Misiones. Disponível em: <<http://florademisiones.blogspot.com/2014/03/helietta-apiculata-benth.html>>. Acesso em 18 de abril de 2020.

RAJENDRAN, S.; SRIRANJINI, V. Plant products as fumigants for stored-product insect control. **Journal of Stored Products Research**, Manhattan, v. 44, n. 2, p. 126–135, 2008.

RAND, G. M. (Ed.). **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment**. CRC press, 1995.

RESTELLO, R. M.; MENEGATTI, C.; MOSSI, A. J. Efeito do óleo essencial de *Tagetes patula* L. (Asteraceae) sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 53, n. 2, p. 304-307, 2009.

REIS, C. A. F.; SANTOS, A. M.; PACHECO, A. R. Potencialidades e desafios para o melhoramento genético de eucaliptos aos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE), 2021. In: OLIVEIRA, E. B.; PINTO JUNIOR, J. E. (Ed.). **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 34. p. 1133-1146.

RIBEIRO, W. L. C.; MACEDO, I. T. F.; SANTOS, J. M. L.; OLIVEIRA, E. F.; CAMURÇA-VASCONCELOS, A. L. F.; PAULA, H. C. B. BEVILAQUA, C.; M. L. Activity of chitosan-encapsulated *Eucalyptus staigeriana* essential oil on *Haemonchus contortus*. **Experimental parasitology**, Amsterdã, v. 135, n. 1, p. 24-29, 2013.

RODRIGUES, J. B. **“Hortus Fluminensis”, ou Breve Notícia sobre as plantas cultivadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro: para servir de guia aos visitantes**. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1989.

ROEL, A. R.; VENDRAMIM, J. D.; FRIGHETTO, R. T. S.; FRIGHETTO, N. Efeito do extrato acetato de etila de *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) no desenvolvimento e sobrevivência da lagarta-do-cartucho. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2000.

SALGADO, A. P. S. P.; CARDOSO, M. D. G.; SOUZA, P. E. D.; SOUZA, J. A. D.; ABREU, C. M. P.; PINTO, J. E. B. Avaliação da atividade fungitóxica de óleos essenciais de folhas de Eucalyptus sobre *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*

e *Bipolaris sorokiniana*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 249-254, 2003.

SAITO, M. L. As plantas praguicidas: alternativa para o controle de pragas da agricultura. **Embrapa Meio Ambiente**. Jaguariúna, v.12. p. 1-4. 2004.

SANINI, C.; MASSAROLLI, A.; KRINSKI D.; BUTNARIU, A. R. Essential oil of spiked pepper, *Piper aduncum* L. (Piperaceae), for the control of caterpillar soybean looper, *Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo v. 40, n. 2, p. 399-404, 2017.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Monitoramento semidetalhado (escala de 1: 250.000) de ocupação de solos do Cerrado: considerações e proposta metodológica. **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, INPE: Goiânia: v. 12, p. 3309-3316, 2005.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, **Embrapa**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153-156, jan. 2008.

SANTOS, A. S. **Fotografia de** *Helietta apiculata* Benth. 2013. Flora digital. Disponível em: < [http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open\\_sp.php?img=9798](http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=9798) >. Acesso em 18 de abril de 2020.

SANTOS, P. E. T.; PALUDZYSZYN FILHO, E.; RIBASKI, J.; DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. Melhoramento genético e lançamento de cultivares. Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE), 2021. In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. (Ed.). **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 2. p. 113-170.

SAWYER, D. População, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no cerrado. In: HOGAN, D. J.; HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. **Migração e ambiente no Centro-Oeste**. Campinas: PRONEX, 2002, p. 279-299.

SCHMITT, D. M. N. **A PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS SOJICULTORES NO MUNICÍPIO DE PALMEIRANTE-TO.** 2009. 88f. Dissertação (Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia - PPG-CASA) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

SHIKI, S. Sistema agroalimentar no Cerrado brasileiro: caminhando para o caos. Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado brasileiro, **EMBRAPA/CNPAMA**, Uberlândia, p. 135-167, 1997.

SIBBR – Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. **Myrtaceae**. Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil e Lista da Flora do Brasil 2020. Disponível em: <<https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/364526>>. Acesso em 22 de abril de 2020.

SIBBR – Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. ***Helietta apiculata* Benth.** Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil e Lista da Flora do Brasil 2020. Disponível em: <[https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/366013#tab\\_recordsView](https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/366013#tab_recordsView)>. Acesso em 19 de abril de 2020.

SIBBR – Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. **Rutaceae**. Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil e Lista da Flora do Brasil 2020. Disponível em: <<https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/364649>>. Acesso em 19 de abril de 2020

SILOTO, R. C. **Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho.** 2002. 93f. Tese (Doutorado em Entomologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, D. M. P. **Identificação de fontes de resistência em milho a *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em condições de casa-de-vegetação e campo.** 1995. 95f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) - UFRP, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SIMMONS, A. L.; WISEMAN, B. R. James Edward Smith – Taxonomic Author of the fall armyworm. **Florida Entomologist**, Lutz, n. 76, p. 271-276, 1993.

SIMÕES, C. M. O. **Farmacognosia: do Produto Natural ao Medicamento**. 1ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 502p.

SIMOTE, S. Y. **Estudo fitoquímico de *Helietta puberula* (Rutaceae), *Simarouba versicolor* (Simaroubaceae) e busca de um processo de microencapsulação de compostos ativos visando o controle de formigas cortadeiras**. 2006. 232f. Tese (Doutor em Química). Centro de Ciências Exatas e de tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

SOSA-GÓMEZ, D R; DELPIN K E; MOSCARDI F; NOZAKI M H. The impact of fungicides on *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson epizootics and on populations of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), on soybean. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n.2, p. 287-291, 2003.

SOSA-GÓMEZ, D. R.; FERREIRA, B. S. C.; CAMPO, C. B. H.; CORSO, I. C.; OLIVEIRA, L. J.; MOSCARDI, F.; PANIZZI, A. R.; BUENO, A. F.; HIROSE, E.; ROGGIA, S. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. 3ed. Embrapa Soja, Londrina, 2014.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. 2ed. Instituto Plantarum: Nova Odessa, 2008.

SPARKS, A. N. A review of the biology of the fall armyworm. **Florida Entomologist**, Nova Iorque, n. 62. p. 82- 87, 1979.

SPECHT, A.; PAULA-MORAES, S. V.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 59, n. 4, p. 343-345, 2015.

STURION, J. A.; BELLOTE, A. F. J. Implantação de povoamentos florestais com espécies de rápido crescimento. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**, Brasília: Embrapa Florestas, v. 1, n. 1, 2000.

THEUMANN, D. F.; COMIN, J. Isolation of isobauerenol from *Helietta longifoliata*. **Phytochemistry**, Nantes, v. 8, n. 4, p. 781-783, 1969.

TOSCANO, G. C.; CALADO FILHO, L. C.; CARDOSO, A. M.; MARUYAMA, W. I.; TOMQUELSKI, G. V. Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) e seus inimigos naturais em milho safrinha cultivado em Cassilândia e Chapadão do Sul, MS. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 2, p. 223-231, 2012.

TUME – Teste de uso múltiplo de Eucalyptus. Botânica de *Eucalyptus spp.* 2003. Departamento de ciências florestais. ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP - Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.tume.esalq.usp.br/botanica.htm>>. Acesso em: 23 de abril de 2021.

VÁZQUEZ, W.C. **Biologia comparada de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) (Lepidóptera: Noctuidae) em dietas naturais e artificiais e efeito de um vírus de poliedrose nuclear na sua mortalidade e no consumo da área foliar da soja.** 1988. 164f. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VILELA, M. J. A. Desafios ambientais da expansão do plantio de eucalipto no cerrado-Três Lagoas, MS, Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, Três Lagoas, p. 123-140, 2011.

VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. Óleo essencial de eucalipto. In: **Documentos florestais Nº17**. Piracicaba: Esalq/USP, 2003. p.1-26.

WANGEN, D. R. B.; PEREIRA JÚNIOR, P. H. S.; SANTANA, W. S. Controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) na cultura do milho com inseticidas de diferentes grupos químicos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 801-808, 2015.

WANZALA, W.; HASSANALI, A.; MUKABANA, W.R.; TAKKEN, W. Essential oils of indigenous plants protect livestock from infestations of *Rhipicephalus appendiculatus* and other tick species in herds grazing in natural pastures in western Kenya. **Journal of pest science**, Innsbruck, v. 91, n. 1, p. 395-404, 2018.

WILSON, P.G. 2011. Myrtaceae. In: Kubitzki, K. (ed.). **The families and genera of vascular plants, Flowering Plants**, Eudicots, Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. Volume X. Pp. 212-271.

WRIGHT, H. L.; LAKE, I. R.; DOLMAN, P. M. Agriculture—a key element for conservation in the developing world. **Conservation Letters**, Brisbane, v. 5, n. 1, p. 11-19, 2012.

ZANON, G. **Análise Fitoquímica e Estudo das Atividades Antimicrobiana, Antioxidante e de Inibição da Enzima Acetylcolinesterase das espécies *Zanthoxylum rhoifolium* e *Zanthoxylum hyemale***. 2010. 174f. Dissertação (Mestre em Química) – Centro de Ciências Naturais e Exatas Programa de Pós-graduação em Química. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ZHANG, L. J.; WU, Z. L.; WANG, K. F.; LIU, Q.; ZHUANG, H. M.; WU, G. Trade-off between thermal tolerance and insecticide resistance in *Plutella xylostella*. **Ecology and evolution**, Sheffield, v. 5, n. 2, p. 515-530, 2015.

ZUCCHI, R. A.; SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O. **Guia de identificação de pragas agrícolas**. 139f., Fundação de Estudos Agrícolas Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1993.

## 6. Artigos

**Artigo I: Caracterização química e avaliação do potencial inseticida dos óleos essenciais de *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) em *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Noctuidae)**

**Luiz Octávio Gonzales Ferreira**

### Resumo

A lagarta-falsa-medideira *Chrysodeixis includens* é uma das principais pragas da soja, atingindo também a produção de outras culturas como algodão, feijão, fumo e girassol. O controle da lagarta com inseticidas químicos sintéticos, quando mal manejados leva a preocupações ambientais e de saúde, além de aumentarem o desenvolvimento de resistência a inseticidas em pragas de insetos. Dessa forma objetivou-se realizar a caracterização química e avaliar o potencial inseticida dos óleos essenciais de *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla* em larvas de terceiro instar de *Chrysodeixis includens*. As folhas de exemplares das 3 plantas foram coletadas no período matutino em fevereiro de 2017, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Os óleos foram extraídos por sistema de hidrodestilação utilizando o aparelho de Clevenger e submetidos a análise por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM). Os insetos, criados em dieta artificial a base de feijão branco e gérmen de trigo em laboratório. A caracterização química reconheceu 23 compostos para *E. grancam*, 18 compostos *E. urocam* e 29 compostos para *E. urophylla*, e os compostos majoritários, identificados em comum nas três espécies, foram o 1-8 cineol e o  $\alpha$ -pineno. Com a análise por componentes principais (ACP) dos três OEs foi possível constatar que os compostos majoritários têm maior contribuição para a caracterização dos OEs e contribuem fortemente para os valores obtidos das  $DL_{50}$  e  $CL_{50}$ . Todos os óleos apresentaram potencial inseticida para larvas de terceiro instar de *C. includens*, sendo que os óleos de *E. urocam* e *E. urophylla*, apresentaram toxicidade semelhantes e, também, são mais tóxicos que o *E. grancam*.

**Palavras-chave:** Produtos Naturais; Controle Sustentável; Inseticidas Botânicos; Óleos essenciais; Eucalipto; Lagarta-falsa-medideira.

## **Chemical characterization and evaluation of the insecticidal potential of the essential oils of *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla* (Myrtaceae) in *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Noctuidae)**

### **Abstract**

The soybean looper *Chrysodeixis includens* is one of the main pests of soybean, also affecting the production of other crops such as cotton, beans, tobacco and sunflower. The control of the caterpillar with synthetic chemical insecticides, when mishandled, leads to environmental and health concerns, in addition to increasing the development of insecticide resistance in insect pests. Thus, the objective was to perform the chemical characterization and evaluate the insecticidal potential of the essential oils of *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* and *Eucalyptus urophylla* in third instar larvae of *Chrysodeixis includens*. The leaves of specimens of the 3 plants were collected in the morning period in February 2017, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. The oils were extracted by hydrodistillation system using the Clevenger apparatus and subjected to analysis by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). The insects, reared on an artificial diet based on white beans and wheat germ in the laboratory. Chemical characterization recognized 23 compounds for *E. grancam*, 18 compounds for *E. urocam* and 29 compounds for *E. urophylla*, and the major compounds identified in common in the three species were 1-8 cineole and  $\alpha$ -pinene. With the principal component analysis (PCA) of the three EOs, it was possible to verify that the major compounds have a greater contribution to the characterization of the EOs and strongly contribute to the values obtained for the LD<sub>50</sub> and LC<sub>50</sub>. All oils showed insecticidal potential for third instar larvae of *C. includens*, and the oils of *E. urocam* and *E. urophylla* showed similar toxicity and, also, are more toxic than *E. grancam*.

**Keywords:** Natural products; Sustainable Control; Botanical Insecticides; Essential oils; *Eucalyptus*; Soybean looper.

## Introdução

Uma das principais pragas da soja, *Glycine max* (L.), a lagarta-falsa-medideira *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Noctuidae), tornou-se um dos maiores problemas dessa cultura. Devido ao manejo inadequado de fungicidas e inseticidas fez com que a lagarta se tornasse a praga chave da cultura, em decorrência da redução de seus inimigos naturais (SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2003). Essa praga também atinge outras culturas como algodão, feijão, fumo e girassol (BUENO *et al.*, 2009).

O controle dessa praga é realizado comumente por um amplo espectro de inseticidas químicos, pois, em sua fase larval, tem o comportamento de se alimentar das folhas do dossel medial, até abaixar as plantas, dificultando o seu controle. Tal característica implica em manejo específico, uma vez que os inseticidas precisam ser aplicados na parte inferior e interna das plantas, demandando por grandes quantidades e dosagens mais altas desses produtos (DEGRANDE e VIVAN, 2008; SOSA-GÓMEZ *et al.*, 2014).

Em decorrência do uso excessivo de inseticidas, a lagarta-falsa-medideira tem se mostrado mais resistência aos princípios ativos disponíveis no mercado (ÁVILA *et al.*, 2008; BERNARDI *et al.*, 2012). Essa resistência aponta para a necessidade da busca por novos produtos de baixo impacto ambiental e de menor risco de evolução para resistência, uma realidade no agroecossistema da soja (BOTELHO *et al.*, 2018).

Segundo Krinski *et al.* (2014) novos métodos vêm sendo estudados para o controle de pragas, como a utilização de extratos de plantas e óleos essenciais (OEs) com potencial inseticida, um novo caminho para uma agricultura mais sustentável.

Os óleos essenciais (OEs) são constituídos por muitos componentes químicos e, entre eles, muitos apresentam múltiplas propriedades que possuem potencial para o controle de pragas, tais como ação de toxicidade, repelência e deterrência alimentar e de oviposição. Logo, por serem substâncias voláteis, possuem um baixo efeito residual, assim considerados biodegradáveis (ISMAN, 2000; PAVELA, 2009).

Entre as espécies aromáticas que produzem esses óleos está o gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, nativo da Austrália, que possui cerca de 700 espécies e híbridos de *Eucalyptus*, das quais 300 espécies são

extraídas os óleos essenciais com diversas aplicações (VUONG *et al.*, 2015). Por sua ampla capacidade adaptativa edafoclimática, o gênero apresenta uma das mais notáveis distribuição de espécies, sendo comum em sistemas de manejo e usos, tanto em florestas nativas ou plantadas, sendo encontradas em diversas partes do mundo (BROOKER e KLEINIG, 2006; FURLAN, 2018).

A maioria das espécies de *Eucalyptus* é perene e se apresenta na forma de árvores com alturas variando de 20 até 80 metros dependendo da espécie, com folhagem perfumada e ricas em glândulas sebáceas, fato que as torna uma excelente fonte de óleos que são utilizados na indústria farmacêutica e perfumaria (FERREIRA, 1992; BROOKER e KLEINIG, 2006).

Segundo Green (2002), as espécies mais comuns que produzem óleos são: *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus polybractea* e *Eucalyptus camaldulensis*, sendo que a espécie que apresenta maior volume de produção comercial e comercialização é o *C. citriodora*.

Os OEs obtidos das folhas de eucaliptos possuem efeito de toxicidade sobre insetos, e a eficácia da atividade inseticida é governada por seus constituintes químicos, em especial pelos monoterpenos como 1,8-cineol ou eucaliptol e, portanto, atuam como inseticidas naturais (CHAGAS *et al.*, 2002; BATISH *et al.*, 2008). Esses compostos são formados pelo metabolismo secundário das plantas e podem estar relacionados tanto à defesa da planta, como às condições edafoclimáticas e ao ataque de insetos (VITTI e BRITO, 2003).

As investigações realizadas com os OEs de eucalipto e sua eficácia colocaram esses óleos como pesticidas seguros, logo na categoria de substâncias “GRAS” (*Generally Recognized As Safe*), por Alimentos e “Drug Authority of USA” e classificado como não tóxico (USEPA, 1993).

Por essa eficácia e segurança os óleos de eucalipto continuam sendo investigados exaustivamente contra vários estágios de vida de diferentes pragas que atacam a agricultura brasileira. Assim, o propósito desta investigação foi realizar a caracterização química dos óleos essenciais de *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla* e avaliar o potencial inseticida em larvas de terceiro instar de *Chrysodeixis includens* (WALKER, 1858) (Noctuidae).

## **Material e Métodos**

### **Coleta do material botânico e registro**

As folhas novas e maduras de *Eucalyptus grancam* (*E.g*), *Eucalyptus urocam* (*E.ur*) e *Eucalyptus urophylla* (*E.up*), com seis anos de idade, foram coletadas, entre 07:00h e 08:00h (MING, 1996), em fevereiro de 2017, de 4 matrizes cultivadas em uma área experimental da Universidade, Campus Agrárias, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil ( $20^{\circ}26'20.64''S$ ;  $54^{\circ}32'26.78''O$ ). Para a colheta utilizou-se de um podão de galhos tipo cordel, com a altura média de 3m do solo e amostras de cada um dos exemplares foram depositados no Herbário da instituição, com os seguintes números de registro no livro 03: *E. grancam* nº8317, página 67, *E. urocam* nº8318, página 67, *E. urophylla* nº8319, página 67.

### **Obtenção do óleo essencial**

A extração dos óleos essenciais ocorreu no Laboratório de Pesquisa em Entomologia da Universidade, utilizando 200 g de folhas frescas de cada uma das três amostras, após Trituração com água destilada pelo método de turbólise por cerca de 3 minutos. As amostras foram acondicionadas em balões volumétricos com capacidade para 2L e submetidos ao processo de hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger por duas horas. Os três óleos obtidos após a secagem com sulfato de sódio anidro foram acondicionados em ampolas de vidro âmbar a  $4 \pm 2^{\circ}C$  em freezer.

O rendimento dos OES de cada extração foi calculado por meio do peso seco da planta e o teor de umidade da amostra, em um analisador de umidade por infravermelho (IV2500, GEHAKA), para medição da perda de água.

### **Análise dos constituintes químicos dos Óleos Essenciais de *E. grancam* (*E.g*), *E. urocam* (*E.ur*) e *E. (E.up)***

As análises dos três óleos foram realizadas no Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e Laboratório de Bioprospecção e Biologia Experimental (LabBBEx) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), com uso de equipamentos de cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM) e cromatografia em fase gasosa com detector de ionização de chamas (CG-DIC).

Para a identificação dos constituintes químicos, amostras do óleo foram injetadas no sistema (CG-EM) utilizando uma coluna capilar de sílica fundida Rx-5ms (Restek Corporation, Bellefonte, PA) de 30 m x 0,25 mm (diâmetro) x 0,25 µm (espessura da película), revestida com 5% de difenildimetilpolisiloxano. As condições de análise foram: temperatura do injetor de 250°C; programação de temperatura do forno de 60-240°C (3°C/min); Hélio (99.995%) como gás transportador, ajustado a uma velocidade linear de 36,5 cm/sec (taxa de 1,0 mL min<sup>-1</sup>); injeção no modo split de 1 uL da amostra (5 uL do óleo essencial em 500 uL de hexano); razão split 1:20; ionização por impacto eletrônico (EI) 70 eV; temperatura da fonte de ionização e da linha de transferência de 200 e 250 °C, respectivamente. Os espectros de massa foram obtidos por varredura automática, a 0,3 segundos, com fragmentos de massas na faixa de 35-400 m/z.

Para a identificação e quantificação dos compostos voláteis, as amostras do óleo foram injetadas no sistema (CG-DIC) nas seguintes condições: coluna capilar de sílica fundida Rtx-5ms (Restek Corporation, Bellefonte, PA) de 30 m x 0,25 mm (diâmetro) x 0,25 µm (espessura da película), revestida com 5% de difenildimetilpolisiloxano; temperatura do injetor de 250°C; temperatura do detector DIC de 260°C; injeção no modo split de 1 uL da amostra (5 uL do óleo essencial em 500 uL de hexano); razão split 1:20; programação de temperatura do forno de 60-240°C (3°C/min); Hélio (99.995%) como gás transportador, ajustado a uma velocidade linear de 36,5 cm/sec (taxa de 1,62 mL min<sup>-1</sup>). Hidrogênio e ar a 40 e 400 mL/min, respectivamente, foram utilizados no CG-DIC, com nitrogênio (30 mL/min) agindo como gás de compensação.

Os compostos existentes nos cromatogramas foram identificados por meio da comparação de seus espectros de massas (massa molecular e o padrão de fragmentação) com os espectros existentes na biblioteca do sistema e na literatura, além da comparação de seus índices de retenção (ADAMS, 2007; NIST, 2007).

Os índices de retenção foram calculados de acordo com a equação linear de Van Den Dool e Kratz (1963), que relaciona o tempo de retenção dos compostos ao tempo de retenção de uma série de hidrocarbonetos homólogos (Equação 1). Para isso, foi plotada uma curva de calibração com uma série de n-alcanos C8-C20 (Sigma-Aldrich) injetados nas mesmas condições cromatográficas das amostras.

Equação 1:

$$Al_{(x)} = 100 P_z + 100 \frac{[(RT_{(x)} - RT(P_z)]}{[(RT(P_{z+1}) - RT(P_z))]}$$

Onde:

$Al_{(x)}$ : índice retenção aritmético do composto alvo X

$100P_z$ : índice de retenção aritmético do hidrocarboneto anterior a X

$RT_{(x)}$ : tempo de retenção do composto alvo

$RT(P_z)$ : Tempo de retenção do hidrocarboneto anterior a X

$RT(P_{z+1})$ : tempo de retenção do hidrocarboneto posterior a X

### Criação de insetos

Os adultos de *C. includens* foram mantidos em gaiolas confeccionadas em tubos de Policloreto de polivinila, PVC (20 cm de diâmetro x 20 cm de altura), alimentados com solução de mel a 10%, para obtenção dos ovos. Essas gaiolas foram cobertas com tecido “voil” na parte superior e revestidas internamente com folhas de papel sulfite, que serviram para substrato de oviposição. Na parte inferior, as gaiolas foram colocadas sobre pratos plásticos. As posturas são removidas diariamente, recortadas e acondicionadas nos potes plásticos de 50 mL com dieta.

A criação das lagartas é mantida em dieta artificial a base de feijão branco e gérmen de trigo (GREENE *et al.*, 1976) em sala climatizada com  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , fotoperíodo positivo de 14 horas e umidade relativa de  $70 \pm 5\%$ .

Ao atingirem o segundo ínstar (cerca de 7 mm), as lagartas são transferidas em grupos de três a quatro indivíduos para os novos potes de 50 ml com dieta. Esses recipientes são fechados com tampas e mantidos em sala climatizada. As lagartas permanecem nos recipientes da criação até a formação das pupas. As pupas são retiradas dos recipientes e sexadas, em seguida, agrupadas em casais (aproximadamente 40) no interior de caixas plásticas do tipo Gerbox com as dimensões 11x11 e 3,5cm de altura, contendo na base 1cm de vermiculita umedecida com água. Esses recipientes são acondicionados no interior de novas gaiolas para emergência dos adultos. As larvas utilizadas nos bioensaios estavam no 3º instar de desenvolvimento e com 9 dias de vida.

## Bioensaios

### Exposição por aplicação tópica

Foi feita uma solução estoque com o óleo essencial a 2% (0,2 de óleo essencial/9,8 de acetona) e, posteriormente, foram feitas soluções nas seguintes concentrações de 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5%, para a determinação da curva dose-mortalidade. As seguintes doses foram aplicadas: 0,0025; 0,0050; 0,0075; 0,010 e 0,015  $\mu\text{L}$  inseto $^{-1}$ , além do controle contendo apenas acetona.

O bioensaio foi constituído na aplicação de 1  $\mu\text{L}$  de cada concentração na região protoráctica das lagartas no terceiro instar; posteriormente, as lagartas foram acondicionadas em grupos de cinco indivíduos, por placas de Petri com 60 mm x 10 mm de diâmetro e fundo forrado com papel filtro. Assim, foram utilizadas seis placas por diluição (total de 30 insetos por dose), contendo a mesma dieta artificial da criação. Após 24 horas, foi avaliada a mortalidade utilizando um pincel filete 110 cerda macia; cada lagarta recebia um toque sutil e, não havendo nenhuma resposta ao toque, eram consideradas mortas. O mesmo procedimento foi feito por dose e repetição. Os dados obtidos foram tabulados e calculadas as Doses Letais 50 e 90 (DL<sub>50</sub> e DL<sub>90</sub>) por meio da análise de Probit (FINNEY, 1971). A semelhança das toxicidades foi comparada por meio da sobreposição intervalos de confiança (95%) das Doses Letais médias.

### Exposição por superfície de contato

Foi produzida uma solução estoque com o óleo essencial a 2% e, posteriormente, foram feitas diluições nas seguintes concentrações: 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5 e 2,0% para a determinação da curva concentração-mortalidade, com as seguintes concentrações aplicadas 0,026; 0,053; 0,079; 0,106; 0,159 e 0,212  $\mu\text{L cm}^{-2}$ , além do controle, contendo apenas o solvente (acetona).

Foram aplicados 0,3 mL de solução ou solvente em todo o papel filtro de 60 mm de diâmetro, sendo os mesmos mantidos em placas de Petri de igual tamanho, abertas até ocorrer a evaporação do solvente. Após sua evaporação, foram liberadas sobre o papel filtro cinco lagartas no terceiro instar, com 2 g de dieta artificial, por placas, sendo utilizadas seis placas por diluição (total de 30 insetos por concentração). Após 24 horas foi avaliada a mortalidade dos insetos utilizando o mesmo procedimento do teste por exposição por aplicação tópica. Os dados obtidos foram submetidos à análise de Probit (FINNEY, 1971),

obtendo-se as Concentrações Letais de 50 e 90 (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>). A semelhança das toxicidades foi comparada por meio da sobreposição dos intervalos de confiança (95%) das Concentrações Letais médias.

Posteriormente foi realizada Análise de Componentes Principais (ACP), que é uma maneira de identificar a relação entre características extraídas dos dados obtidos nas outras análises.

## Resultados e discussão

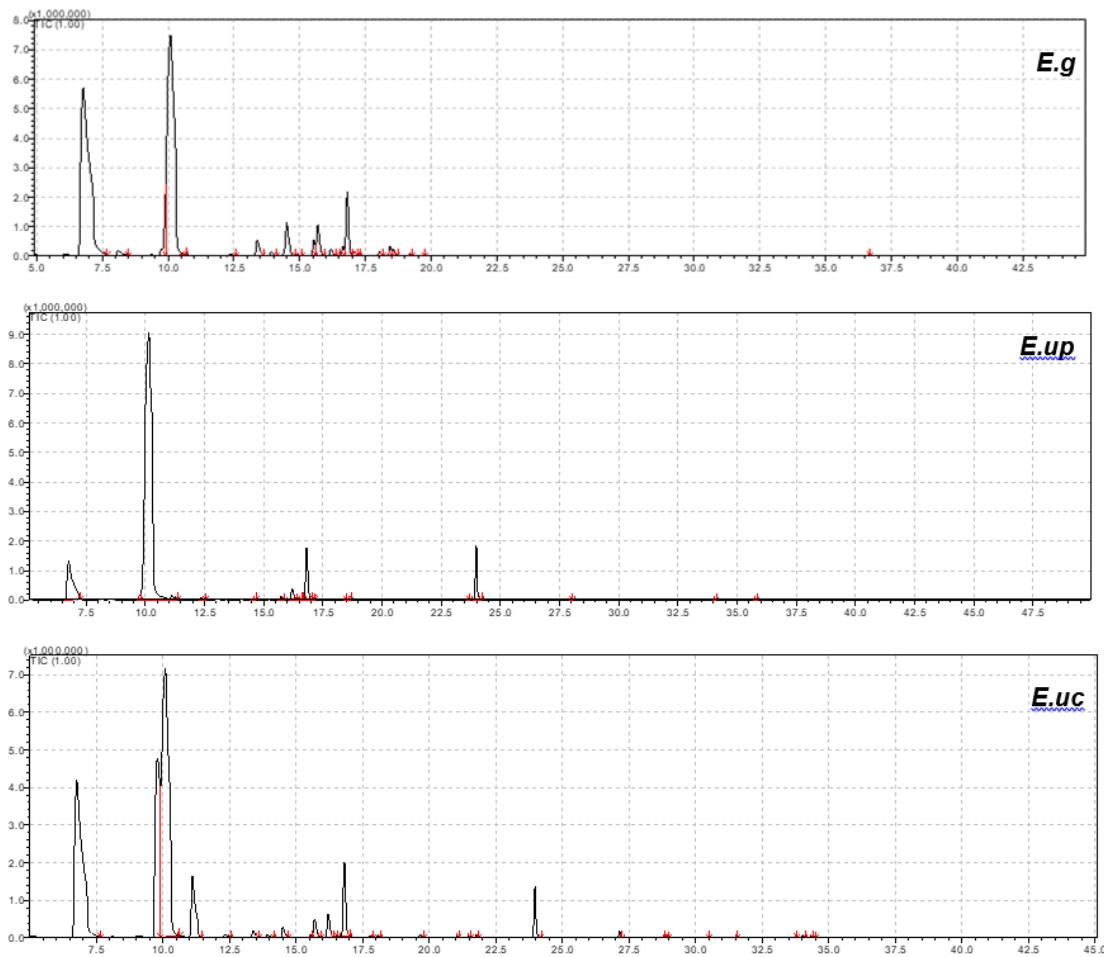
### Constituintes químicos dos óleos essenciais *Eucalyptus grancam*, *Eucalyptus urocam* e *Eucalyptus urophylla*

Os óleos essenciais de *Eucalyptus grancam* (*E.g*), *Eucalyptus urocam* (*E.ur*) e *Eucalyptus urophylla* (*E.up*), extraídos por hidrodestilação em aparelho Clevenger proporcionou rendimentos de 0,014%, 0,02% e 0,01% (mL/g), respectivamente.

Na amostra do óleo essencial de *E. grancam* (*E.g*) foi possível identificar 22 compostos, correspondendo a 99,98% da composição total do óleo obtido (Figura 1 e Tabela 1), com predominância dos constituintes dos monoterpenos  $\alpha$ -pineno (39,14%) e 1,8-Cineol (43,77%), com compostos majoritários na faixa entre 39,14 e 43,77% e os componentes minoritários, na faixa entre 0,02 e 4,55%.

Para o óleo essencial de *E. urocam* (*E.ur*) foi identificado 17 compostos, correspondendo a 99,85% da composição total no óleo obtido (Figura 1 e Tabela 1). O constituinte majoritário também foi o monoterpeno 1,8-Cineol (77,71%) seguido do  $\alpha$ -terpineol (5,13%), os componentes minoritários, na faixa entre 0,03 e 9,4%.

No óleo essencial de *E. urophylla* (*E.up*) foi identificado 24 compostos, correspondendo a 99,85% da composição total no óleo (Figura 1 e Tabela 1). Como ocorreu nas amostras dos dois outros óleos o monoterpeno 1-8 cineol (39,1%) foi majoritário, seguido dos monoterpenos  $\alpha$ -pineno (25,7%) e p-cimeno (18,75%), os componentes minoritários, na faixa entre 0,02 e 5,09%.



**Figura 1.** Cromatogramas dos óleos essenciais das folhas de *Eucalyptus grancam* (E.g), *Eucalyptus urocam* (E.ur) e *Eucalyptus urophylla* (E.up), coletadas na área experimental da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campus Agrárias, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Considerando os grupos químicos presentes nos três OEs estudados, os níveis mais elevados do monoterpeno oxigenado, um éter cíclico, o 1,8-Cineol, conhecido como eucaliptol, foi encontrado nos três OEs, *E. grancam* (43,77%), *E. urocam* (77,71%) e *E. urophylla* (39,1%), seguido do conteúdo de  $\alpha$ -pineno, um monoterpeno hidrocarboneto, 39,14%, 9,4% e 25,7% respectivamente.

O *p*-cimeno (18,75 %), um monoterpeno aromático, foi o terceiro majoritário para o *E. urophylla*, também presentes nos outros óleos com menor % (*E. urocam* - 0,48% e *E. grancam* - 0,41%). O  $\alpha$ -terpineol, álcool monoterpeno, foi o terceiro conteúdo encontrado nos óleos de *E. grancam* (4,55%) e *E. urocam* (5,13%) e o quinto para o *E. urophylla*  $\alpha$ -terpineol na mesma proporção (4,01%).

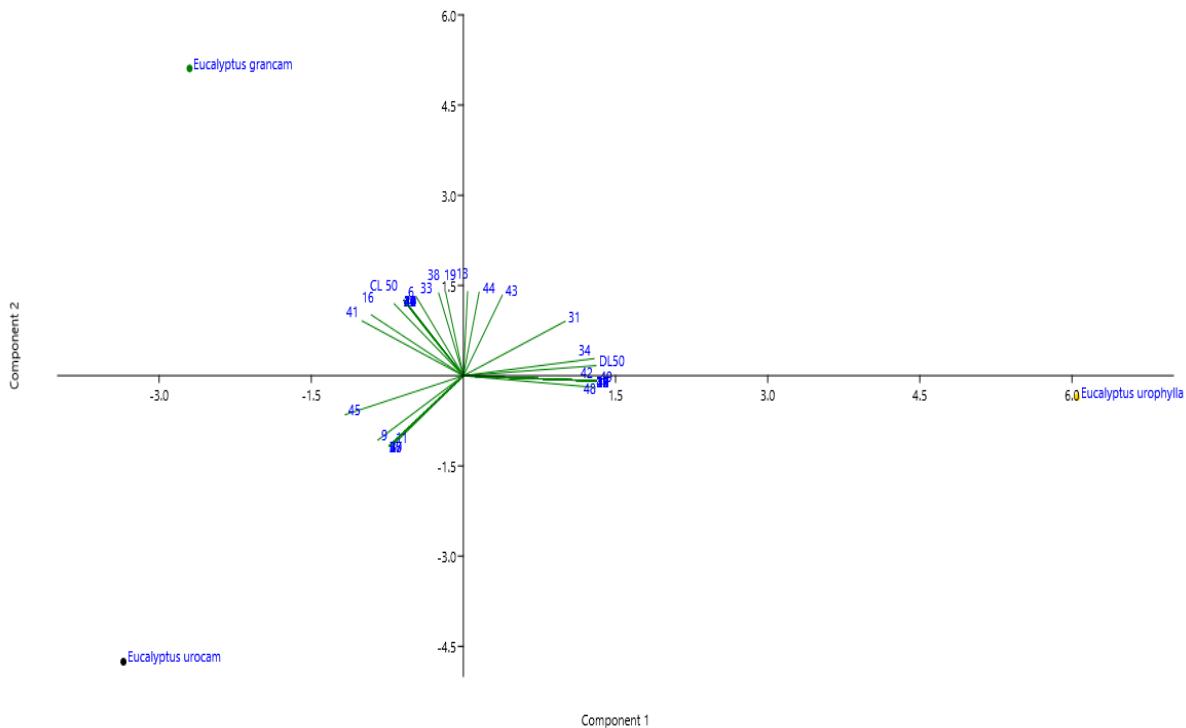
**Tabela 1.** Constituintes, Composição química dos óleos essenciais de folhas de *Eucalyptus grancam* (*E.g*), *Eucalyptus urocam* (*E.ur*) e *Eucalyptus urophylla* (*E.up*), coletadas na área experimental da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campus Agrárias, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

Compostos	TR	IRC	IRB	%		
				E.g	E.uc	E.up
$\alpha$ -pineno	934	934	932a	39,14	9,4	25,7
$\beta$ -pineno	977	977	973a	0,73	----	----
<i>p</i> -cimeno	1.025	1025	1020a	0,41	0,48	18,75
1,8-Cineol	1.033	1033	1026a	43,77	77,71	39,1
$\gamma$ -terpineno	1.058	1058	1054a		0,44	5,09
isoterpinoleno	1.089	1089	1085a	0,21	0,3	----
terpinoleno	1.089	1089	1086a	----	----	0,23
endo-fenchol	1.114	1114	1114a	1,4	----	0,46
$\alpha$ -canfolenal	1.126	1126	1122a	0,34		0,24
trans-6,6-Dimetil-2-						
metilenobiciclo [3.1.1] heptan-	1.139	1139	1135a	----	0,11	----
3-ol						
trans-pinocarveol	1.139	1139	1142a	3,06	----	0,64
hidrato de canfeno	1.149	1149	1145a	0,16	----	----
pinocarvona	1.163	1163	1160a	0,99	----	0,11
Borneol	1.166	1166	1165a	2,43	----	1,15
$\delta$ -terpineol	1.167	1167	1162a	----	0,33	----
4-terpineol	1.177	1177	1174a	----	1,21	----
trans- <i>p</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1177	1177	1187a	0,51	----	----
4-terpineol	1.178	1178	1174a	----	----	1,35
<i>p</i> -8-Cimenol	1.184	1184	1179a	0,05	----	0,07
trans-isocarveol	1187	1187	1189a	0,58	----	----
trans- <i>p</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1.187	1187	1187a	---	0,2	---
$\alpha$ -terpineol	1.191	1191	1186a	4,55	5,13	4,01
dihidro carveol	1.196	1196	1192a	----	0,04	----
mirtenol	1197	1197	1194a	0,3	----	----
trans-carveol	1219	1219	1218a	0,25	----	0,07
<i>cis</i> - <i>p</i> -Menta-1(7),8-dien-2-ol	1227	1227	1227a	0,56	0,17	----
(5E)-2,6-dimetil-2,5,7-octatrieno-4-ona	1.230	1230	1230a	----	0,12	----

(E)-Ocimenona	1230	1230	1235a	0,4	---	---
carvona	1244	1244	1239a	0,09	---	---
piperitona	1.254	1254	1249a	0,03	---	0,11
timol	1.285	1285	1289a	---	---	0,09
carvacrol	1.294	1300	1298a	---	---	0,04
acetato de $\alpha$ -terpenila	1.301	1350	1350a	---	3,97	0,08
<i>E</i> -Cariofileno	1.350	1423	1417a	---	---	2,02
<i>E</i> - $\alpha$ -isometil ionol	1.423	1461	1458a	---	---	0,24
( <i>Z</i> )- $\beta$ -farneseno	1.443	1443	1443a	---	0,03	---
biciclogermacreno	1.464	1499	1500a/ 1497b	---	---	0,03
$\delta$ -candineno	1.499	1526	1522a	---	---	0,06
óxido de cariofileno	1.581	1588	1582a	---	---	0,02
( <i>E,E</i> )-3,7,11-Trimetil-1,6,9,11-dodecatetraen-3-ol	1.588	1588	1596a	---	0,16	---
viridiflorol	1.588	1596	1592a	---	---	0,08
1-epi-cubenol	1.632	1632	1627a	---	0,05	---
$\beta$ -eudesmol	1655	1655	1649a	0,02	---	---
<b>Total</b>				<b>100</b>	<b>99,98</b>	<b>100</b>
<b>Total Identificado</b>				<b>99,98</b>	<b>99,85</b>	<b>99,85</b>

TR= Tempo de Retenção. IRC= Índice de Retenção Calculado. IRB= Índice de Retenção da Biblioteca (a = Adams (2007); b = FFNSC).

Com a análise por componentes principais (ACP) dos três OEs (Figura 2) foi possível constatar que no eixo 1 da ACP explica 81,7% da matriz variância-covariância e o eixo dois 18,3%. Observa-se que os compostos majoritários têm maior contribuição para a caracterização dos OEs, como era esperado, e contribuem para os valores das DL<sub>50</sub> e CL<sub>50</sub> (Tabela 2).



**Figura 2.** Análise de componentes principais dos óleos essenciais das espécies híbridas de *Eucalyptus*, coletadas na área experimental da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campus Agrárias, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Os resultados obtidos para a determinação das doses letais dos três OEs de *E. grancam*, *E. urocam* e *E. urophylla* indicaram que ambos apresentaram toxicidade sobre larvas *C. includens*, quando aplicados por via tópica (TABELA 2), ajustando-se ao modelo proposto de Probit ( $p \geq 0,05$ ), nas seguintes doses ( $DL_{50}$ ): 0,027; 0,12; e 0,09  $\mu\text{L inseto}^{-1}$  e  $DL_{90}$ : 0,058; 0,021; e 0,020  $\mu\text{L inseto}^{-1}$ , respectivamente.

**Tabela 2.** Dose Letal (DL<sub>50</sub> e DL<sub>90</sub>) dos óleos essenciais das folhas de *E. grancam*, *E. urocam* e *E. urophylla* coletadas na área experimental da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campus Agrárias, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, sobre larvas de terceiro instar de *C. includens* pela técnica de Toxicidade Aguda Tópica ( $\mu\text{L inseto}^{-1}$ )

Óleo	N	DL <sub>50</sub> (IC95%) $\mu\text{L inseto}^{-1}$	DL <sub>90</sub> (IC95%) $\mu\text{L inseto}^{-1}$	D ( $\pm\text{EP}$ )	$\chi^2$	p
<i>E. grancam</i>	180	0,027 (0,022-0,033)	0,058 (0,050-0,072)	5,77 $\pm 0,80$	3,42	0,516
<i>E. urocam</i>	180	0,012 (0,009-0,019)	0,021 (0,018-0,027)	3,19 $\pm 0,50$	2,68	0,391
<i>E. urophylla</i>	180	0,09 (0,07-0,014)	0,020 (0,018-0,023)	6,97 $\pm 1,29$	1,37	0,769

N= número de indivíduos utilizados no bioensaio. IC= intervalo de confiança. EP= erro padrão. D= declividade.  $\chi^2$ = qui-quadrado. P= probabilidade.

A determinação das concentrações letais (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>) por superfície de contato dos OEs de *E. grancam*, *E. urocam* e *E. urophylla* (Tabela 3) indicaram que ambos os óleos apresentaram efeito tóxico sobre *C. includens*, com ajuste da curva concentração-mortalidade do modelo proposto por Probit ( $p \geq 0,05$ ), apresentando CL<sub>50</sub> de (0,080; 0,021 e 0,015  $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) e CL<sub>90</sub> de (0,119; 0,057 e 0,047  $\mu\text{L cm}^{-2}$ ) respectivamente. Estes resultados seguem o perfil DL<sub>50</sub> o que demonstram o potencial desses óleos no controle de *C. includens*.

Assim, todos os óleos testados possuem potencial para o controle desse inseto. Contudo, quando os intervalos de confiança se sobrepõem, os resultados são estatisticamente iguais quando se compara *E. urocam* e *E. urophylla*. Por sua vez, a comparação de *E. urocam* e *E. urophylla* com *E. grancam* mostram diferenças dos intervalos de confianças dos primeiros óleos, mesmo ocorrendo a sobreposição dos intervalos, os OEs de *E. urocam* e *E. urophylla* são mais tóxicos que o *E. grancam*.

**Tabela 3.** Concentração letal (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>) dos óleos essenciais das folhas de *E. grancam*, *E. urocam* e *E. urophylla* coletadas na área experimental da Universidade Anhanguera-Uniderp, Campus Agrárias, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, sobre larvas de terceiro instar de *C. includens* pela técnica de Toxicidade por Superfície de Contato ( $\mu\text{L cm}^{-2}$ )

Óleo	N	CL <sub>50</sub> (IC95%) $\mu\text{L/cm}^2$	CL <sub>90</sub> (IC95%) $\mu\text{L/cm}^2$	D ( $\pm\text{EP}$ )	$\chi^2$	P
<i>E. grancam</i>	180	0,080 (0,072-0,098)	0,119 (0,105-0,147)	8,45 $\pm 1,49$	1,89	0,689
<i>E. urocam</i>	180	0,021 (0,014-0,039)	0,057 (0,052-0,074)	5,77 $\pm 1,5$	2,51	0,572
<i>E. urophylla</i>	180	0,015 (0,008-0,026)	0,047 (0,031-0,060)	3,28 $\pm 1,44$	0,73	0,912

N= número de indivíduos utilizados no bioensaio. IC= intervalo de confiança. EP= erro padrão. D= declividade.  $\chi^2$ = qui-quadrado. P= probabilidade.

Como descrito por Silva *et al.* (2007), ao se comparar o potencial inseticida de diferentes substâncias, só se pode afirmar que uma substância é mais tóxica que a outra quando não ocorrer a sobreposição de seus intervalos de confiança. Caso isso aconteça, estatisticamente as toxicidades são semelhantes.

Contudo, ao se analisar a declividade da curva, o óleo de *E. urocam* apresentou uma menor variação em relação a dose/mortalidade. Essa resposta é mais homogênea em comparação com os demais óleos. No bioensaio de exposição por aplicação tópica para determinação das Doses Letais (DL<sub>50</sub> e DL<sub>90</sub>), as declividades dos óleos foram as seguintes: *E. urocam* (3,19), *E. grancam* (5,77) e *E. urophylla* (6,97).

Segundo Lira e Neto (2006), quanto menor a declividade da curva, mais homogênea é a resposta. Contudo, quando maior a declividade, mais heterogênea é a resposta, e indica que variações mínimas nas concentrações provocam grandes variações na mortalidade. Logo, isso indica que o óleo essencial de *E. urocam* é a amostra com resposta mais homogênea.

Como apresentado anteriormente, os óleos testados apresentaram potencial para o controle de *C. includens*. No bioensaio de exposição por

superfície de contato para determinação das Concentrações Letais (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>), nota-se que a relação de toxicidade se repetiu em comparação com o bioensaio anterior e ocorreu a sobreposição dos intervalos de confiança, indicando novamente que os OEs de *E. urocam* e *E. urophylla*, são estatisticamente iguais e mais tóxicos que o *E. grancam*.

Entretanto, ao se analisar a declividade da curva nesse bioensaio, o óleo que apresentou menor variação em relação a dose/mortalidade foi o *E. urophylla* (3,28), quando comparado com os demais óleos de *E. urocam* (5,77) e *E. grancam* (8,45). Com isso, é possível afirmar que o óleo essencial de *E. urophylla* tem a resposta mais homogênea que os demais óleos.

Ao analisar a quantidade de componentes nos OEs testados nota-se que o *E. urocam* apresenta menor diversidade de compostos, 18 compostos, em relação aos outros dois óleos e o mesmo apresenta um maior potencial inseticida. Logo é possível inferir que esses compostos podem estar agindo com maior sinergismo em comparação com os demais óleos no controle de *C. includens*.

Tak e Isman (2015) ao realizarem ensaios com o óleo essencial de alecrim, *Salvia rosmarinus* Spenn. (Lamiaceae), determinaram a presença dos compostos majoritários 1-8 cineol e cânfora com 37,6 e 20,2% respectivamente, e também foram testados individualmente e como uma mistura binária, 1,8-cineol e cânfora adquiridos comercialmente com pureza (99 e 96% respectivamente), nas quantidades equivalentes das doses letais de óleo de alecrim em lagartas de *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae: Plusiinae), obtiveram menor toxicidade quando aplicados de maneira individual do que em uma mistura binária, indicando que a associação desses compostos agiram de forma sinérgica. Logo, indicando o aumento da penetração de ambos os compostos quando misturados, mostrando a mesma bioatividade observada para maiores quantidades aplicadas individualmente. Logo a diminuição da tensão superficial, bem como o aumento da solubilidade da cânfora por 1,8-cineol, juntamente com a interação entre 1,8-cineol e a camada lipídica da cutícula do inseto podem explicar a penetração aprimorada da cânfora.

Segundo Cruz *et al.* (2014), o potencial inseticida de OEs está diretamente relacionado com as interações das diversas substâncias que os compõem, assim podendo ter interações de sinergismo ou de antagonismo.

Tak e Isman (2017) analisaram o óleo essencial de óleo de alecrim e os componentes majoritários isolados e em misturas binárias com diferentes proporções sobre larvas de *T. ni* e verificaram que 1,8-cineol e cânfora agiram de forma sinérgica, porém a medida que a concentração de cânfora se tornou maior na mistura binária, a penetração através da cutícula diminuiu, assim como a toxicidade da mistura e posteriormente houve a cristalização da canfora no tegumento do inseto. Dessa forma indicando que esses compostos apresentam interação sinérgica e a toxicidade está ligada diretamente com a proporção na mistura.

Jemâa *et al.* (2013) ao realizarem testes com os OEs das folhas coletadas em Korbous, Tunísia, verificaram que os compostos majoritários para *E. camaldulensis* foram 1,8-cineol (20,62) e  $\alpha$ -pineno (16,49%) e para *E. leucoxylon* foram 1,8-cineol (17,62),  $\alpha$ -pineno (32,73%) e globulol (14,67). Os autores avaliaram seu potencial inseticida por meio de fumigação sobre larvas de *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae), e constataram que houve mortalidade dos insetos em todas as concentrações e variou nas condições de ocupação do espaço.

Ribeiro *et al.* (2017) ao analisarem 12 OEs de espécies do gênero *Corymbia* e *Eucalyptus*, obtidos de folhas coletadas em plantas com cerca de 30 anos em Viçosa, Minas Gerais, encontrara 55 compostos, dos quais identificados e quantificados OEs, representando 89,3% e 97,5% da composição. Os compostos mais comuns encontrados foram 1,8-cineol (3,5 e 70,8%),  $\alpha$ -pineno (0,5 e 68,1%), citronelal (86,8%), *p*-cimeno (1,1 e 19,7%),  $\alpha$ -eudesmol (0,7 e 30,9%) e  $\alpha$ -felandreno (6,4 e 15,1%), os 12 óleos foram testados sobre a lagarta da couve *Ascia monuste orseis* (Lepidoptera, Pieridae), do qual apenas o óleo de *C. citriodora* exibiu mortalidade superior a 80%.

Segundo Duke (2016), entre os diversos compostos químicos presentes nos OEs de eucalipto o 1,8-cineol é o mais importante, pois é um composto característico do gênero *Eucalyptus*, e é responsável por uma variedade de propriedades pesticidas.

A composição química dos OEs de eucalipto possui atividade pesticida pela presença de alguns compostos como: 1,8-cineol, citronelal, citronelol, acetato de citronelil, *p*-cimeno, eucamalol, limoneno, linalol,  $\alpha$ -pineno,  $\gamma$ -terpineno,  $\alpha$ -terpineol, aloocimeno e aromadendreno (WATANABE *et al.*, 1993;

LI *et al.*, 1995; LI *et al.*, 1996; CIMANGA *et al.*, 2002; DUKE, 2016; BATISH *et al.*, 2006; SU *et al.*, 2006; LIU *et al.*, 2008).

Contudo, a bioatividade dos desses óleos depende diretamente da natureza dos constituintes e suas concentrações individual. Além disso, varia de acordo com a espécie, estação, localização, clima, tipo de solo, idade das folhas, regime de fertilidade, método de secagem do material vegetal e método de extração de óleo (BROOKER e KLEINIG, 2006).

Os ensaios realizados determinam que houve potencial inseticida das três espécies testadas e que ambas apresentaram dois compostos majoritários em comum: o 1-8 cineol e o  $\alpha$ -pineno. Na literatura, esses compostos já foram encontrados em outros óleos e que também apresentaram potencial inseticida em lepidópteros (INCEBOZ, *et al.*, 2015; TAK e ISMAN, 2015; TRIPATHI e MISHRA, 2016; MONTEIRO *et al.*, 2021), o que indica ser um bom parâmetro para o controle de *C. includens*. Além disso, por serem produtos naturais com baixo efeito residual, o uso desses óleos é benéfico tanto para o bem-estar humano e como para evitar danos ao meio ambiente.

## **Conclusão**

A caracterização química dos óleos essenciais das três espécies de *Eucalyptus* permite reconhecer 23 compostos para *E. grancam*, 18 compostos *E. urocam* e 29 compostos para *E. urophylla*. Os compostos majoritários, identificados em comum nas três espécies são o 1-8 cineol e o  $\alpha$ -pineno. Todos os óleos apresentaram potencial inseticida para larvas de terceiro instar de *C. includens*, sendo que os óleos de *E. urocam* e *E. urophylla*, apresentam toxicidade semelhantes e, também, são mais tóxicos que o *E. grancam*.

## **Agradecimentos**

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Universidade Anhanguera-Uniderp, através do pagamento de bolsa de estudo.

## Referências Bibliográficas

- ADAMS, R. P. 2007. **Identification of Essential Oils Components by Gás Chromatography/ Quadrupole Mass Spectroscopy**. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2007. 804p.
- ÁVILA, C.J.; SANTOS, V.; VILELA, E.F. Atração fatal. **Revista Cultivar: Grandes Culturas**, Pelotas, ano 9, n.103, p.17-19, 2008.
- BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; SETIA, N.; KAUR, S.; KOHLI, R. K. Chemical composition and phytotoxicity of volatile essential oil from intact and fallen leaves of *Eucalyptus citriodora*. **Zeitschrift für Naturforschung C**, Wurtzburgo, v. 61, n. 7-8, p. 465-471, 2006.
- BERNARDI, O.; MALVESTITI, G.S.; DOURADO, P.M.; OLIVEIRA, W.S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G.U.; HEAD, G.P.; OMOTO, C. Assessment of the high dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatalis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, Oxford, v.68, n.7, p.1083-1091, 2012.
- BOTELHO, A. B. R. Z.; SILVA, I. F.; ÁVILA, C. J. Controle de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera Noctuidae) usando o isolado Chin-IA (IA) como componente do manejo integrado da cultura da soja. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, p.1-8, 2019.
- BROKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A. **Field Guide to Eucalyptus. vol. 1 South-eastern Australia**. 3ed. Australia: Bloomings Books/Green Book Company, 2006. v.1. 356p.
- BUENO, R. C. O. F., PARRA, J. R. P., BUENO, A. F., HADDAD, M. L. Desempenho de tricogramatídeos como potenciais agentes de controle de *Pseudoplusia includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 38, n. 3, p. 389-394, 2009.
- CHAGAS, A.C.S.; PASSOS, W.M.; PRATES, H.T.; LEITE, R.C.; FURLONG, J.; FORTES, I.C.P. Efeito acaricida de óleos essenciais e concentrados

emulsionáveis de *Eucalyptus* spp em *Boophilus microplus*. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v.39, n.5, p.247-253, 2002.

CIMANGA, K.; KAMBU, K.; TONA, L.; APERS, S.; BRUYNE, T.; HERMANS, N., TOTTÉ, J.; PIETERS, L.; VLIETINCK, A. J. Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo. **Journal of ethnopharmacology**, Amsterdã, v. 79, n. 2, p. 213-220, 2002.

CONTE, C. O.; LAURA, V. A.; BATTISTELLI, J. Z.; CECONETTO, A. O.; SOLON, S.; FAVERO, S. Rendimento de óleo essencial de alfavaca por arraste a vapor em Clevenger, em diferentes formas de processamento das folhas. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 19, Suplemento 1, 2002. CD-ROM.

CRUZ, G. S.; TEIXEIRA, V. W.; OLIVEIRA, J. V.; CORREIA, A. A.; BREDA, M. O.; ALVES, T. J. S.; CUNHA, F. M.; TEIXEIRA, A. A. C.; DUTRA, K. A.; NAVARRO, D. M. A. F. Bioactivity of *Piper hispidinervum* (Piperales: Piperaceae) and *Syzygium aromaticum* (Myrtales: Myrtaceae) Oils, With or Without Formulated Bta on the Biology and Immunology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of economic entomology**, Oxford, v. 107, n. 1, p. 144-153, 2014.

DEGRANDE, P.E.; VIVAN, L.M. **Pragas da soja**. Tecnologia e produção: soja e milho 2008/2009. Maracaju-MS: Fundação MS, 2008. p.73-108.

**DUKE – Dr. Duke's Phytochemical and Ethnobotanical Databases**. Boca Raton: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 1992-2016. Disponível em: <https://phytochem.nal.usda.gov/phytochem/search>. Acessado em: 05 de maio de 2021.

FAVERO, S.; CONTE, C. O. Métodos de ensaios para determinação de atividade inseticida de derivados de plantas com alternativa sustentável de controle de pragas agrícolas. In: BAUER, F. C.; VARGAS JUNIOR, F. M. **Produção e Gestão agroindustrial**, v. 2. Campo Grande: UNIDERP, 2008. p. 235-249.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Série Técnica IPEF**, ESALQ/USP - Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba, n. 45. 1992. p. 22-30.

FINNEY, D.J. Probit Analysis. 3 ed., **London: Cambridge Press**, 1971, 338 p.

FURLAN, A. R. **Seleção de clones de eucalipto para tolerância à seca no nordeste do Brasil**. 99 p. 2018. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2018.

GREEN, C. **Export development of essential oils and spices by Cambodia**. 2002. The International Trade Centre, Geneva and The Ministry of Commerce, Kingdom of Cambodia. 2002. p. 100.

GREENE, G. L.; LEPPA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 69, n. 4, p. 487-488, 1976.

INCEBOZ, T.; ERKAN, G.; TÜRKOĞLU, G. C.; SARIŞIK, A. M.; BAKIRCI, S.; ÜNER, S.; ÜNER, A. In-vivo and in-vitro tick repellent properties of cotton fabric. **Textile Research Journal**, Knoxville, v. 85, n. 19, p. 2071-2082, 2015.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop protection**, Lincoln, v. 19, n. 8, p. 603-608, 2000.

JEMÂA, J. M. B.; HAOUEL, S.; KHOUJA, M. L. Efficacy of Eucalyptus essential oils fumigant control against *Ectomyelois ceratoniae* (Lepidoptera: Pyralidae) under various space occupation conditions. **Journal of stored products research**, Manhattan, v. 53, p. 67-71, 2013.

KRINSKI, D.; MASSAROLI, A.; MACHADO, M. Potencial inseticida de plantas da família Annonaceae. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 225-242, 2014.

LI, H.; MADDEN, J. L.; POTTS, B. M. Variation in volatile leaf oils of the Tasmanian *Eucalyptus* species—1. Subgenus *Monocalyptus*. **Biochemical Systematics and Ecology**, Richmond, v. 23, n. 3, p. 299-318, 1995.

LI, H.; MADDEN, J. L.; POTTS, B. M. Variation in volatile leaf oils of the Tasmanian *Eucalyptus* species II. Subgenus *Sympyomyrtus*. **Biochemical Systematics and Ecology**, Richmond, v. 24, n. 6, p. 547-569, 1996.

LIRA, S. A.; NETO, A. C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, 2006.

LIU, X.; CHEN, Q.; WANG, Z.; XIE, L.; XU, Z. Allelopathic effects of essential oil from *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* on pathogenic fungi and pest insects. **Frontiers of Forestry in China**, Harbin, v. 3, n. 2, p. 232-236, 2008.

MING, L. C. Coleta de plantas medicinais. In: DI STASI, L. C. **Plantas medicinais: Arte e ciência: um guia de estudos multidisciplinar**. São Paulo: UNESP, 1996. p. 69-86.

MONTEIRO, I. N.; FERREIRA, L. O. G.; DE OLIVEIRA, A. K. M.; FAVERO, S.; FIGUEIREDO, P. L. B.; MAIA, J. G. S.; MONTEIRO, O.S.; MATIAS, R. Toxicity of the *Lippia gracilis* essential oil chemotype, pinene-cineole-limonene, on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, n. 1, p. 181-187, 2021.

PARRA, J. R. P. **Técnicas de criação de insetos para programa de controle biológico**. 6. ed. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, p.134, 2001.

NIST. National Institute of Standards and Technology. **Mass spectral library** (Nist/Epa/Nih, v. 2.0d). The NIST Mass Spectrometry Data Center, Gaithersburg. 2005.

PAVELA, R. Larvicidal property of essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). **Industrial Crops and Products**, St Martin d'Heres, France, v. 30, n. 2, p. 311-315, 2009.

RIBEIRO, A. V.; FARIAS, E. S.; SANTOS, A. A.; FILOMENO, C. A.; SANTOS, I. B.; BARBOSA, L. C. A.; PICANÇO, M. C. Selection of an essential oil from *Corymbia* and *Eucalyptus* plants against *Ascia monuste* and its selectivity to two non-target organisms. **Crop Protection**, Lincoln, v. 110, p. 207-213, 2018.

SILVA, W. C.; RIBEIRO, J. D.; SOUZA, H. D.; CORRÊA, R. D. S. Atividade inseticida de *Piper aduncum* L. (Piperaceae) sobre *Aetalion* sp. (Hemiptera: Aetalionidae), praga de importância econômica no Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 293-298, 2007.

SOSA-GÓMEZ, D.R., DELPIN, K.E., MOSCARDI, F., NOZAKI, M.H., The impact of fungicides on *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson epizootics and on populations of *Anticarsia gemmatalis* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae), on soybean. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, p. 287-291. 2003.

SOSA-GÓMEZ, D.R.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; CORSO, I.C.; OLIVEIRA, L.J.; MOSCARDI, F.; PANIZZI, A.R.; BUENO, A.F.; HIROSE, E. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 90p. (Embrapa Soja. Documentos, 269).

SU, Y. C.; HO, C. L.; WANG, E. I.; CHANG, S. T. Antifungal activities and chemical compositions of essential oils from leaves of four eucalypts. **Taiwan Journal of Forest Science**, Taipei, v. 21, n. 1, p. 49-61, 2006.

TAK, J. H.; ISMAN, M. B. Enhanced cuticular penetration as the mechanism for synergy of insecticidal constituents of rosemary essential oil in *Trichoplusia ni*. **Scientific reports**, Londres, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2015.

TAK, J. H.; ISMAN, M. B. Penetration-enhancement underlies synergy of plant essential oil terpenoids as insecticides in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Scientific reports**, Londres, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2017.

TRIPATHI, A. K.; MISHRA, S. Plant monoterpenoids (prospective pesticides). In: Ecofriendly Pest Management for Food Security. **Academic Press**, Amsterdam, v, 1, n. 1, p. 507-524, 2016.

VITTI, A. M. S.; BRITO, J. O. Óleo essencial de eucalipto. **Documentos florestais**, Piracicaba, v.17, p. 1-16. 2003.

VUONG, Q. V.; CHALMERS, A. C.; BHUYAN, J. D.; BOWYER, M. C.; SCARLETT, C. J. Botanical, Phytochemical, and Anticancer Properties of the

*Eucalyptus* Species. **Chemistry & Biodiversity**, Zurique, v. 12, p. 907 - 924, 2015.

WATANABE, K.; SHONO, Y.; KAKIMIZU, A.; OKADA, A.; MATSUO, N.; SATOH, A.; NISHIMURA, H. New mosquito repellent from *Eucalyptus camaldulensis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 41, n. 11, p. 2164-2166, 1993.

## Artigo II

### Efeito de compostos monoterpenóides isolados sobre *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Noctuidae)

Luiz Octávio Gonzales Ferreira

#### Resumo

A *Spodoptera frugiperda* é considerada uma das principais pragas de diversas culturas, e estudos com o uso de óleos essências para o controle deste inseto vem sendo progressivamente desenvolvidos por vários grupos de pesquisa brasileiros, como uma alternativa promissora no controle do inseto por ter um menor impacto ambiental e a saúde humana. Dentre os constituintes majoritários e/ou comum dos óleos essenciais disponíveis no mercado estão o mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol, por essa razão, objetivou-se avaliar o efeito inseticida do monoterpenos mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol, no controle da *S. frugiperda*. Os compostos mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol foram adquiridos através da empresa Sigma-Aldrich® Merck (99% de pureza). Os bioensaios de toxicidade, exposição por aplicação tópica ( $DL_{50}$  e  $DL_{90}$ ) e exposição em superfície de contato ( $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ ), ocorreram no Laboratório de Pesquisas em Entomologia da Universidade Anhanguera - UNIDERP. Os insetos foram criados em dieta artificial a base de feijão, gérmen de trigo e levedo de cerveja. Foram obtidas cinco concentrações em progressão geométrica para a determinação de curva dose-mortalidade, com a Dose Letal ajustada sendo: Mentol 0,18; 0,21; 0,25; 0,31 e, 0,37  $\mu$ L.inseto;  $\alpha$ -pineno 0,22; 0,25; 0,28; 0,31 e, 0,35  $\mu$ L.inseto; Linalol 0,33; 0,37; 0,42; 0,47 e, 0,52  $\mu$ L.inseto; Timol 0,27; 0,30; 0,33; 0,36 e, 0,40  $\mu$ L.inseto. As Concentrações Letais obtidas foram: Mentol 1,58; 1,69; 1,92; 2,05 e, 2,18  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>;  $\alpha$ -pineno 1,91, 2,29; 2,68; 3,29 e, 3,95  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>; Linalol 4,75; 5,31; 5,95; 6,66 e, 7,46  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>; Timol 2,76; 3,58; 4,66; 6,04 e, 7,86  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>. Os compostos majoritários isolados, mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol, apresentam potencial inseticida no controle de *S. frugiperda*. Mas os compostos que tiveram maior destaque por serem amostras com respostas homogêneas foram o mentol para a dose letal e o  $\alpha$ -pineno para a concentração letal.

**Palavras-chave:** Controle de pragas; Plantas inseticidas; Inseticidas naturais; Lagarta-do-cartucho; Agricultura sustentável.

**Insecticidal action of major compounds isolated on *Spodoptera frugiperda*  
*Spodoptera frugiperda* (SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**General Summary**

*Spodoptera frugiperda* is considered one of the main pests of several cultures, and studies with the use of essential oils to control this insect have been progressively developed by several Brazilian research groups, as a promising alternative in the control of the insect because it has a lower impact. environment and human health. Among the major and/or common constituents of essential oils available on the market are menthol,  $\alpha$ -pinene, linalool and thymol, for this reason, the objective was to evaluate the insecticidal effect of the monoterpenes' menthol,  $\alpha$ -pinene, linalool and thymol, control of *S. frugiperda*. Menthol,  $\alpha$ -pinene, linalool and thymol compounds were purchased from Sigma-Aldrich® Merck (99% purity). The bioassays of toxicity, exposure by topical application (LD<sub>50</sub> and LD<sub>90</sub>) and exposure on contact surface (LC<sub>50</sub> and LC<sub>90</sub>), took place at the Laboratory of Research in Entomology, Universidade Anhanguera - UNIDERP. The insects were reared on an artificial diet based on beans, wheat germ and brewer's yeast. Five concentrations were obtained in geometric progression for the determination of the dose-mortality curve, with the Lethal Dose adjusted being: Menthol 0.18; 0,21; 0,25; 0.31 and 0.37  $\mu$ L. insect;  $\alpha$ -pinene 0.22; 0,25; 0,28; 0.31 and 0.35  $\mu$ L.insect; Linalool 0.33; 0,37; 0,42; 0.47 and 0.52  $\mu$ L.insect; Thymol 0.27; 0,30; 0,33; 0.36 and 0.40  $\mu$ L.insect. The Lethal Concentrations obtained were: Menthol 1.58; 1,69; 1,92; 2.05 and, 2.18  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>;  $\alpha$ -pinene 1.91, 2.29; 2,68; 3.29 and, 3.95  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>; Linalool 4.75; 5,31; 5,95; 6.66 and 7.46  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>; Thymol 2.76; 3,58; 4,66; 6.04 and 7.86  $\mu$ L.cm<sup>-2</sup>. The major compounds isolated, menthol,  $\alpha$ -pinene, linalool and thymol, have insecticidal potential in the control of *S. frugiperda*. But the compounds that stood out for being samples with homogeneous responses were menthol for the lethal dose and  $\alpha$ -pinene for the lethal concentration.

**Keywords:** Pest Control; Insecticidal plants; natural insecticides; Fall Armyworm; Sustainable Agriculture.

## Introdução

A cultura do milho *Zea mays* L. (Poaceae) é uma das maiores do Brasil, com seu plantio ocorre desde os pequenos produtores até grandes propriedades rurais. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o país é o terceiro maior produtor mundial desse grão e a região Centro Oeste, considerada a maior produtora de milho, estima-se que a safra de 2021/22 seja de 64.543,3 sendo responsável por 57,45% da produção nacional (CONAB, 2022).

O milho tem grande capacidade de adaptação ao clima, sendo um alimento rico em carboidratos, fonte de óleo, fibras e algumas vitaminas, como E, B1, B2 e ácido pantatênico. Os grãos fornecem óleo, farinha, ração, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais (SILOTO, 2002; MATOS *et al.*, 2012).

Contudo a cultura sofre danos de produtividade devido à infestação de uma praga classificada como chave, chamada de lagarta-do-cartucho [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae)], que afeta a produção em todos os estágios de desenvolvimento da planta, diminuindo a produtividade da área infestada (SILOTO, 2002; TOSCANO *et al.*, 2012).

A fim de mitigar os danos causados por esta praga, os produtores utilizam inseticidas químicos sintéticos. Contudo, o uso inadequado desses produtos tem gerados custos elevados, deixando resíduos nos alimentos e causando danos ao ambiente (CARVALHO *et al.*, 2002). De acordo com o Comitê de Ação a Resistência a Inseticidas (IRAC), o controle de *S. frugiperda* não tem apresentado eficiência, pois o aumento de indivíduos resistentes tem se tornando constante, em decorrência de pulverização excessiva de inseticidas (OMOTO *et al.*, 2013).

Entre os produtos utilizados para o controle da praga está a deltametrina, um biocida sintético que pertence ao grupo dos inseticidas piretróides, amplamente utilizado no Brasil (SANTOS *et al.*, 2008). O uso indiscriminado de piretróides pode afetar a homeostase do ambiente, necessitando de monitoramento e análise sobre seu potencial residual e seus efeitos (BARRIONUEVO e LANCAS, 2001; CARVALHO *et al.*, 2017).

A utilização de inseticidas sintéticos é facilitada pelo manejo e eficiência. Contudo, devido ao uso intenso e indiscriminado, surgem diversos problemas, tais como a seleção de insetos resistentes, intoxicação aos aplicadores, acúmulo

de resíduos tóxicos, contaminação do ambiente e aumento de custos na produção (RESTELLO *et al.*, 2009; COITINHO *et al.*, 2006).

Por estes motivos, surge a procura por novas metodologias para diminuir o prejuízo causado pelas pragas agrícolas, fator relacionado, principalmente, com a preocupação dos consumidores em relação ao meio ambiente e a qualidade dos alimentos. Entre as novas pesquisas para controle, o uso de óleos essenciais para o controle de pragas vem crescendo. Estes óleos e seus constituintes, obtidos de plantas, apresentam baixa toxicidade para o homem, custo baixo, degradam rapidamente e não contaminam os alimentos com resíduos tóxicos (ISMAN, 2006; COITINHO *et al.*, 2010).

Os óleos são derivados do metabolismo secundário das plantas, são substâncias formadas a partir de produtos da fotossíntese, possuem elevadas atividades biológicas como exemplo, ação antitumoral, anti-inflamatória, antioxidante, antibacteriana, antiparasitária, antiviral, potencial inseticida, dentre outras (COUTINHO *et al.*, 2009; DE OLIVEIRA *et al.*, 2015)

As principais famílias de plantas aromáticas que produzem os óleos essenciais são Apiaceae, Asteraceae, Cupressaceae, Fabaceae, Hypericaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Liliaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Mytisticaceae, Oleaceae, Pinaceae, Piperaceae, Rosaceae e Rutaceae (SIMÕES *et al.*, 2004; BARATA *et al.*, 2011).

As espécies de plantas, em seus óleos essenciais, possuem misturas de monoterpenos e sesquiterpenos em sua composição e de maneira geral, os terpenos podem ter amplo espectro de ação sobre os insetos como deterrência alimentar, oviposição, toxicidade e podendo atrair inimigos naturais (ISMAN *et al.*, 2001; JIANG *et al.*, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2013). De acordo com BAKKALI *et al.* (2008), a maior classe de metabolitos secundários são os terpenos, que apresentam propriedades antibacteriana, antifúngica e inseticida.

De acordo com ENAN (2001), os óleos essenciais podem atingir o sistema nervoso dos insetos, inibirem a acetilcolinesterase ou serem antagonista dos receptores de octopamina. Podem atuar como um agente antialimentar, assim fazendo com que os insetos não se alimentem e morram por inanição. Afetam os processos fisiológicos, bioquímicos e comportamentais dos insetos, podendo causar sua morte, ao atuar sobre o sistema nervoso central (ISMAN, 2000; PRATES e SANTOS, 2002; KIM *et al.*, 2003; MENEZES, 2005).

Essas substâncias atuam através da ingestão, penetrando no organismo por via oral, restrita a herbívoros, se tornando assim uma forma específica de controle (MOREIRA *et al.*, 2007).

Na perspectiva de um controle alternativo ao uso de inseticidas sintéticos, objetivou-se pesquisa avaliar o efeito inseticida dos compostos monoterpenóides isolados de óleos essenciais, mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol, sobre larvas de *Spodoptera frugiperda*, em condições de laboratório.

## **Material e Métodos**

### **Compostos químicos**

Os compostos mentol,  $\alpha$ -pineno, linalol e timol foram adquiridos através da empresa Sigma-Aldrich® Merck (99% de pureza).

### **Criação de insetos**

Os indivíduos de *S. frugiperda* foram obtidos de criação estabelecida no Laboratório de Entomologia da instituição, sendo as lagartas mantidas em dieta artificial a base de feijão e gérmen de trigo em tubos de vidro (2,5x8,5 cm), em sala climatizada  $27\pm2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $70\pm5\%$ , fotoperíodo positivo de 12h (PANIZZI e PARRA, 2009).

Após a pupação, os insetos foram sexados e cinco casais colocados em gaiolas de Policloreto de vinila (PVC) com 10 cm de diâmetro, revestidas internamente com folhas de papel sulfite, que serviram como substrato para postura de ovos. Após emergirem, as mariposas foram alimentadas com solução de mel a 10%.

Diariamente, foi realizada a manutenção e feita à retirada dos ovos, colocados em placas de Petri (90x10 mm) e mantidas em sala climatizada com temperatura  $27\pm2^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa de  $70\pm5\%$  e fotofase positiva de 12 horas. Após a eclosão das larvas, foram transferidas para tubos contendo dieta artificial. As larvas utilizadas nos bioensaios estavam no 3º instar de desenvolvimento e com peso médio de 9,2 mg.

## **Bioensaios de toxicidade**

O efeito inseticida dos compostos foi realizado através dos seguintes bioensaios de toxicidade, sendo (1) Exposição por aplicação tópica ( $DL_{50}$  e  $DL_{90}$ ) e, (2) Exposição em superfície de contato ( $CL_{50}$  e  $CL_{90}$ ).

### **Bioensaios de exposição por aplicação tópica**

O teste de exposição foi avaliado através de 6 tratamentos (10 repetições cada), com uma lagarta de 3º instar por repetição.

Os compostos foram diluídos em acetona, utilizando as concentrações preliminares de 0,75; 0,5; 0,25; e, 0,125 mL de cada composto e uma testemunha (acetona). As concentrações dos testes preliminares para verificar a taxa de mortalidade próxima de zero e próxima de 100% de mortalidade e calcular as dosagens intermediárias. Após a determinação da faixa inicial, foram obtidas cinco concentrações em progressão geométrica para a determinação da curva dose-mortalidade.

Foi aplicado 1  $\mu$ L de cada concentração na região protoráctica do inseto e as lagartas foram acondicionadas individualmente em placas de Petri com 90 mm, sendo o fundo forrado com papel filtro de mesmo diâmetro e dieta artificial.

Após 24 horas, foi avaliada a mortalidade por dose e repetição. Os dados de mortalidade foram então tabulados e submetidos à análise de Probit (FINNEY, 1971), para obtenção das Doses Letais de 50 e 90 ( $DL_{50}$  e  $DL_{90}$ ).

### **Bionsaios de exposição em superfície de contato**

Foram aplicados 0,3 mL de solução em papel filtro acondicionada em placas de Petri de 60 mm de diâmetro. As diluições preliminares de 0,75; 0,5; 0,25; e, 0,125 mL de cada composto e o controle (acetona). Serviram para determinar a faixa dose mortalidade para a obtenção de cinco doses para determinar a dose mortalidade. O experimento foi montado com 20 repetições por diluição e composto, com uma lagarta de 3º instar por repetição.

Após a evaporação do solvente, os insetos foram liberados na placa com uma porção de dieta e após 24 horas, feita a contagem de indivíduos mortos, com dados submetidos a análise de Probit (FINNEY, 1971).

## Resultados e Discussão

Os compostos testados, nas diferentes concentrações, apresentaram potencial inseticida para o controle de *S. frugiperda* pela via de Intoxicação Aguda Tópica (Tabela 1), ajustando-se ao modelo de Probit. As doses foram: Mentol 0,18; 0,21; 0,25; 0,31 e, 0,37  $\mu$ L.inseto;  $\alpha$ -pineno 0,22; 0,25; 0,28; 0,31 e, 0,35  $\mu$ L.inseto; Linalol 0,33; 0,37; 0,42; 0,47 e, 0,52  $\mu$ L.inseto; Timol 0,27; 0,30; 0,33; 0,36 e, 0,40  $\mu$ L.inseto.

**Tabela 1.** Dose letal (DL<sub>50</sub> e DL<sub>90</sub>) dos compostos isolados sobre larvas de 3º instar de *Spodoptera frugiperda* pela técnica de Toxicidade Aguda Tópica ( $\mu$ L.inseto)

Bioensaio	N	DL <sub>50</sub> (IC95%)	DL <sub>90</sub> (IC95%)	D ( $\pm$ EP)	$\chi^2$	p
Mentol	180	0,24 (0,21 - 0,28)	0,35 (0,30 - 0,50)	8,31 $\pm$ 2,07	0,232	0,972
$\alpha$ -pineno	180	0,27 (0,25 - 0,29)	0,32 (0,30 - 0,39)	16,06 $\pm$ 3,81	0,784	0,853
Linalol	180	0,44 (0,40 - 0,51)	0,61 (0,52 – 1,10)	9,49 $\pm$ 2,98	0,675	0,879
Timol	180	0,32 (0,30 – 0,33)	0,36 (0,34 – 0,41)	23,08 $\pm$ 5,30	0,695	0,874

N= número de indivíduos. IC= intervalo de confiança. EP= erro padrão. D= declividade.  $\chi^2$ = Qui-quadrado. P= probabilidade

Com isso o composto mentol que possui menor declividade comparado com os demais compostos, é a amostra com a resposta mais homogênea na determinação das doses letais para o controle de *S. frugiperda*.

NICULAU *et al.* (2013) avaliaram diversos compostos isolados, e o composto linalol aplicado em *S. frugiperda* na dose de 3 $\mu$ g/mg de inseto causou mortalidade de 90% dos exemplares expostos, assim corroborando com os dados obtidos neste estudo.

NYASEMBE *et al.* (2014) utilizaram o linalol oxidado para realizar a captura de mosquitos vetores da malária, os resultados demonstraram a eficácia do composto para o controle destes insetos praga.

O composto timol avaliado no controle de larvas *in vitro* de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) obteve resultados que ocorreu uma diminuição significativa da sobrevida e massa larval, com isso demonstram a importância da manutenção das doses para não atingir inseto não-alvo (CHARPENTIER *et al.*, 2013).

MONTEIRO (2021) ao avaliar o potencial inseticida do composto  $\alpha$ -pineno isolado comparando com o óleo essencial de *Lippia gracilis* Schauer, (Verbenaceae), ambos apresentaram potencial inseticida para o controle de *S. frugiperda*.

Outro método de controle deste inseto foi avaliado por YU (1982), foi o tratamento *in vitro* com folhas tratadas com mentol e o óleo de hortelã-pimenta que teve efeito inibitório na alimentação dos insetos, 46 e 42%, respectivamente, quando analisada a atividade enzimática no intestino médio.

Os compostos também apresentaram potencial inseticida para o controle da praga pela via de Intoxicação por Superfície de Contato (Tabela 2). Ajustaram-se ao modelo de Probit nas seguintes concentrações: Mentol 1,58; 1,69; 1,92; 2,05 e, 2,18  $\mu\text{L.cm}^{-2}$ ;  $\alpha$ -pineno 1,91, 2,29; 2,68; 3,29 e, 3,95  $\mu\text{L.cm}^{-2}$ ; Linalol 4,75; 5,31; 5,95; 6,66 e, 7,46  $\mu\text{L.cm}^{-2}$ ; Timol 2,76; 3,58; 4,66; 6,04 e, 7,86  $\mu\text{L.cm}^{-2}$ .

**Tabela 2.** Concentração letal (CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub>) dos compostos majoritários isolados sobre larvas de 3º instar de *Spodoptera frugiperda* pela técnica de Toxicidade por Superfície de Contato ( $\mu\text{L.cm}^{-2}$ )

Bioensaio	N	CL <sub>50</sub> (IC95%)	CL <sub>90</sub> (IC95%)	D ( $\pm$ EP)	$\chi^2$	P
Mentol	180	1,83 (1,66 - 1,97)	2,31 (2,09 - 3,24)	12,68 $\pm$ 3,87	1,063	0,786
$\alpha$ -pineno	180	2,02 (0,96 - 2,41)	3,53 (2,89 - 10,01)	5,27 $\pm$ 2,00	1,266	0,737
Linalol	180	6,36 (5,85 - 7,19)	8,30 (7,30 - 2,38)	11,09 $\pm$ 3,12	0,326	0,955
Timol	180	3,94 (3,41 - 4,52)	5,52 (4,76 - 7,74)	8,81 $\pm$ 2,16	1,678	0,642

N= número de indivíduos. IC= intervalo de confiança. EP= erro padrão. D= declividade.  $\chi^2$ = Qui-quadrado. P= probabilidade.

No bioensaio de Toxicidade Aguda Tópica, o Timol apresentou a maior declividade (23,08) da curva concentração/mortalidade. Já no bioensaio de Toxicidade por Superfície de Contato, o mentol possui uma maior declividade da curva dose/mortalidade (12,68), comparado com os demais compostos, assim sendo as amostras com respostas mais heterogêneas.

Segundo LIRA (2014), quanto menor é a declividade da curva, mais homogênea é a sua resposta. Contudo, quanto maior a declividade, mais heterogênea será a resposta, indicando assim que as mínimas variações nas concentrações ocasionam uma grande oscilação na mortalidade.

A toxicidade dos óleos essenciais, de onde se obtém os compostos isolados, está relacionada com os metabolitos secundários. Os terpenóides, principalmente monoterpenos e sesquiterpenos, são geralmente as substâncias majoritárias em sua composição. Estes atuam inativando o sítio de ligação octopaminérgico, impedindo a transmissão entre neurônios, da octopamina,

considerada um neurotransmissor, neuro modulador e neuro-hormônio do inseto. Assim ocorre uma disruptura no sistema nervoso, levando o inseto a morte, sendo que este sitio de ligação não é presente no sistema nervoso de vertebrados (ENAN 2001; VIEGAS-JÚNIOR 2003; ISMAN 2006; TRIPATHI *et al.* 2009; DUBEY *et al.* 2010). Desta maneira, este método de ação não traz danos aos mamíferos, por exemplo.

Como esses compostos apresentam estruturas moleculares com característica hidrofóbica e hidrofílica, assim indicando uma facilidade em atravessar a cutícula do inseto é maior para substâncias apolares e ter uma solubilidade maior no meio intracelular (aquoso). Com isso possui maior interação com os receptores do inseto, pelas ligações de hidrogênio, dipolo-dipolo e sua cadeia carbônica hidrofóbica, e com isto ser um indicativo da inativação dos receptores (GARCIA, 2018).

Essa atividade inseticida dos compostos pode se atribuir por possuírem estrutura química de compostos orgânicos, assim facilitando a penetrabilidade na cutícula do exoesqueleto, aumentando a atividade dos nervos sensoriais, causando hiper excitabilidade dos nervos motores que leva a convulsão e paralisia (ESTRELA *et al.*, 2006; ROZMAN *et al.*, 2007).

Logo, ao prospectar produtos que possuem base vegetal com potencial inseticida, que possuem suas características de alta volatilidade e assim sendo um produto biodegradável, que não cause danos ao meio ambiente e aos animais, deve-se realizar a continuação da pesquisa avaliando a mistura desses compostos, para analisar a interação dos mesmos se podem agir de forma sinérgica ou antagônica.

Os compostos que apresentaram menor CL<sub>50</sub> e CL<sub>90</sub> e DL<sub>50</sub> e DL<sub>90</sub>, foram mentol e α-pineno, respectivamente. Comparado com os quatros compostos utilizados neste estudo, são os mais tóxicos e também estatisticamente semelhantes. Assim sendo, os compostos mentol, α-pineno, linalol e timol podem ser utilizados para o controle alternativo ou complementar deste inseto praga na cultura do milho.

Os compostos majoritários isolados, mentol, α-pineno, linalol e timol, apresentam potencial inseticida no controle de *S. frugiperda*. Mas os compostos que tiveram maior destaque por serem amostras com respostas mais

homogêneas nos resultados foram o mentol para a dose letal e o  $\alpha$ -pineno para a concentração letal.

## **Conclusão**

Os compostos monoterpenóides isolados, avaliados neste estudo apresentam potencial inseticida para o controle de larvas de *S. frugiperda*, obtendo maior evidência os compostos mentol e  $\alpha$ -pineno.

## **Agradecimentos**

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Universidade Anhanguera-Uniderp, através do pagamento de bolsa de estudo.

## Referências Bibliográficas

- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446–475, 2008.
- BARATA, A.M.; ROCHA, F.; LOPES, V.; BETTENCOURT, E.; FIGUEIREDO A.C. 2011. Medicinal and Aromatic Plants – Portugal. In: **Medicinal and Aromatic Plants of The World**, [Eds. M. Ozturk, G.-F. B. Ameenah], Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>]. 460p.
- BARRIONUEVO, W.R.; LANCAS, F. M. Extração em fase sólida (SPE) e micro extração em fase sólida (SPME) de piretróides em água. **Química Nova**, v. 24, n. 2, p. 172-175, 2001.
- BRAIBANTE, M. E. F.; SILVA, D. D.; BRAIBANTE, H. T. S.; PAZINATO, M. S. A química dos chás. **Química Nova na escola**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 168-175, 2014.
- CAMARGO, S. B.; DE VASCONCELOS, D. F. S. A. Atividades biológicas de Linalol: conceitos atuais e possibilidades futuras deste monoterpeno. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, Salvador, v. 13, n. 3, p. 381-387, 2014.
- CARVALHO, J. C. T.; GOSMANN, G.; SCHENKEL, E. P. Compostos fenólicos simples e heterosídicos. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMAN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia – da planta ao medicamento**. 4ed. Porto Alegre/Florianópolis: UFSC, 2002. p. 443-461.
- CARVALHO, L. G., BRITTO, F. F., MARIN-MORALES, M. A., MAFFEI, E. M. D. Análises citológicas do inseticida Deltametrina usando o Teste de Micronúcleo. **Revista da Biologia**, v. 17, n. 1, p. 1-5, 2017.
- CASTRO, D. P., CARDOSO, M. G., MORAES, J. C., SANTOS, N. M., BALIZA, D. P. Não preferência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) por

óleos essenciais de *Achillea millefolium* L. e *Thymus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, n. 4, p. 27-32, 2006.

CHARPENTIER, G., VIDAU, C., FERDY, J. B., TABART, J., VETILLARD, A. Lethal and sub-lethal effects of thymol on honeybee (*Apis mellifera*) larvae reared *in vitro*. **Pest management science**, Oxford, v. 70, n. 1, p. 140-147, 2014.

COITINHO, R. L. B. C.; OLIVEIRA, J. V.; JUNIOR, M. G. C. G.; CÂMARA, C. A. G. Atividade inseticida de óleos vegetais sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) em milho armazenado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 176-182, 2006.

COITINHO, R. L. B. C.; OLIVEIRA, J. V.; JUNIOR, M. G. C. G.; CÂMARA C. A. G.; Persistência de óleos essenciais em milho armazenado, submetido à infestação de gorgulho do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1492-1496, 2010.

CONAB (2022) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.9 – safra 2020/21, nº5 – quinto levantamento, março 2021.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/17625-5-levantamento-safra-2021-22>. Acessado em: 24 de fevereiro de 2022.

COUTINHO, M.A.S.; MUZITANO, M.F.; COSTA, S.S. Flavonoides: Potenciais agentes terapêuticos para o processo inflamatório. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v.1, p.241-256, 2009.

DE OLIVEIRA, L. S.; MUZITANO, M. F.; COUTINHO, M. A. S.; DE MELO, G. O.; COSTA, S. S. Plantas medicinais como recurso terapêutico em comunidade do entorno da reserva biológica do tinguá, RJ, Brasil—metabólitos secundários e aspectos farmacológicos. **Inter Science Place**, Rio de Janeiro v. 1, n. 17, 2015.

DE REZENDE, F. M.; ROSADO, D.; MOREIRA, F. A.; DE CARVALHO, W. R. S. Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. Laboratório de Ensino de Botânica, p. 93, 2016. In: **VI Botânica no Inverno 2016** / Org. Miguel Peña H. [et al.]. – São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 2016. 223p.

DUBEY, N.K., SHUKLA, R.; KUMAR, A.; SING, P.; PRAKASH, B. Prospects of botanical pesticide in sustainable agriculture. **Current Science**, v. 98, n. 4, p. 479-480, 2010.

ENAN, E. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: **Toxicology & Pharmacology**, Miami, Florida, v. 130, n. 3, p. 325-337, 2001.

FINNEY, D.J. Probit Analysis. 3 ed., London: **Cambridge Press**, 1971, 338 p.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop protection**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 8, p. 603-608, 2000.

ISMAN, M. B.; WAN, A. J.; PASSREITER, C. M. Insecticidal activity of essential oils to the tobacco cutworm *Spodoptera litura*. **Fitoterapia**, Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 65-68, 2001.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review Entomology**, Palo Alto, v. 51, p. 45-66, 2006.

JIANG, Z.; AKHTAR, Y.; BRADBURY, R.; ZHANG, X.; ISMAN, M. B. Comparative toxicity of essential oils of *Litsea pungens* and *Litsea cubeba* and blends of their major constituents against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of agricultural and food chemistry**, Washington, v. 57, n. 11, p. 4833-4837, 2009.

KIM, S. I., ROH, J. Y., KIM, D. H., LEE, H. S., AHN, Y. J. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. **Journal of Stored Products Research**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 3, p. 293-303, 2003.

KUMAR, P.; MISHRA, S.; MALIK, A.; SATYA, S. Insecticidal properties of *Mentha* species: a review. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 802-817, 2011.

LIU, X.; CHEN, Q.; WANG, Z.; XIE, L.; XU, Z. Allelopathic effects of essential oil from *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* on pathogenic fungi and pest insects. **Frontiers of Forestry in China**, v.3, n.2, p.232-236, 2008.

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2014. Dissertação (Mestrado em Curso de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia dos Setores de Ciências Exatas e de Tecnologia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

MARANGONI, C.; DE MOURA, N. F.; GARCIA, F. R. M. UTILIZAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS DE PLANTAS NO CONTROLE DE INSETOS. **Revista de ciências ambientais**, v. 6, n. 2, p. 92-112, 2013.

MATOS, F. M.; ANDRADE, C.; AMARAL, T.; MOURA, B.; DE CASTRO, L. A.; RODRIGUES, C.; PAIXÃO, J. Produtividade do milho cultivado sob diferentes regimes hídricos. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais eletrônicos...Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2012. p. 3244-3250.

MENEZES, E. L. A. Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola. Seropédica, Rio de Janeiro: **Embrapa Agrobiologia**, 2005, 58p.

MONTEIRO, I. N.; FERREIRA, L. O. G.; DE OLIVEIRA, A. K. M.; FAVERO, S.; FIGUEIREDO, P. L. B.; MAIA, J. G. S.; MONTEIRO, O.S.; MATIAS, R. Toxicity of the *Lippia gracilis* essential oil chemotype, pinene-cineole-limonene, on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, n. 1, p. 181-187, 2021.

MOREIRA, M. D., PICANÇO, M. C., BARBOSA, L. C. D. A., GUEDES, R. N. C., CAMPOS, M. R. D., SILVA, G. A., Martins, J. C. Plant compounds insecticide activity against Coleoptera pests of stored products. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 7, p. 909-915, 2007.

NICULAU, E. D. S.; ALVES, P. B.; NOGUEIRA, P. C. D. L.; MORAES, V. R. D. S.; MATOS, A. P.; VOLANTE, A. C; BERNARDO, A. R.; FERNANDES, J. B.; SILVA, M. F. G. F.; CORRÊA, A. G.; BLANK, A. F.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, L. P.

Atividade inseticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* l'Herit e *Lippia alba* (Mill) NE Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Química Nova*, São Paulo, Vol. 36, No. 9, 1391-1394, 2013

NOGUEIRA, L. **Categorias e níveis de resistência de genótipos de milho crioulo a *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidóptera: Noctuidae).** 2015. 101f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP, Jaboticabal.

NYASEMBE, V. O. *et al.* Development and assessment of plant-based synthetic odor baits for surveillance and control of malaria vectors. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 2, p. 898-18, 2014.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; FARIAS, R. **Manejo da resistência da *Spodoptera frugiperda* a inseticida e plantas Bt.** Piracicaba: IRAC-BR, 2013. p. 1-2.

OOTANI, M. A.; AGUIAR, R. W.; RAMOS, A. C.; BRITO, D. R.; SILVA, J. B. D.; CAJAZEIRA, J. P. Use of essential oils in agriculture. **Journal of biotechnology and biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 162-175, 2013.

PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. **Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas.** Brasília: Embrapa soja, 2009. 1164p.

PEIXOTO, D. N.; ALVES, K. S. S.; GOMES, M. D. M.; LIMA, F. C., LAHLOU, S., MAGALHÃES, P. J. C., CECCATTO, V. M.; SOUZA, A. N. C.; LEAL-CARDOSO, J. H. Vasorelaxant effects of the monoterpenic phenol isomers, carvacrol and thymol, on rat isolated aorta. **Fundamental & clinical pharmacology**, Lyon, v. 24, n. 3, p. 341-350, 2010.

PRATES, H. T; SANTOS, J. P. Óleos essenciais no controle de pragas de grãos armazenados. IN LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SENSSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos.** Campinas: Instituto Bio Geneziz, 2002. p. 443-461.

RESTELLO, R. M.; MENEGATT, C.; MOSSI, A. J. Efeito do óleo essencial de *Tagetes patula* L. (Asteraceae) sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky

(Coleoptera, Curculionidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 53, n. 2, p. 304-307, 2009.

SAMPAIO, A. A.; DA SILVA FONTES, L.; RAFAEL, D.; BARBOSA, S.; DA COSTA LIMA, V. M. G. Bioatividade dos extratos aquosos de folhas de pimenta malagueta e eucalipto sobre *Zabrotes subfasciatus* em grãos de fava. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 198-203, 2017.

SANTOS, M. D.; AREAS, M. A.; REYES, F. G. R. Piretróides—uma visão geral. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 18, n. 3, p. 339-349, 2008.

SERTKAYA, E.; KAYA, K.; SOYLU, S. Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.) (Acarina: Tetranychidae). **Industrial Cros and Products**, 31:107–112. 2010.

SILOTO, R. C. **Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho**. 2002. 93f. Tese (Doutorado em Entomologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, A. C. R. D., LOPES, P. M., AZEVEDO, M. M. B. D., COSTA, D. C. M., ALVIANO, C. S., & ALVIANO, D. S. Biological activities of  $\alpha$ -pinene and  $\beta$ -pinene enantiomers. **Molecules**, Basileia, v. 17, n. 6, p. 6305-6316, 2012.

SILVA, W. C.; RIBEIRO, J. D.; SOUZA, H. D.; CORRÊA, R. D. S. Atividade inseticida de *Piper aduncum* L. (Piperaceae) sobre *Aetalion* sp. (Hemiptera: Aetalionidae), praga de importância econômica no Amazonas. **Acta amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 293-298, 2007.

SIMÕES, C. M.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5ed. Porto Alegre: UFSC, 2004. p.475.

SOARES, C. S. A.; SILVA, M.; COSTA, M. B.; BEZERRA, C. E. S. Ação inseticida de óleos essenciais sobre a lagarta desfolhadora *Thyrinteina arnobia* (Stoll) (Lepidoptera: Geometridae). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 154-157, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Artmed, 2013, 918p.

TOSCANO, L. C.; CALADO FILHO, G. C.; CARDOSO, A. M.; MARUYAMA, W. I.; TOMQUELSKI, G. V. Impact of insecticides on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) and its natural enemies on off-season maize in Cassilândia and Chapadão do Sul, State of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 2, p. 223-231, 2012.

TRIPATHI, A. K.; UPADHYAY, S.; BHUIAN, M.; BHATTACHARYA, P. R. A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. **Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy**, New Delhi, v. 1, p. 52-63, 2009. VIEGAS JÚNIOR, C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, São Paulo, p. 390-400, 2003.

YU, S. J. Induction of microsomal oxidases by host plants in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Amherst, v. 17, n. 1, p. 59-67, 1982.

### **Artigo III**

### **Caracterização química do óleo essencial das folhas *Helietta apiculata* Benth (Rutaceae) e potencial inseticida**

**Luiz Octávio Gonzales Ferreira**

#### **Resumo**

A busca por um ambiente equilibrado e com menor utilização de produtos sintéticos justifica pesquisas que busquem alternativas naturais visando uma agricultura sustentável. Assim, os estudos realizados com a utilização dos óleos essenciais e seus componentes vem crescendo, com a finalidade de demonstrar o potencial de extratos botânicos como base de novas moléculas para o controle de pragas, com menor toxicidade ao meio ambiente e ao homem. A espécie *Helietta apiculata* Benth, conhecida popularmente como canela-de-veado, é uma Rutaceae, família vegetal que contem espécies com diversas atividades biológicas. Dessa forma, objetivou-se por meio desse trabalho realizar a caracterização química do óleo essencial das folhas da espécie *H. apiculata* coletadas em área de Cerrado no município de Jardim, Mato Grosso do Sul em fevereiro de 2019 e avaliar seu potencial inseticida em larvas de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). O material foi coletado de acordo com o protocolo e foi transportado ao Laboratório de Pesquisa em Entomologia para a extração do óleo essencial, obtido através da utilização de um aparelho de Clevenger. A composição química, determinada por Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG e CG-MS), detectou a presença de 96 compostos e identificou 59 compostos, correspondendo a 89,89% da composição total no óleo. Os constituintes majoritários foram Limoneno (13,65%), sesquiterpeno Germacreno D (11,19%),  $\beta$ -bisaboleno (4,28%), (E)- $\gamma$ -Bisaboleno (4,41%), Biciclogermacreno (5,39%), Germacreno B (6,57%), Elemol (7,32%) e o óleo essencial apresentou potencial inseticida no controle de larvas de *C. includens*.

**Palavras-chave:** Produtos naturais; Caracterização química; Composição do Óleo Essencial; Inseticida botânico.

## **Chemical characterization of the essential oil from leaves *Helietta apiculata* Benth (Rutaceae) and insecticidal potential**

### **Abstract**

The search for a balanced environment and with less use of synthetic products justifies research that seeks natural alternatives aiming at sustainable agriculture. Thus, the studies carried out with the use of essential oils and their components have been growing, in order to demonstrate the potential of botanical extracts as a basis for new molecules for pest control, with less toxicity to the environment and to man. The species *Helietta apiculata* Benth, popularly known as canela-de-veado, is a Rutaceae, a plant family that contains species with diverse biological activities. Thus, the objective of this work was to carry out the chemical characterization of the essential oil of the leaves of the species *H. apiculata* collected in a Cerrado area in the municipality of Jardim, Mato Grosso do Sul in February 2019 and to evaluate its insecticidal potential in larvae of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). The material was collected according to the protocol and transported to the Entomology Research Laboratory for the extraction of essential oil, obtained using a Clevenger apparatus. The chemical composition, determined by Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC and GC-MS), detected the presence of 96 compounds and identified 59 compounds, corresponding to 89.89% of the total composition in the oil. The major constituents were Limonene (13.65%), sesquiterpene Germacrene D (11.19%),  $\beta$ -bisabolene (4.28%), (E)- $\gamma$ -Bisabolene (4.41%), Bicyclogermacrene (5, 39%), Germacrene B (6.57%), Elemol (7.32%) and the essential oil showed insecticidal potential in the control of *C. includens* larvae.

**Keywords:** Natural products; Chemical characterization; Essential Oil Composition; Botanical insecticide.

## Introdução

A família Rutaceae possui distribuição nas regiões tropicais de todos os continentes e é composta por aproximadamente 150 gêneros e 1.600 espécies descritas, sendo que na região neotropical, são conhecidos 52 gêneros. Destes, 32 gêneros e 154 espécies ocorrem no Brasil com os maiores centros de diversidade representados pela Amazônia e Mata Atlântica (PIRANI, 2002).

As espécies dessa família são reconhecidas pela diversidade de metabólitos secundários, como alcaloides, cumarinas, ligninas, flavonoides, terpenóides e os limonóides. Muitos desses metabolitos possuem diversas atividades biológicas, o que desperta o interesse cada vez maior na investigação dos constituintes químicos dessa família (GROOPPO *et al.*, 2008; ZANON, 2010).

O gênero *Helietta* (Rutaceae) é representado por oito espécies, com distribuição neotropical, em áreas disjuntas na América do Norte (Texas e México), Cuba, norte da América do Sul e Sudeste do Brasil, Paraguai e norte da Argentina; principalmente em formações mesófilas a sub áridas (PIRANI, 1998).

A espécie *H. apiculata* ocorre no Paraguai oriental, no nordeste da Argentina (Misiones), com um registro disjunto no Peru e no Brasil, nos estados de Mato Grosso do Sul, oeste de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Habitualmente é encontrada em florestas semideciduais nas bacias dos rios Paraná, Paraguai e Alto Uruguai (PIRANI, 1998).

A *H. apiculata* é conhecida popularmente como canela-de-veado, canela-de-cutia, cun-cun, osso-de-burro e amarelinho, e tem como sinônima *Helietta longifoliata* Britt, *Helietta cuspidata* e *Esenbeckia cuspidata*. Essa planta é atribuída diversas atividades biológicas, como antimicrobiana, antioxidante e antimalária (LORENZI, 2020; GROOPPO *et al.*, 2008; PIRANI, 1998; ZANON, 2010).

Fernandes (2011), ao analisar a composição do óleo essencial de *H. apiculata*, coletadas no município de Mata, Rio Grande do Sul, em diversas estações do ano, detectou a variação na concentração dos compostos: a  $\delta$ -elemeno (8,08%),  $\gamma$ -elemeno (6,96%), elemol (15,27%), espatulenol (6,51%) e apresentaram concentrações elevadas em todas nas estações avaliadas, ao passo que o limoneno (28,3%), aparece em quantidades consideráveis, porém não se manifesta durante a primavera.

Ferronatto *et al.* (2012) ao realizarem coletas nas quatro estações ano, analisaram a composição química do óleo essencial de *H. apiculata* e identificaram 28 terpenos, dentre eles Monoterpenos, Monoterpenos oxigenados, Sesquiterpenos e sesquiterpenos oxigenados, sendo o limoneno o majoritário.

Segundo Leonardi e Bernardo (2020), a mistura das substâncias que compõem os óleos essenciais são investigadas em vários aspectos, um deles é o potencial inseticida, assim podendo contribuir para o controle de pragas agrícolas resistentes, devido a diversidade de substâncias que compõem esses óleos.

Assim, pelo que foi exposto, objetivou-se por meio desta investigação realizar a caracterização química do óleo essencial das folhas e avaliar o potencial inseticida da espécie *H. apiculata*., coletadas em área de Cerrado no município de Jardim, Mato Grosso do Sul.

## **Material e Métodos**

### **Coleta do material botânico e registro**

As folhas novas e maduras de *H. apiculata* foram coletadas de dez matrizes, em área de Cerrado, situadas no Recanto Ecológico Rio da Prata, Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Cabeceira do Prata (RPPN) (S 21°27'54,896" + W 056°26'27,501"), no km 512 - BR-267 - Zona Rural, município de Jardim, Mato Grosso do Sul. A coleta ocorreu com uso de tesouras de poda, entre as 7 e 8 horas da manhã, em 11 de fevereiro de 2019, o exemplar foi depositado no acervo do Herbário da Universidade Anhanguera - Uniderp, sob o número nº8565.

### **Obtenção do óleo essencial**

As folhas de *H. apiculata* após secagem à temperatura ambiente (25±2°C) durante oito dias, foram trituradas e 200g foram submetidas à hidrodestilação, utilizando-se um aparelho do tipo Clevenger por 2 horas. Após a secagem com sulfato de sódio anidro, o óleo foi acondicionado em ampolas de vidro âmbar a 4±2°C em freezer.

### **Análise dos constituintes químicos do óleo**

As análises foram realizadas no Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e Laboratório de Bioprospecção e Biologia Experimental (LabBBEx) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), com uso de equipamentos de cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) e cromatografia em fase gasosa com detector de ionização de chamas (CG-DIC).

Para a identificação dos constituintes químicos, amostras do óleo foram injetadas no sistema (CG-EM) utilizando uma coluna capilar de sílica fundida Rx-5ms (Restek Corporation, Bellefonte, PA) de 30 m x 0,25 mm (diâmetro) x 0,25 µm (espessura da película), revestida com 5% de difenildimetilpolisiloxano. As condições de análise foram: temperatura do injetor de 250°C; programação de temperatura do forno de 60-240°C (3°C/min); Hélio (99.995%) como gás transportador, ajustado a uma velocidade linear de 36,5 cm/sec (taxa de 1,0 mL min<sup>-1</sup>); injeção no modo split de 1 uL da amostra (5 uL do óleo essencial em 500 uL de hexano); razão split 1:20; ionização por impacto eletrônico (EI) 70 eV; temperatura da fonte de ionização e da linha de transferência de 200 e 250 °C,

respectivamente. Os espectros de massa foram obtidos por varredura automática, a 0,3 segundos, com fragmentos de massas na faixa de 35-400 m/z.

Para a identificação e quantificação dos compostos voláteis, as amostras do óleo foram injetadas no sistema (CG-DIC) nas seguintes condições: coluna capilar de sílica fundida Rtx-5ms (Restek Corporation, Bellefonte, PA) de 30 m x 0,25 mm (diâmetro) x 0,25 µm (espessura da película), revestida com 5% de difenildimetilpolisiloxano; temperatura do injetor de 250°C; temperatura do detector DIC de 260°C; injeção no modo split de 1 uL da amostra (5 uL do óleo essencial em 500 uL de hexano); razão split 1:20; programação de temperatura do forno de 60-240°C (3°C/min); Hélio (99.995%) como gás transportador, ajustado a uma velocidade linear de 36,5 cm/sec (taxa de 1,62 mL min<sup>-1</sup>). Hidrogênio e ar a 40 e 400 mL/min, respectivamente, foram utilizados no CG-DIC, com nitrogênio (30 mL/min) agindo como gás de compensação.

Os compostos existentes nos cromatogramas foram identificados por meio da comparação de seus espectros de massas (massa molecular e o padrão de fragmentação) com os espectros existentes na biblioteca do sistema e na literatura, além da comparação de seus índices de retenção (ADAMS, 2007; NIST, 2007).

Os índices de retenção foram calculados de acordo com a equação linear de Van Den Dool e Kratz (1963), que relaciona o tempo de retenção dos compostos ao tempo de retenção de uma série de hidrocarbonetos homólogos (Equação 1). Para isso, foi plotada uma curva de calibração com uma série de n-alcanos C8-C20 (Sigma-Aldrich) injetados nas mesmas condições cromatográficas das amostras.

Equação 1:

$$AI_{(x)} = 100 P_z + 100 \frac{[(RT_{(x)} - RT(P_z)]}{[(RT(P_{z+1}) - RT(P_z))]}$$

Onde:

AI<sub>(x)</sub>: índice retenção aritmético do composto alvo X

100P<sub>z</sub>: índice de retenção aritmético do hidrocarboneto anterior a X

RT<sub>(x)</sub>: tempo de retenção do composto alvo

RT(P<sub>z</sub>): Tempo de retenção do hidrocarboneto anterior a X

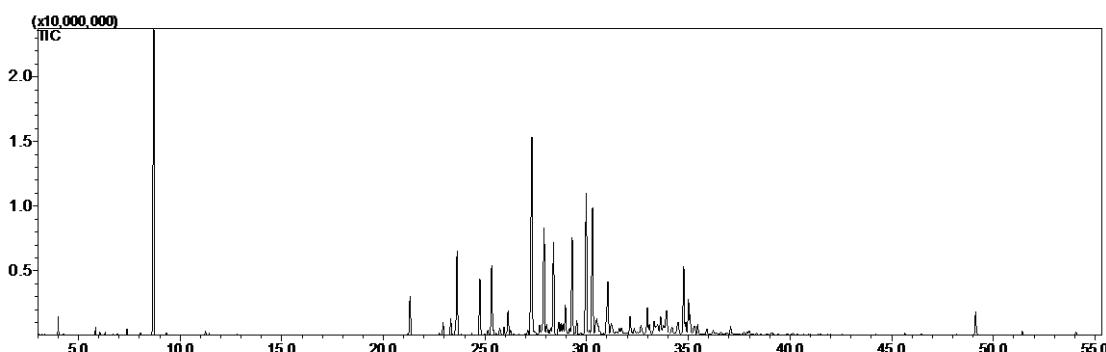
RT (P<sub>z+1</sub>): tempo de retenção do hidrocarboneto posterior a X

## Bioensaio de avaliação de toxicidade

Os indivíduos de *C. includens* foram obtidos da criação estabelecida no Laboratório de Entomologia da instituição Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, Mato Grosso do sul. A criação das lagartas é mantida em dieta artificial a base de feijão branco e gérmen de trigo (GREENE *et al.*, 1976) em sala climatizada com  $26 \pm 1$  °C, fotoperíodo positivo de 14 horas e umidade relativa de  $70 \pm 5$  %. O efeito inseticida do óleo essencial foi avaliado através de um screening de toxicidade, onde foi aplicado 1  $\mu$ L de óleo essencial puro na região protoráctica das lagartas que estavam no 3º instar de desenvolvimento e com 9 dias de vida; posteriormente, as lagartas foram acondicionadas em grupos de cinco indivíduos, por placas de Petri com 60 mm x 10 mm de diâmetro e fundo forrado com papel filtro. Assim, foram utilizadas seis placas (total de 30 insetos), contendo a mesma dieta artificial da criação. Após 24 horas, foi avaliada a mortalidade utilizando um pincel filete 110 cerda macia; cada lagarta recebia um toque sutil e, não havendo nenhuma resposta ao toque, eram consideradas mortas.

## Resultados e discussão

A análise cromatográfica determinou a presença de 96 compostos, dos quais foi possível identificar 59 compostos correspondendo a 89,89% da composição total no óleo essencial de *H. apiculata* (Figura 1 e Tabela 1).



**Figura 1.** Cromatograma do óleo essencial de *Helietta apiculata* Benth., coletadas na RPPN - Recanto Ecológico Rio da Prata, Fazenda Cabeceira do Prata, Jardim, Mato Grosso do Sul.

Dentre os compostos identificados e majoritários estão o monoterpeno Limoneno (13,65%) e o sesquiterpeno Germacreno D (11,19%). Em seguida, em

menor concentração, estão os compostos:  $\beta$ -bisaboleno (4,28%), (*E*)- $\gamma$ -Bisaboleno (4,41%), Biciclogermacreno (5,39%), Germacreno B (6,57%), Elemol (7,32%). Dentre os componentes minoritários, 41 dos compostos identificados estão na faixa de 0,02% a 0,83%, 6 estão na faixa de 1,05% a 1,73% e 5 compostos no intervalo de 2,57% a 3,92%. Não foi possível identificar 37 dos compostos, que estavam na faixa de 0,01% a 1,27%.

Estes resultados indicam que o óleo essencial das folhas de *H. apiculata* possui como os principais componentes sesquiterpenos hidrocarbonados, Germacreno D, Germacreno B, Biciclogermacreno, (*E*)- $\gamma$ -bisaboleno e o  $\beta$ -bisaboleno, e como sesquiterpenos oxigenado o elemol. A análise da composição desse óleo permite inferir que os sesquiterpenos são mais frequentes que os monoterpenos em sua composição. Tal característica torna a identificação dos componentes desses óleos essenciais bastante difíceis em alguns casos, em razão da inexistência de padrões (produzidos comercialmente) de vários sesquiterpenos. Em parte, tal desconhecimento justifica os compostos não identificados (Tabela 1), mas reforça a característica de interesse a ser explorada nessa espécie.

**Tabela 1.** Constituintes, Composição química (%), Tempo de Retenção (TR), Índice de Retenção Calculado (IRC) e Índice de Retenção da Biblioteca (a = Adams; b = FFNSC) (IRB). % - Percentual dos constituintes na amostra do óleo essencial de folhas de *Helietta apiculata* Benth., coletadas na RPPN - Recanto Ecológico Rio da Prata, Fazenda Cabeceira do Prata, Jardim, Mato Grosso do Sul

Constituintes	%	TR	IRC	IRB
NI	0,03	3.200	799	
NI	0,01	3.335	807	
NI	0,04	3.750	831	
(2 <i>E</i> )-Hexenal	0,45	4.000	845	846a
Hexanol	0,02	4.260	860	863a
$\alpha$ -Pineno	0,2	5.840	932	932a
NI	0,08	6.050	940	
NI	0,09	6.310	950	
NI	0,03	6.685	963	

$\beta$ -Pineno	0,05	6.915	972	973a
Mirceno	0,17	7.390	989	988a
$\delta$ -3-Careno	0,08	8.055	1010	1008a
Limoneno	13,65	8.710	1028	1024a
(E)- $\beta$ -Ocimeno	0,08	9.315	1045	1044a
Linalol	0,14	11.250	1098	1995a
2-metil-butanoato de 2-metilbutil	0,06	11.425	1103	1100a
trans-óxido de Limoneno	0,04	12.805	1136	1137a
$\delta$ -elemeno	1,73	21.315	1337	1335a
$\alpha$ -Ylangeno	0,09	22.750	1371	1373a
$\alpha$ -Copaeno	0,54	22.935	1375	1374a
$\beta$ - Bourboneno	0,63	23.315	1384	1387a
$\beta$ -Elemeno	3,92	23.625	1391	1389a
Z-Jasmona	0,05	23.825	1396	1392a
$\alpha$ -gurjuneno	0,07	24.350	1409	1409a
E-Cariofileno	2,57	24.750	1419	1417a
NI	0,05	24.990	1424	
$\beta$ -Copaeno	0,22	25.140	1428	1430a
$\gamma$ -Elemeno	3,25	25.325	1433	1434a
$\alpha$ -Guaieno	0,1	25.530	1438	1437a
6,9-Guaiadieno	0,37	25.720	1442	1442a
NI	0,35	25.945	1448	
$\alpha$ -Humuleno	1,1	26.135	1453	1452a
Sesquisabineno	0,21	26.255	1456	1457a
NI	0,05	26.660	1465	
$\gamma$ -Muuroleno	0,18	27.105	1476	1478a
Germacreno D	11,19	27.305	1481	1484a
NI	0,13	27.410	1484	
$\beta$ -Salineno	0,09	27.470	1485	1489a
Cis- $\beta$ -Guaineno	0,44	27.695	1491	1492a
Biciclogermacreno	5,39	27.905	1496	1500a/1497b
$\alpha$ - Muuroleno	0,43	28.030	1499	1500a/1497b

(Z)- $\alpha$ -Bisaboleno	0,16	28.120	1501	1506a
$\alpha$ -Bulneseno	0,27	28.225	1504	1509a/1505b
$\beta$ -bisaboleno	4,28	28.370	1508	1505a/1508b
Cubebol	0,6	28.625	1514	1514a
NI	0,45	28.730	1517	
NI	0,41	28.830	1520	
$\delta$ -Cadineno	1,39	28.950	1523	1522a
NI	0,3	29.160	1528	
(E)- $\gamma$ -Bisaboleno	4,41	29.290	1531	1529a
NI	0,05	29.400	1534	
NI	0,6	29.510	1537	
Elemol	7,32	29.980	1549	1548a
NI	0,21	30.125	1553	
Germacreno B	6,57	30.285	1557	1559a
NI	1,14	30.490	1562	
NI	0,34	30.565	1564	
NI	0,11	30.650	1566	
Espatulenol	3,22	31.045	1576	1577a
NI	0,81	31.205	1581	
Globulol	0,16	31.425	1586	1590a
Viridiflorol	0,24	31.595	1591	1592a
NI	0,27	31.715	1594	
NI	0,81	32.135	1604	
$\beta$ - Atlantol	0,23	32.335	1609	1608a
1-10-di-epi-Cubenol	0,37	32.670	1618	1618a
NI	1,27	32.985	1626	
$\gamma$ -Eudesmol	0,42	33.090	1629	1630a
Gossonorol	0,64	33.310	1634	1636a
Hinesol	0,3	33.395	1636	1640a/1645b
epi- $\alpha$ -Muurolol	0,52	33.475	1638	1640a/1645b
$\alpha$ -Muurolol	0,83	33.635	1642	1644a
$\beta$ -Eudesmol	0,46	33.770	1646	1649a
$\alpha$ -Cadinol	1,43	33.930	1650	1652a

NI	0,33	34.200	1657	
(E)14-Hidróxi-9-epi-	0,8	34.495	1664	1668a
Cariofileno				
Bulnesol	3,22	34.770	1671	1670a
Khusinol	0,43	34.875	1674	1679a
epi- $\alpha$ -Bisabolol	1,51	35.005	1677	1683a
$\alpha$ -Bisabolol	0,76	35.085	1679	1584a
NI	0,52	35.300	1685	
Cânfora	0,42	35.455	1689	1696b
NI	0,29	35.910	1800	
NI	0,13	36.230	1805	
NI	0,09	36.605	1811	
Acetato de Khusinol	0,37	37.075	1818	1823a
NI	0,11	37.740	1828	
NI	0,14	37.905	1830	
NI	0,2	38.000	1831	
NI	0,07	38.340	1837	
NI	0,09	40.065	1862	
NI	0,08	40.155	1864	
NI	0,1	45.655	1996	
Fitol	1,05	49.130	2109	2106b
NI	0,18	51.430	2187	
NI	0,15	54.070	2280	
<b>Total</b>	<b>100</b>			
<b>Total Identificado</b>	<b>89,89</b>			

**NI: Não Identificado;**

Os resultados obtidos através do screening de toxicidade demonstraram o potencial desse óleo no controle de *C. Includens*, pois após as 24 horas de ensaio houve 100% de mortalidade nos insetos.

Fernandes (2011), ao realizar estudos com o óleo essencial de *H. apiculata* obtidos em diversas estações do ano, detectou a variação na concentração dos compostos como a maior concentração de elemol (15,27%),  $\delta$ -elemeno (8,08%),  $\gamma$ -elemeno (6,96%), e espatulenol (6,51%) em todas as

estações, enquanto limoneno (21,73%) aparece em quantidades consideráveis, porém ausente no óleo obtido durante a primavera.

Nos óleos essenciais extraídos das folhas da planta em quatro estações do ano coletados em Chapecó por Ferronatto *et al.* (2012) identificaram 28 terpenos, dentre eles monoterpenos, monoterpenos oxigenados, sesquiterpenos e sesquiterpenos oxigenados, sendo o limoneno o principal composto encontrado em todas as estações em estudo, 29,1% (primavera), 24,8% (verão), 30,2% (outono) e 28,5% (inverno) da espécie *H. apiculata* coletada em Chapecó, Santa Catarina. Os autores consideraram que as amostras analisadas apresentaram pouca variação na concentração do limoneno nas diferentes estações do ano, o mesmo não ocorreu com o espatulenol, sesquiterpenóide oxigenado, o segundo composto encontrado nas 4 estações do ano, porém com maior concentração na primavera (18,1%). O terceiro composto predominante nesses óleos foi o  $\beta$ -elemene encontrado no verão, primavera e outono, mas não no inverno.

Moura *et al.* (2002), encontraram nas folhas de *H. longifoliata*, coletada em outubro em Jaraguari, Rio Grande do Sul, a predominância dos sesquiterpenos (80%) e 20% de monoterpenos, sendo os majoritários o limoneno (17,50%), D-germacreno (16,6%), elemol (11,81%), biciclogermacreno (11,67%), guaiol (11,53%) e epi- $\alpha$ -bisabolol (7,24%) e este óleo foi ativo para bactéria gram-negativas e gram-positivas.

Nogueira *et al.* (2020), ao realizarem estudos com o óleo essencial das folhas de *Pilocarpus spicatus* A. St.-Hil. var. *lealii* (Machado) Kaastra (Rutaceae) coletadas no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, identificaram a presença de diversos compostos, sendo os majoritários Limoneno (46,80%), Muuroleno (10,52%),  $\gamma$ -biciclogermacreno (5.85%) e  $\beta$ -cariofileno (4.70%); alguns desses compostos foram encontrados no óleo essencial do presente estudo.

Tian *et al.* (2019) ao realizarem estudos com óleos essenciais das folhas de *Dictamnus dasycarpus* Turcz, coletadas em Liuhe, China, identificaram a presença de 39 compostos, dos quais os majoritários foram germacreno D (18,0%), terpinoleno (13,0%), (Z) - $\beta$ -ocimeno (10,4%),  $\beta$ -cariofileno (7,74%), fitol (5,20%) e (+) -viridiflorol (3,16%). Detectar a presença do germacreno D como

um dos componentes majoritários pode ser uma das características da família Rutaceae.

O estudo realizado com o óleo essencial das folhas coletadas em Iporá, Goiás, de outra espécie pertencente à família Rutaceae, a *Zanthoxylum rhoifolium* Lam., foram encontrados os seguintes compostos majoritários:  $\beta$ -elemeno (31,26%), D-germacreno (18,16%),  $\beta$ -cariofileno (12,09%),  $\delta$ -elemeno (7,63%),  $\beta$ -cedrene (6,69%), biciclogermacreno (4,57%) e E-cariofileno (3,63%) (CHRISTOFOLI *et al.*, 2015).

Liu *et al.* (2019), ao realizarem estudos com óleos essenciais obtidos das cascas de *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle (Rutaceae), coletadas em Chongqing, China, verificaram a presença de diversos compostos como: Limoneno, que foi o componente mais abundante (67,47-72,98%), seguido por mirceno (3,91-4,83%), germacreno-D (1,86-3,00%), linalol (0,48-2,64%) e  $\gamma$ -elemeno (1,79-2,12%). Esses compostos também foram encontrados no óleo essencial de *H. apiculata* deste estudo, o que reforça que a presença desses compostos pode ser uma característica da família Rutaceae.

A composição química dos óleos essenciais é o resultado da formação e transformação durante o crescimento da planta, eventos que podem ocorrer por três fatores: genéticos, ambientais e técnicas de cultivo (CASTRO *et al.*, 2002).

Oussalah *et al.* (2007) descreve que os metabólitos secundários podem ser extraídos de diversas partes da planta e que possuem uma composição química complexa, em geral resultado de vantagens adaptativas para sobreviver no meio em que estão inseridas. A composição química dos óleos essenciais pode variar entre espécies e até mesmo partes de um mesmo vegetal, uma espécie botânica pode sofrer interferência pelo local de cultivo, condições de coleta, estocagem e dos fatores edafoclimáticas (GOBBO-NETO e LOPES, 2007).

## **Conclusão**

A caracterização química do óleo essencial das folhas da espécie *Helietta apiculata* Benth, identificou a presença de 96 compostos e 59 compostos, correspondendo a 89,89% da composição total no óleo. Com os compostos majoritários o monoterpeno Limoneno (13,65%), o sesquiterpeno Germacreno D (11,19%),  $\beta$ -bisaboleno (4,28%), (*E*)- $\gamma$ -Bisaboleno (4,41%), Biciclogermacreno (5,39%), Germacreno B (6,57%), Elemol (7,32%), e o óleo essencial apresentou potencial inseticida no controle de larvas de *C. includens*.

## **Agradecimentos**

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Universidade Anhanguera-Uniderp, através do pagamento de bolsa de estudo.

## Referências Bibliográficas

- ADAMS, R. P. 2007. **Identification of Essential Oils Components by Gas Chromatography/ Quadrupole Mass Spectroscopy**. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2007. 804p.
- CASTRO, D. M.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M. Composição fitoquímica dos óleos essenciais de folhas da *Lippia alba* (Mill). N.E. Br em diferentes épocas de colheita e partes do ramo. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Paulínia, v. 4, n. 2, p. 75-79, 2002.
- CHRISTOFOLI, M.; COSTA, E. C. C.; BICALHO, K. U.; DOMINGUES, V.C.; PEIXOTO, M. F.; ALVES, C. C. F.; ARAÚJO, W. L.; CAZAL, C. M. Insecticidal effect of nanoencapsulated essential oils from *Zanthoxylum rhoifolium* (Rutaceae) in *Bemisia tabaci* populations. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 70, p. 301-308, 2015.
- FERNANDES, T. S. **Análise Fitoquímica e Estudo das atividades antimicrobiana, antioxidante e de inibição da enzima Acetilcolinesterase da espécie *Helietta apiculata* Benth.** 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- FERRONATTO, R.; CARRARO, C.; MARINS, K.; FLACH, A.; DE MOURA, N.F. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils from *Helietta apiculata* Benth. (Rutaceae). **Journal of Essential Oil Research**, Londres, v. 24, n. 1, p. 13-17, 2012.
- FRANZENER, G.; SILVA, M. F. A.; STANGARLIN, J. R.; CZEPAK, M. P.; ESTRADA, K. R. F. S.; CRUZ, M. E. S. Atividades antibacteriana, antifúngica e indutora de fitoalexinas de hidrolatos de plantas medicinais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, 2007.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

GROOPPO, M. PIRANI J. R.; SALATINO, M. L. F.; BLANCO, S. R.; KALLUNKI, J. A. Phylogeny of Rutaceae based on two noncoding regions from cpDNA. **American Journal of Botany**, Connecticut, v. 95, n. 8, p. 985-1005, 2008.

LEONARDI, F. L.; BERNARDO, M. A. T. Óleos essenciais como alternativa sustentável à produção agrícola: uma revisão bibliográfica. **Cadernos de Agroecologia**, Dourados, v. 15, n. 4, 2020.

LIU, X.; LIU, B.; JIANG, D.; ZHU, S.; SHEN, W.; YU, X.; XUE, Y.; LIU, M.; FENG, J.; ZHAO, X. The accumulation and composition of essential oil in kumquat peel. **Scientia Horticulturae**, Viterbo, v. 252, p. 121-129, 2019.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 8ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2020. v. 1. 384p.

MOURA, N. F.; SIMIONATTO, E.; PORTO, C.; HOELZEL, S. C.; DESSOY, E. C., ZANATTA, N.; MOREL, A. F. Quinoline alkaloids, coumarins and volatile constituents of *Helietta longifoliata*. **Planta medica**, Rockville, v. 68, n. 07, p. 631-634, 2002.

NIST. National Institute of Standards and Technology. **Mass spectral library** (Nist/Epa/Nih, v. 2.0d). The NIST Mass Spectrometry Data Center, Gaithersburg. 2007.

NOGUEIRA, J. A.; FIGUEIREDO, A.; DUARTE, J. L.; ALMEIDA, F. B.; SANTOS, M. G.; NASCIMENTO, L. M.; FERNANDES, C. P.; MOURÃO, S. C.; TOSCANO, J. H. B.; ROCHA, L. M.; CHAGAS, A. C. S. Repellency effect of *Pilocarpus spicatus* A. St.-Hil essential oil and nanoemulsion against *Rhipicephalus microplus* larvae. **Experimental Parasitology**, Amsterdā, v. 215, p. 107919, 2020.

OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; SAUCIER, L.; LACROIX, M. Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157:H7, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. **Food Control**, Reading, v. 18, n. 5, p. 414-420, 2007.

PIRANI, J. R. A revision of *Helietta* and *Balfourodendron* (Rutaceae-Pteleinae). **Brittonia**, Nova York v. 50, n. 3, p. 348-380, 1998.

PIRANI, J. R. Rutaceae In: WANDERLEY, M.G.L.; SHEPHERD, G.J.; GIULIETTI, A.M.; MELHEM, T.S.; BITTRICH, V.; KAMEYAMA, C. **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2002. vol. 2, pp: 281-308.

TIAN, H.; ZHAO, H.; ZHOU, H.; ZHANG, Y. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from the aerial part of *Dictamnus dasycarpus* Turcz. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 140, p. 111713, 2019.

ZANON, G. **Análise Fitoquímica e Estudo das Atividades Antimicrobiana, Antioxidante e de Inibição da Enzima Acetylcolinesterase das espécies *Zanthoxylum rhoifolium* e *Zanthoxylum hyemale***. 2010. 174f. Dissertação (Mestre em Química) – Centro de Ciências Naturais e Exatas Programa de Pós-graduação em Química. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

## 7. Conclusão Geral

Os óleos essenciais das três espécies de *Eucalyptus* reconhece 23 compostos para *E. grancam*, 18 compostos *Eucalyptus urocam* e 29 compostos para *Eucalyptus urophylla*.

Todos os óleos apresentam potencial inseticida para larvas de terceiro instar de *Chrysodeixis includens*, sendo que os óleos de *E. urocam* e *E. urophylla*, apresentam toxicidade semelhantes e, também, são mais tóxicos que o *E. grancam*.

Para larvas de terceiro instar de *S. frugiperda* todos compostos testados apresentaram potencial inseticida, porém, obtiveram maior evidência os compostos mentol e α-pineno, por serem amostras que tiveram menor declividade da curva.

A caracterização química do óleo essencial das folhas da espécie *Helietta apiculata* Benth, identificou a presença de 96 compostos e identificou 59 compostos, correspondendo a 89,89% da composição total no óleo. Contudo o óleo essencial de *Helietta apiculata* Benth, e apresentou potencial inseticida para larvas de *C. includens*.

Dessa forma os óleos essenciais e os monoterpenóides, podem ser prospectados como uns futuros inseticidas botânicos de baixo traço residual, biodegradável, e baixa toxicidade a vertebrados. Porém se faz necessário estudos mais aprofundados de caráter multidisciplinar para que possa ser comercializado de forma segura.