

JOÃO PEDRO DE ANDRADE BOMFIM

**ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Bemisia tabaci* (GENNADIUS)
BIÓTIPO B (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE), *Spodoptera frugiperda* (JE
SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E INIMIGOS NATURAIS**

Botucatu

2020

JOÃO PEDRO DE ANDRADE BOMFIM

**ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Bemisia tabaci* (GENNADIUS)
BIÓTIPO B (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE), *Spodoptera frugiperda* (JE
SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E INIMIGOS NATURAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Proteção de Plantas).

Orientadora: Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

Botucatu

2020

B695a Bomfim, João Pedro de Andrade
Atividade de óleos essenciais sobre Bemisia tabaci (Gennadius)
biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae), Spodoptera frugiperda (JE
Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e inimigos naturais / João Pedro de
Andrade Bomfim. -- , 2021
104 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,
Orientadora: Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

1. Cymbopogon citratus. 2. Syzygium aromaticum. 3.
Mosca-branca. 4. Lagarta-do-cartucho. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Bemisia tabaci* (GENNADIUS) BIÓTIPO B (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE), *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E INIMIGOS NATURAIS

AUTOR: JOÃO PEDRO DE ANDRADE BOMFIM

ORIENTADORA: REGIANE CRISTINA OLIVEIRA DE FREITAS BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Prof.^a Dr.^a REGIANE CRISTINA OLIVEIRA DE FREITAS BUENO (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof.^a Dr.^a DANIELLE FERNANDES DA SILVA (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda - Departamento de Química / Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. MOACIR ROSSI FORIM (Participação Virtual)
Química / Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM (Participação Virtual)
Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Dr.^a GABRIELA GRANGHELLI GONÇALVES (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda - Departamento de Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 02 de dezembro de 2020

*Aos meus pais,
Marivalda e João e à minha avó Jovina,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

À FCA/UNESP, Campus de Botucatu, em especial o Programa de Pós-graduação em Agronomia (Proteção de Plantas) pela oportunidade de crescimento profissional através da realização do curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela viabilização deste trabalho através da bolsa concedida. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À minha orientadora Profa. Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno, pela dedicação e zelo no orientar, por todos os ensinamentos compartilhados e por todas oportunidades oferecidas.

A todos os integrantes do AGRIMIP, pelo companheirismo, e contribuição na execução do trabalho.

Aos estudantes de graduação Meri, Lucas, Felipe Lipe, Felipe Matheus e Celso que trabalharam diretamente comigo durante estes três anos de doutorado

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Proteção de Plantas) pelos ensinamentos.

Aos meus pais, Marivalda Andrade e João Bomfim, ao meu padrasto Sival Silva, minha irmã Gabriele, meu irmão Robert e meu irmão João Victor pelos incentivos aos estudos.

Aos meus amigos Nadja Nara, Carolane Silva, Gabriely Ramos, Daniel Alvarez, Gabriela Gonçalves, Rafael Lima, Raquel Gonçalves, Sidinei Dallacort, Diego Arcanjo, Lucas Brunini, Daniel Diego e muitos outros, pela amizade, suporte, conversas e vivências.

A todas as amizades conquistadas em Botucatu, que fizeram e fazem minha passagem por aqui mais iluminada.

Ao professor Felipe Giardini, pela parceria e por disponibilizar o Laboratório para a execução de meus trabalhos.

À professora Maria Fátima das Graças Fernandes da Silva, por estar sempre disponível para auxiliar no desenvolvimento da pesquisa

À Jéssica Amaral, por toda a disponibilidade e auxílio nas análises químicas

E finalmente, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

Insetos-praga são um dos principais problemas fitossanitários na agricultura, sendo responsáveis por perdas de produtividade. O controle destes organismos é realizado, em geral, por meio da aplicação de inseticidas sintéticos. No entanto, devido à busca por produtos de menor impacto no ambiente e com menores resíduos nos alimentos, estudos com plantas inseticidas têm se intensificado. Dois insetos-praga têm se destacado no cenário mundial: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) devido a suas características polífagas, à voracidade dos insetos, casos de populações resistentes, além do fato de *B. tabaci* ser vetora de fitopatógenos. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar o potencial dos óleos essenciais de *Syzygium aromaticum*, *Baccharis dracunculifolia*, *Cordia verbenacea*, *Schinus terebinthifolius*, *Callistemon* sp. e *Cymbopogon citratus* sobre *B. tabaci*, *S. frugiperda* e sobre os parasitoides *Telenomus remus* e *Trichogramma pretiosum*. Foram realizados experimentos para avaliar o potencial destes óleos essenciais na mortalidade de *S. frugiperda* via dieta artificial, dieta natural, por pulverização e imersão do alimento. Foram determinadas as concentrações letais para o óleo essencial de *C. citratus*. Avaliou-se o efeito da fumigação dos óleos em *T. pretiosum* e *T. remus*. Em mosca-branca, avaliou-se o efeito na mortalidade nas fases de ovo, ninfa e adulto, além da repelência e deterrência de oviposição em adultos. Os óleos de *C. citratus* e *S. aromaticum* foram tóxicos para as duas pragas e para os inimigos naturais. A pulverização dos óleos sobre lagartas de segundo ínstar de *S. frugiperda* não foi efetiva na redução da população da praga. A fase mais sensível de *B. tabaci* foi a de ninfa, com valores acima de 90,0% de mortalidade. Os óleos essenciais mostraram-se promissores para a utilização no controle das pragas-alvo e podem ser utilizados em programas de manejo integrado, sobretudo associando ao controle biológico, desde que seja respeitado o momento ideal para o posicionamento de ambas as táticas.

Palavras-chave: *Cymbopogon citratus*. *Syzygium aromaticum*. Mosca-branca. Lagarta-do-cartucho.

ABSTRACT

Pest insects are one of the main phytosanitary problems in agriculture, being responsible for yield losses. In general, the control of these organisms is carried out based on synthetic insecticides spraying. However, in order to get an eco-friendlier management tool, which also provide food security, studies with insecticidal plants have been increased. Two pest insects have globally stood out: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) due to their polyphagia, voracity, potential resistance development, additionally to the fact that *B. tabaci* is vector of phytopathogens. In this context, the present study aimed to evaluate the potential of the essential oils of *Syzygium aromaticum*, *Baccharis dracunculifolia*, *Cordia verbenacea*, *Schinus terebinthifolius*, *Callistemon* sp. and *Cymbopogon citratus* on *B. tabaci*, *S. frugiperda* and on the parasitoids *Telenomus remus* and *Trichogramma*. Trials were carried out to evaluate the potential of these essential oils in the mortality of *S. frugiperda* under artificial diet, natural diet, spraying and immersing food conditions. Lethal doses have been determined for some oils. The effect of oil fumigation on *T. pretiosum* and *T. remus* was evaluated. For *B. tabaci*, the effect on mortality in the egg, nymph and adult stages was evaluated, besides repellency and deterrence of oviposition in adults. The oils of *C. citratus* and *S. aromaticum* were toxic to both pests and to natural enemies. The spraying of oils on second instar larvae of *S. frugiperda* was not effective in reducing the pest population. The most sensitive stage of *B. tabaci* was the nymph, with values above 90.0% of mortality. Essential oils have shown promise for use in the control of target pests and can be used in integrated pest management programs, additionally to natural enemies' releasement, only if the ideal moment for the positioning of both tactics is respected.

Keywords: *Cymbopogon citratus*. *Syzygium aromaticum*. Whitefly. Fall armyworm.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	17
	CAPÍTULO 1 - ÓLEOS ESSENCIAIS COM POTENCIAL PARA USO NO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS	20
1.1	INTRODUÇÃO	22
1.2	INSETICIDAS BOTÂNICOS COMO FERRAMENTA NO MANEJO DE INSETOS-PRAGA.....	23
1.3	ÓLEOS ESSENCIAIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS	23
1.4	FAMÍLIAS BOTÂNICAS E ESPÉCIES COM ATIVIDADE SOBRE INSETOS	25
1.4.1	Família Anacardiaceae.....	25
1.4.2	Família Asteraceae	27
1.4.3	Família Myrtaceae.....	28
1.4.4	Família Poaceae	29
1.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS.....	33
	CAPÍTULO 2 - ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE SPODOPTERA FRUGIPERDA (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E PARASITOIDES DE OVOS TRICHOGRAMMA PRETIOSUM RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) E TELENOMUS REMUS NIXON (HYMENOPTERA: PLATYGASTRIDAE)	38
2.1	INTRODUÇÃO	40
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.2.1	Insetos utilizados nos bioensaios	42
2.2.2	Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial	42
2.2.3	Determinação do perfil químico do óleo essencial	44
2.2.4	Efeito dos óleos essenciais em dieta artificial sobre <i>Spodoptera frugiperda</i>	45
2.2.5	Efeito dos óleos essenciais em folha de milho sobre <i>Spodoptera frugiperda</i>	45

2.2.6	Efeito dos óleos essenciais em plântulas de milho sobre <i>Spodoptera frugiperda</i>	46
2.2.7	Efeito de fumigação sobre <i>Trichogramma pretiosum</i> e <i>Telenomus remus</i>	46
2.2.8	Efeito da pulverização sobre imaturos de <i>Telenomus remus</i>	47
2.2.9	Análise estatística.....	47
2.3	RESULTADOS	47
2.3.1	Determinação do perfil químico dos óleos essenciais	47
2.3.2	Bioensaios	48
2.4	DISCUSSÃO	54
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	REFERÊNCIAS	58
	CAPÍTULO 3 - EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>CYMBOPOGON CITRATUS</i> (DC.) STAPF (POACEAE) SOBRE <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E OS INIMIGOS NATURAIS <i>TRICHOGRAMMA PRETIOSUM</i> RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) E <i>TELENOMUS REMUS</i> NIXON (HYMENOPTERA: PLATYGASTRIDAE)	62
3.1	INTRODUÇÃO	64
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	66
3.2.1	Criação dos parasitoides <i>Trichogramma pretiosum</i> e <i>Telenomus remus</i>	66
3.2.2	Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial.....	66
3.2.3	Determinação do perfil químico do óleo essencial	67
3.2.4	Efeito do óleo essencial sobre lagartas	67
3.2.5	Determinação da CL ₅₀ CL ₈₀ e CL ₉₅	68
3.3	RESULTADOS	68
3.3.1	Rendimento e composição do óleo essencial.....	68
3.3.2	Efeito do óleo essencial sobre lagartas	69
3.4	DISCUSSÃO	73
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS	77
	CAPITULO 4 - ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE <i>BEMISIA TABACI</i> (GENNADIUS) BIÓTIPO B (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE) .	81

4.1	INTRODUÇÃO	83
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	84
4.2.1	Criação de <i>Bemisia tabaci</i>	84
4.2.2	Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial	84
4.2.3	Determinação do perfil químico do óleo essencial	85
4.2.4	Efeito dos óleos essenciais em ovos de <i>Bemisia tabaci</i>	86
4.2.5	Efeito inseticida em ninfas de <i>Bemisia tabaci</i>	88
4.2.6	Efeito inseticida sobre adultos de <i>Bemisia tabaci</i>	88
4.2.7	Efeito de repelência sobre adultos de <i>Bemisia tabaci</i>	89
4.2.8	Efeito de deterrência de oviposição de <i>Bemisia tabaci</i>	89
4.2.9	Análise estatística	90
4.3	RESULTADOS.....	90
4.4	DISCUSSÃO	94
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
	REFERÊNCIAS.....	97
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
	REFERÊNCIAS	101

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil se configura como um dos principais produtores mundiais de alimento, com cultivos de grãos em extensas áreas, além de se destacar na produção de frutas e hortaliças (CONAB, 2020). Apesar do alto rendimento nas lavouras brasileiras, problemas fitossanitários se configuram como entraves para o alcance de produtividades ainda maiores. Dentre os problemas fitossanitários, a ocorrência de insetos-praga tem destaque devido à grande diversidade de indivíduos, à rápida adaptação nos diversos ambientes, ao ciclo curto e alto potencial biótico, entre outros fatores.

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é um dos principais insetos-praga da agricultura mundial, por suas características biológicas e comportamentais. É a principal praga para a cultura do milho (*Zea mays* – Poaceae), mas se caracteriza como um inseto polífago, com registro de 353 espécies hospedeiras em todo o mundo (MONTEZANO et al., 2018). Embora sua ocorrência seja mais frequente no milho, a lagarta-do-cartucho ataca diversas outras espécies de importância econômica como soja (*Glycine max* – Fabaceae), feijão (*Phaseolus vulgaris* – Fabaceae), algodão (*Gossypium hirsutum* – Malvaceae), tomate (*Solanum lycopersicum* – Solanaceae), pimentão (*Capsicum annuum* – Solanaceae) e couve (*Brassica oleraceae* var. *acephala* – Brassicaceae) (MONTEZANO et al., 2018). Outra característica importante de *S. frugiperda* é o potencial para selecionar populações resistentes às moléculas inseticidas, com 146 casos registrados em todo o mundo (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021). No ano de 2016 ocorreu o primeiro registro de *S. frugiperda* na África, em 2019 na China e outros países da Ásia e, em 2020, na Austrália, configurando sua presença em todos os continentes (FAO, 2019; 2020; GOERGEN et al., 2016).

Além da lagarta-do-cartucho, a mosca-branca da espécie *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) tem alta relevância no cenário agrícola mundial (LACERDA; CARVALHO, 2008). Além do alto potencial biótico, comportamento cosmopolita e polífago, *B. tabaci* é um inseto vetor, transmitindo vírus para espécies vegetais de importância econômica, como tomate e pimentão (QUINTELA et al., 2016; VILLAS BÔAS; FRANÇA; MACEDO, 2002). Dentre as espécies hospedeiras deste inseto, destacam-se aquelas pertencentes às famílias

Brassicaceae, Cucurbitaceae, Euforbiaceae, Fabaceae, Malvaceae e Solanaceae (HAJI et al., 2004; SOUZA et al., 2016; TOSCANO et al., 2016), o que faz de *B. tabaci* um sério problema fitossanitário na horticultura.

Assim como *S. frugiperda*, *B. tabaci* apresenta rápida seleção de populações resistentes à moléculas inseticidas, com 664 casos de resistência relatados no mundo (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021). Os danos diretos de *B. tabaci* estão relacionados à alimentação de ninfas e adultos, que succionam seiva do floema da planta-alvo, debilitando-a (QUINTELA et al., 2016). E danos indiretos, como a liberação do *honeydew* no processo alimentar, substância açucarada que favorece o desenvolvimento do fungo *Capnodium* sp., causador da fumagina, com consequente diminuição do potencial fotossintético das plantas infestadas (CARVALHO et al., 2015).

O controle destes insetos-praga se dá, predominantemente, por meio da aplicação de inseticidas sintéticos. Contudo, para o controle de *S. frugiperda* em culturas como milho, soja e algodão, onde a tecnologia da transgenia está disponível, o plantio de sementes geneticamente modificadas em que as plantas expressam proteínas da bactéria *Bacillus thuringiensis*, passa a ser a principal ferramenta de controle (BERNARDI et al., 2016; SOUZA et al., 2013). A liberação de parasitoides de ovos, por meio de programas de controle biológico, tem sido uma prática frequente. No Brasil, o parasitoide *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é a principal espécie produzida para o controle de *S. frugiperda* (BUENO; PARRA; BUENO, 2012; BUENO et al., 2017; PARRA; COELHO JUNIOR, 2019). Estudos têm avaliado o potencial de *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygastridae) no controle biológico da lagarta-do-cartucho, pois apresenta afinidade ao parasitismo de ovos do gênero *Spodoptera* Guenée e é capaz de realizar o parasitismo nos ovos das camadas mais internas (BUENO et al., 2008; GOULART et al., 2011).

Os estudos visando selecionar plantas com potencial inseticida têm aumentado, sobretudo devido à crescente demanda por alternativas de menor impacto ambiental e na saúde humana (CHAKIRA et al., 2017; CLERICI et al., 2018; GONÇALVES et al., 2017; ISMAN, 2017, 2019). Os inseticidas botânicos apresentam baixa persistência no ambiente e rápida degradação. A capacidade que muitas espécies vegetais têm de provocar a morte do inseto, ou mesmo

alterações biológicas e comportamentais é resultante dos compostos oriundos do metabolismo secundário destas plantas (ISMAN, 2006; PAVELA, 2016).

Os óleos essenciais, que são compostos formados predominantemente por monoterpenos e sesquiterpenos, voláteis e odoríferos, representam um dos grupos destes metabólitos e são produzidos por várias famílias botânicas (ALVES et al., 2018; HUSSEIN; SALEM, SOLEMAN, 2017; JAIROCE et al., 2016; KABERA et al., 2011). As características quantitativas e qualitativas dos óleos essenciais de uma mesma espécie botânica podem variar em função de vários fatores, como condições edafoclimáticas, estação do ano e horário de coleta do material vegetal, estresses bióticos e abióticos, como ataque por herbívoros e precipitação pluviométrica, entre outros (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MADI et al., 2020; MORAIS, 2009).

Estudos evidenciaram o efeito de óleos essenciais sobre insetos-praga de importância econômica, entre eles as espécies *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae), *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) e *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) (ALVES et al., 2015; ANDRADE et al., 2013; HUSSEIN; SALEM; SOLEMAN, 2017; OLIVEIRA et al., 2017; SANTOS et al., 2013).

Considerando o potencial que as plantas com características inseticidas têm no controle de insetos-praga, bem como a necessidade de buscar ferramentas de controle que resultem em baixo impacto ambiental e baixos resíduos nos alimentos, este trabalho objetiva avaliar o efeito dos óleos essenciais de *Syzygium aromaticum* (Myrtaceae), *Callistemon* sp. (Myrtaceae), *Cymbopogon citratus* (Poaceae), *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae), *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae), e *Cordia verbenacea* (Boraginaceae) sobre os insetos-praga *Spodoptera frugiperda* e *Bemisia tabaci* e sobre os parasitoides de ovos *Trichogramma pretiosum* e *Telenomus remus*.

CAPÍTULO 1 - ÓLEOS ESSENCIAIS COM POTENCIAL PARA USO NO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS

João Pedro de Andrade Bomfim; Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

RESUMO

O aumento da produção agrícola mundial se deu, sobretudo, devido aos avanços tecnológicos que permitiram o crescimento das produtividades. Um dos avanços refere-se à descoberta de moléculas inseticidas, que passaram a ser amplamente utilizadas nas áreas de cultivo para o controle de insetos fitófagos. Porém, o uso desses produtos sem seguir as recomendações técnicas pode trazer desequilíbrios ao agroecossistema, como a seleção de insetos-praga resistentes, ressurgência de pragas e redução populacional de inimigos naturais. Recentemente, tem havido uma crescente busca por alternativas ao uso de inseticidas sintéticos no controle de pragas. Dessa forma, foram retomados os estudos dos metabólitos botânicos com potencial inseticida, devido às características que, em geral, estes compostos apresentam. Normalmente são degradados em menor intervalo temporal em relação às moléculas xenobióticas, reduzindo a permanência no agroecossistema. Isso implica na redução de resíduos nos alimentos, menor exposição de trabalhadores aos produtos fitossanitários e menor exposição da entomofauna benéfica, devido ao menor período residual. Os óleos essenciais representam um dos grupos de metabólitos vegetais que têm sido estudados com potencial para uso no manejo integrado de pragas. Famílias botânicas como Anacardiaceae, Asteraceae, Myrtaceae, Poaceae, entre outras, são compostas por uma diversidade de espécies e muitas delas produzem e armazenam óleos essenciais com atividade biológica sobre insetos. O óleo de *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) tem atividade sobre *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes ricini*, *Callosobruchus maculatus*, *Hypothenemus hampei* entre outros. O óleo de *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) é relatado com ação sobre *Culex quinquefasciatus*, e *Galinsoga parviflora* (Asteraceae) sobre *Anopheles stephensi*, *Anopheles subpictus*, *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Culex quinquefasciatus* e *Culex tritaeniorhynchus*. *Syzygium aromaticum* (Myrtaceae) tem efeito em *Sitophilus zeamais*, *Acanthoscelides obtectus*, *Thyreteina arnobia* e *Spodoptera frugiperda*. *Corymbia citriodora* (Myrtaceae) sobre *Ascia monuste*, e *Eucalyptus staigeriana* com ação sobre *S. frugiperda*. *Cymbopogon citratus* é relatado com potencial no controle de *Pectinophora gossypiella*, *S. frugiperda* e *S. zeamais*. Apesar do intenso estudo do potencial dos compostos no controle de insetos-praga, é necessário ampliar as pesquisas principalmente no tocante às formulações e à tecnologia de aplicação, para aumentar a assertividade no posicionamento desta ferramenta no campo.

Palavras-chave: MIP. Inseticidas botânicos. Insetos-praga. Plantas inseticidas.

ABSTRACT

The increase in agricultural production around the world was mainly due to technological advances that allowed greater productivity. One of the advances is due to the discovery of insecticidal molecules, which have been widely used in crops for the control of phytophagous insects. However, the use of these products without following the technical recommendations can bring instability in the agroecosystem, such as the selection of resistant pest insects, pest resurgence and population reduction of natural enemies. Recently, there has been a growing search for alternatives to the use of synthetic insecticides in pest control. Thus, botanical metabolites with potential insecticide have been studied, due to the characteristics that these compounds present. These compounds are normally degraded in a shorter time interval in relation to synthetic molecules, reducing the permanence in the agroecosystem. This may imply in the reduction of residues in food, less exposure of workers to phytosanitary products and less exposure of beneficial entomofauna, due to the residual time. Essential oils represent one of the groups of plant metabolites that have been studied with potential for use in integrated pest management. Botanical families such as Anacardiaceae, Asteraceae, Myrtaceae, Poaceae, among others, are composed of a diversity of species which many of them produce and store essential oils with biological activity on insects. The *Schinus terebinthifolius* oil (Anacardiaceae) has activity on *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes ricini*, *Callosobruchus maculatus*, *Hypothenemus hampei* among others. The *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) oil is reported to have an action on *Culex quinquefasciatus*, and *Galinsoga parviflora* (Asteraceae) on *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles subpictus*, *Aedes albopictus* and *Culex tritaen*. The *Syzygium aromaticum* (Myrtaceae) has an effect on *Sitophilus zeamais*, *Acanthoscelides obtectus*, *Thyrinteina arnobia* and *Spodoptera frugiperda*. The *Corymbia citriodora* (Myrtaceae) on *Ascia monuste*, and *Eucalyptus staigeriana* on *S. frugiperda*. Lemongrass, *Cymbopogon citratus*, is reported to have the potential to control *Pectinophora gossypiella*, *S. frugiperda* and *S. zeamais*. Despite the intense study of the potential of these compounds in the control of insect pests, it is necessary to expand the research, mainly with regard to formulations and application technology to increase assertiveness of this tool in the field.

Keywords: IPM. Botanical insecticides. Pest insects. Insecticidal plants.

1.1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos principais setores da economia mundial e a produção de alimentos tem crescido, sobretudo devido aos avanços tecnológicos que permitiram, entre outras coisas, o aumento de produtividade. Nesse cenário, o Brasil é um importante país produtor, com destaque para a produção de grãos como soja e milho, cana-de-açúcar e frutas, como a laranja, além de uma diversidade de espécies de hortaliças, atendendo ao mercado nacional e internacional. A produção de soja e milho na safra 2018/2019 foi de 115 milhões de toneladas e de 100 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2020).

Apesar de todo o desenvolvimento tecnológico ocorrido, problemas fitossanitários ainda se configuram como entraves ao alcance de incremento de rendimentos no campo. Dentre os problemas, a ocorrência de insetos-praga tem destaque pois, quando não controlados, podem levar a perdas de até 100% da produção. Para o controle de insetos-praga, a principal ferramenta utilizada é o controle químico, com o posicionamento de inseticidas sintéticos. Contudo, têm-se observado uma série de efeitos negativos, decorrentes do mau uso dos produtos.

O uso sem posicionamento técnico correto dos agrotóxicos, principalmente daqueles de amplo espectro, pode causar danos à saúde humana, à fauna de uma forma geral, desequilíbrio do agroecossistema e diminuir a população de inimigos naturais (RIGOTTO et al., 2013; VIEIRA et al., 2012). Além disso, pode levar à ressurgência de insetos-praga ou favorecer a seleção de populações resistentes às moléculas dos inseticidas. Esse fato é visualizado em diversas espécies como *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae), que apresenta 631 casos de populações resistentes e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), com 146 casos (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021). Em decorrência dos efeitos indesejados, a busca por novas medidas de proteção de plantas contra os organismos que causam prejuízo tem aumentado, visando implementar o manejo integrado de pragas (MIP). O MIP, em síntese, é o posicionamento de diferentes táticas de controle, de forma integrada, levando em consideração o monitoramento da praga na área de cultivo, com o objetivo de reduzir a população do inseto para um nível abaixo do nível de dano econômico.

1.2 INSETICIDAS BOTÂNICOS COMO FERRAMENTA NO MANEJO DE INSETOS-PRAGA

Os estudos acerca da atividade de compostos botânicos sobre a entomofauna agrícola, tanto de insetos fitófagos quanto de inimigos naturais, tem aumentado nas últimas duas décadas (ISMAN, 2017, 2019). Isso se deu, sobretudo, devido à demanda da sociedade por soluções com menor produção de resíduos e menores impactos ambientais e à saúde humana. A utilização de plantas com potencial inseticida no MIP é uma técnica antiga, sendo comum em países tropicais antes do advento dos inseticidas sintéticos (ALVARENGA; GIUSTOLIN; QUERINO, 2006; RIGOTTO et al., 2013; VENDRAMIM; CASTIGLIONI, 2000; VENZON et al., 2006).

Os princípios ativos dos inseticidas botânicos são compostos resultantes do metabolismo secundário das plantas, como estratégia de proteção contra a herbivoria, e são acumulados em pequenas quantidades nos tecidos vegetais. Esses inseticidas não apresentam apenas uma, mas um complexo de substâncias, que atuam com atividade biológica (CORREA; SALGADO, 2011; FAZOLIN et al., 2002; KATERINOPOULOS et al., 2005; MENEZES, 2005).

Os inseticidas botânicos têm como características principais: a lenta seleção de populações resistentes, uma vez que os insetos necessitariam metabolizar muitas substâncias ativas de uma única vez; a obtenção a partir de recursos renováveis; e a rápida degradação, diminuindo a persistência no ambiente. Os efeitos dos metabólitos sobre os insetos podem se expressar na mortalidade em diferentes fases de desenvolvimento por meio da repelência, da deterrência alimentar e de oviposição, alterações endócrinas, aumento do ciclo de vida, alterações sexuais, inibição do crescimento, alterações morfológicas, entre outros (GALLO et al., 2002; GILLIJ; GLEISER; ZYGADLO, 2008; ISMAN; WILSON; BRADBURY, 2008; KATERINOPOULOS et al., 2005; NERIO; OLIVERO-VERBEL; STASHENKO, 2010).

1.3 ÓLEOS ESSENCIAIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS

Um dos grupos de metabólitos secundários que têm atividade sobre insetos é o dos óleos essenciais. São misturas complexas de substâncias, predominantemente pertencentes aos grupos voláteis, lipofílicas, com baixo peso

molecular, geralmente odoríferas e líquidas, constituídos na maioria das vezes, por moléculas de natureza terpênica, principalmente monoterpenos e sesquiterpenos (KENNEDY et al., 2018; TORRES-MARTÍNEZ et al., 2018). Podem ser extraídos de diferentes estruturas da planta, como raízes, caule, folhas e frutos, por exemplo, de acordo com a espécie vegetal. A extração pode ser realizada por distintos métodos, hidrodestilação, arraste à vapor, expressão do pericarpo (no caso de frutos cítricos), enfleurage e por meio do CO₂ supercrítico, sendo estes dois últimos menos comuns a utilização. A extração via hidrodestilação ocorre quando o material vegetal fica em contato direto com a água que entrará em fervura, ao passo que no arraste à vapor o material vegetal e a água ficam separados, passando apenas o vapor pelo material vegetal, realizando o arraste das partículas de óleo essencial. Para a retirada dos óleos essenciais das cascas de frutos cítricos, como laranja e limão, por exemplo, apenas a prensagem é suficiente, dispensando os demais métodos de extração. O método da enfleurage é aplicado para a captura dos aromas em flores, sendo sua utilização limitada. E, por fim, o método do CO₂ supercrítico é mais empregado nas extrações de óleos essenciais em escalas industriais.

As características quantitativas e qualitativas do óleo essencial de uma mesma espécie podem variar em função de vários fatores, como condições edafoclimáticas, estresses bióticos e abióticos (por exemplo o ataque de algum herbívoro ou o estresse hídrico), estação do ano e horário de coleta do material vegetal, entre outros (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MADI et al., 2020; MORAIS, 2009). Dessa forma, uma espécie vegetal coletada em uma determinada região pode apresentar compostos com efeito inseticida enquanto que quando coletada em outra região com características distintas estes compostos podem estar ausentes no óleo essencial (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MADI et al., 2020; MORAIS, 2009).

É importante salientar que os óleos essenciais, por serem uma mistura de diferentes compostos, apresentam alguns compostos em maiores e outros em menores quantidades dentro da composição. Assim, em geral, cada óleo tem os compostos majoritários, que são aqueles que aparecem em maior concentração, e os compostos minoritários, que são aqueles em menores concentrações. No óleo do craveiro-da-índia (*Syzygium aromaticum* – Myrtaceae), que apresenta mais de 20 compostos, o eugenol é o composto majoritário, representando mais

de 80% da composição (OLIVEIRA et al., 2009). Da mesma forma, no óleo essencial do capim-limão (*Cymbopogon citratus* – Poaceae), em geral, os compostos citral e neral apresentam-se como majoritários, representando aproximadamente 90% do total (KNAAK et al., 2013; KOBENAN et al., 2018; LIMA et al., 2008; MADI et al., 2020; NERIO; OLIVERO-VERBEL; STASHENKO, 2010). Comumente, são esses compostos que apresentam atividade biológica, no entanto, os compostos minoritários podem exercer esta atividade ou gerar um efeito sinérgico, potencializando a atividade de outros componentes do óleo essencial (OLIVEIRA et al., 2018). Estão presentes em uma grande diversidade de espécies vegetais, podendo-se citar espécies das famílias Anacardiaceae, Asteraceae, Myrtaceae e Poaceae (ALVES et al., 2018; HUSSEIN; SALEM, SOLEMAN, 2017; JAIROCE et al., 2016; KABERA et al., 2011).

1.4 FAMÍLIAS BOTÂNICAS E ESPÉCIES COM ATIVIDADE SOBRE INSETOS

1.4.1 Família Anacardiaceae

Anacardiaceae é uma família botânica formada principalmente por árvores e arbustos, presentes em ambientes de distintas características edafoclimáticas, podendo ocorrer em regiões secas e regiões úmidas, como o semiárido e florestas tropicais brasileiro (PELL et al., 2010). Algumas espécies armazenam água nas raízes, como adaptação ao desenvolvimento em ambientes secos, como a espécie *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae) (PELL et al., 2010), por exemplo, endêmica da região Nordeste do Brasil, pertencente ao bioma Caatinga (DE FREITAS LINS NETO; PERONI; ALBUQUERQUE, 2010). Outra representante desta família é a espécie *Spondias mombin* (Anacardiaceae), conhecida por cajazeira, de comum ocorrência em regiões tropicais, sendo facilmente encontrada na Floresta Amazônica e Mata Atlântica do Brasil (SILVA; NASCIMENTO; DINIZ, 2018).

A espécie *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae), popularmente conhecida como aroeira, e frutos conhecidos como pimenta-rosa, é nativa do Brasil (POZZAN et al., 2020) e seu óleo essencial tem sido estudado quanto a atividade sobre insetos. O óleo essencial de *S. terebinthifolius* sobre *B. tabaci* e *Trialeurodes ricini* (Hemiptera: Aleyrodidae) tem efeito repelente para ambas as espécies. Além

disso, há suscetibilidade da espécie *T. ricini*, com concentração letal para 50,0% da população (CL₅₀) de 19,6 ppm, enquanto que para *B. tabaci* a CL₅₀ foi de 101,9 ppm. Os compostos majoritários desse óleo essencial são α -pipeno (36,9%) e α -phelandreno (32,8%) (HUSSEIN; SALEM, SOLEMAN, 2017). A aplicação do óleo essencial sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae), à 0,4 μ L/cm³ de ar, causa 82,4% de inibição na oviposição e 96,9% na inibição da emergência de adultos e, à 1,0mL/kg de feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (Fabaceae), provoca reduções de 35,2% na oviposição e 60,8% na emergência dos adultos deste mesmo inseto-praga, além de CL₅₀ para adultos de 38,3 μ L/L de ar (OLIVEIRA et al., 2017). Sobre a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), o óleo essencial de aroeira nas concentrações de 0,1% e 1,0%, provocaram mortalidades de 75,0% e 90,0% após 24 horas e de 82,5% e 100,0% após 48 horas, respectivamente (SANTOS et al., 2013). Além desses insetos-alvo, o efeito da aroeira é reportado sobre ninfas de *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae), provocando a repelência de fêmeas ápteras e a redução de 87,5% na produção de ninfas (ANDRADE et al., 2013). O óleo essencial de *Cotinus coggyria* (Anacardiaceae), contendo 43,1% de α -pipeno e 21,3% de limoneno, apresenta CL₅₀ e CL₉₅ para *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Curculionidae) de 52,4 e 89,9 μ L/L e para *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) de 71,6 e 88,8 μ L/L, respectivamente (ULUKANLI et al., 2014). Além de *S. terebinthifolius* e *C. coggyria*, a espécie *Schinus areira* também apresenta ação inseticida sobre *T. castaneus*. O óleo essencial das folhas provoca efeito repelente em 77,7% dos adultos expostos, e o óleo dos frutos, via fumigação, causam mortalidades de 83,3% e 100,0% a 20,0 e 40,0 mg/L de ar, respectivamente (DESCAMPS; CHOPA; FERRERO, 2011). Óleos essenciais de espécies aromáticas têm sido testados frequentemente sobre insetos-praga de grãos armazenados. Devido a característica volátil, há uma grande efetividade no controle desses organismos que, comumente, estão em ambientes fechados. Assim, pode-se atingir o alvo via fumigação, sem a necessidade de realizar a pulverização direta sobre o inseto.

1.4.2 Família Asteraceae

A família botânica Asteraceae contém uma grande quantidade de espécies, sobretudo herbáceas e arbustivas, que produzem óleos essenciais, e parte destas com estudos confirmando a atividade biológica sobre insetos (BOGO et al., 2016; GIARRATANA et al., 2017). O alecrim-do-campo, *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae), é nativo do Brasil e, nas áreas agrícolas, é considerado uma espécie espontânea (KUMAZAWA et al., 2003). Entre outros usos, é empregada na medicina tradicional, além de estar sendo explorada para a produção da própolis verde (DE LOS SANTOS; KANIS; PEREIRA, 2016; PARK et al., 2004; RODRIGUES et al., 2020). Foi observada mortalidade de 100,0% de adultos de *Rhipicephalus microplus* (Canestrini) (Acari: Ixodidae) ao aplicar 20,0 mg/mL do óleo essencial desta espécie botânica (LAGE et al., 2015). Quando o óleo de *B. dracunculifolia* foi aplicado em *Culex quinquefasciatus* (Say, 1823) (Diptera: Culicidae) em diferentes concentrações, obteve-se CL₅₀ de 34,5 mg/L, e houve alterações em células do intestino do inseto, que estão relacionadas à intoxicação celular (ALVES et al., 2018). *Galinsoga parviflora* (Asteraceae) provocou deterrência de oviposição e morte em seis espécies de insetos vetores de doenças humanas. Apresentou CL₅₀ e CL₉₅ de 31,0 µg/mL e 60,5 µg/mL em *Anopheles stephensi* (Diptera: Culicidae), 34,2 µg/mL e 65,1 µg/mL em *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), 37,1 µg/mL e 67,7 µg/mL em *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae), 40,9 µg/mL e 81,3 µg/mL em *Anopheles subpictus* (Diptera: Culicidae), 45,5 µg/mL e 89,9 µg/mL em *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) e 49,6 µg/mL e 93,9 µg/mL em *Culex tritaeniorhynchus* (Diptera: Culicidae), respectivamente. Para as seis espécies, o óleo essencial apresenta-se deterrente de oviposição, com diferença entre o número de ovos depositados pelas fêmeas (GOVINDARAJAN et al., 2018). A atividade inseticida e insetistática de *Flourensia oolepis* (Asteraceae) nos insetos-praga *T. castaneum*, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) e *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae), sugere diferentes vias de contaminação dos insetos, incluindo-se as vias de contato e fumigação, resultando em repelência, deterrência alimentar e a morte nas diferentes espécies (GARCIA et al., 2007).

1.4.3 Família Myrtaceae

A família botânica Myrtaceae é composta por aproximadamente 6.000 espécies arbóreas e arbustivas distribuídas em 145 gêneros que têm como uma das características a presença de óleos essenciais em suas estruturas, predominantemente nas folhas (FARAG et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2009; SIDDIQUE et al., 2017; THE PLANT LIST, 2013).

O craveiro-da-índia, *Syzygium aromaticum*, é uma espécie botânica pertencente a esta família, originária da Indonésia, com desenvolvimento em regiões de clima tropical. É rico em óleos essenciais, sendo que o botão floral seco tem um rendimento de óleo de até 15,4% (OLIVEIRA et al., 2009). Sobre os insetos-praga *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) e *A. obtectus*, o óleo essencial do craveiro-da-índia mostrou ação inseticida quando misturado em grãos de milho e de feijão, respectivamente. A concentração de 35,0 µL/g de grão causou 100,0% de mortalidade nas duas espécies-alvo, e a dose de 17,9 µL/g provoca 95,0% de mortalidade em *A. obtectus* e 82,5% em *S. zeamais* (JAIROCE et al., 2016). A aplicação do óleo essencial do craveiro-da-índia sobre a lagarta desfolhadora *Thyrinteina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae), nas concentrações de 5,0% e 10,0%, causou mortalidade de 80,0% e 100,0%, respectivamente (SOARES et al., 2011). O óleo essencial de *S. aromaticum* e a associação com a bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner sobre lagartas de terceiro ínstar de *S. frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), diminui o peso das lagartas e das pupas. O óleo testado isoladamente provoca o aumento do período larval, possibilitando o aumento da suscetibilidade do imaturo aos inimigos naturais (CRUZ et al., 2014).

Os gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus* (Myrtaceae) são formados por espécies ricas em óleos essenciais com diferentes constituintes, destacando-se o citronelal, presente, por exemplo, na espécie *Corymbia citriodora* (RIBEIRO et al., 2018; SANTOS et al., 2020). Este composto foi indicado como o principal responsável pela alta mortalidade de lagartas de segundo ínstar de *Ascia monuste* (Lepidoptera: Pieridae), com DL₅₀ de 20,6 µg de composto/mg de larva e DL₉₀ de 39,9 µg/mg, respectivamente, após a aplicação de óleo essencial de *C. citriodora* (RIBEIRO et al., 2018). A aplicação do óleo essencial de *Eucalyptus staigeriana* em lagartas de terceiro ínstar de *S. frugiperda* resulta em redução do peso larval

e pupal, além do aumento do período larval e pupal. A DL₅₀ calculada foi de 3,2 mg de óleo/g de inseto (CRUZ et al., 2016).

1.4.4 Família Poaceae

A família Poaceae apresenta relevância agronômica pois é composta por diversas espécies vegetais de importância econômica como o milho (*Zea mays*), a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), arroz (*Oryza sativa*), trigo (*Triticum* spp.) além de uma grande quantidade de capins que são utilizados na alimentação animal. Além do uso na alimentação, algumas espécies produzem óleos essenciais e são empregadas na medicina tradicional, com destaque para as plantas aromáticas do gênero *Cymbopogon*. Estes óleos essenciais, ademais das propriedades medicinais, podem ter atividade inseticida ou insetistática.

O gênero *Cymbopogon* destaca-se neste aspecto, com espécies que têm sido estudadas quanto ao potencial no controle de insetos-praga. O capim-limão, *Cymbopogon citratus*, é uma planta medicinal originária da Índia, e apresenta como composto majoritário de seu óleo essencial o citral. O citral é formado pela combinação de dois isômeros, o geranial e o neral, ambos com atividade inseticida. Diferentes concentrações dos óleos essenciais de *C. citratus* e *Cymbopogon nardus* foram aplicados sobre *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera; Gelechiidae), provocando mortalidade de até 100,0%. Os valores da CL₅₀ obtidos foram de 1,67% para *C. citratus* e 1,71% para *C. nardus* (KOBENAN et al., 2018). Quando avaliado o efeito de ingestão de diferentes óleos essenciais sobre *S. frugiperda*, via ingestão, o óleo essencial de *C. citratus* apresentou o menor valor de CL₅₀, com 0,19 µL/cm², sendo que os valores das demais espécies vegetais variaram de 0,25 µL/cm² à 2,09 µL/cm² (KNAAK et al., 2013). A atividade sobre pragas de grãos armazenados também foi estudada com espécies da família Poaceae. Em estudo sobre pragas de grãos armazenados, o óleo essencial de *C. citratus* provocou 100,0% de mortalidade de adultos de *S. zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae) nas primeiras 24 horas de exposição (KABERA et al., 2011).

O Quadro 1 apresenta algumas das espécies botânicas das famílias Anacardiaceae, Asteraceae, Myrtaceae e Poaceae com atividade inseticida, bem como as espécies utilizadas como alvo biológico.

Quadro 1 – Famílias botânicas, espécies vegetais com potencial inseticida e espécies de insetos utilizadas como alvo-biológico em diferentes estudos.

Família	Espécie	Alvo-biológico	Referência
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	<i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae)	Hussein, Salem, Soleman (2017)
		<i>Trialeurodes ricini</i> (Hemiptera: Aleyrodidae)	
		<i>Callosobruchus maculatus</i> (Coleoptera: Bruchidae)	Oliveira et al. (2017)
		<i>Hypothenemus hampei</i> (Coleoptera: Scolytidae)	Santos et al. (2013)
		<i>Aphis gossypii</i> (Hemiptera: Aphididae)	Andrade et al. (2013)
	<i>Cotinus coggyria</i>	<i>Acanthoscelides obtectus</i> (Coleoptera: Curculionidae)	Ulukanli et al. (2014)
		<i>Tribolium castaneum</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	
Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i> (Diptera: Culicidae)	Alves et al., 2018
	<i>Galinsoga parviflora</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i> (Diptera: Culicidae)	Govindarajan et al. (2018)
		<i>Anopheles stephensi</i> (Diptera: Culicidae)	
		<i>Aedes aegypti</i> (Diptera: Culicidae)	
Asteraceae	<i>Flourensia oolepis</i>	<i>Tribolium castaneum</i> (Coleoptera: Tenebrionidae)	Garcia et al. (2007)
		<i>Myzus persicae</i> (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae)	

Myrtaceae	<i>Syzygium aromaticum</i>	<i>Sitophilus zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae)	Jairoce et al. (2016)
		<i>Acanthoscelides obtectus</i> (Coleoptera: Curculionidae)	
		<i>Thyrinteina arnobia</i> (Lepidoptera: Geometridae)	Soares et al. (2011)
		<i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	Cruz et al. (2014)
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Ascia monuste</i> (Lepidoptera: Pieridae)	Ribeiro et al. (2018)
	<i>Eucalyptus staigeriana</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	Cruz et al. (2016)
Poaceae	<i>Cymbopogon citratus</i>	<i>Pectinophora gossypiella</i> (Lepidoptera; Gelechiidae)	Kobenan et al. (2018)
		<i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae)	Knaak et al. (2013)
		<i>Sitophilus zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae)	Kabera et al. (2011)
	<i>Cymbopogon nardus</i>	<i>Pectinophora gossypiella</i> (Lepidoptera; Gelechiidae)	Kobenan et al. (2018)

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados evidenciam o potencial dos óleos essenciais no controle de insetos-praga de importância na agricultura, tanto durante o cultivo quanto no pós-colheita, no período de armazenamento de grãos, por exemplo. O estudo da atividade dos compostos de origem vegetal sobre insetos-praga é fundamental para o desenvolvimento de novos produtos que possam compor programas de manejo integrado de pragas. No entanto, é importante que sejam realizados testes em organismos não-alvos, a fim de subsidiar o uso conjunto das estratégias de manejo, sobretudo visando promover a seletividade ecológica à entomofauna benéfica. Deve-se, contudo, aumentar os estudos visando avaliar as melhores formulações para a utilização destes compostos em testes tanto em ambiente protegido quanto à campo, principalmente visando proporcionar maior estabilidade das moléculas e assertividade na utilização deste tipo de produto.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. D.; GIUSTOLIN, T. A.; QUERINO, R. B. Alternativas no controle de moscas-das-frutas. In: VENZON, M.; PAULA JUNIOR, T.J.; PALLINI, A. **Tecnologias alternativas para o controle de pragas e doenças**. Viçosa: EPAMIG, 2006. p. 227-252.

ALVES, K. F. et al. *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) essential oil toxicity to *Culex quinquefasciatus* (Culicidae). **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.31, p.31718-31726, 2018.

ANDRADE, L. H. et al. Efeito repelente de azadiractina e óleos essenciais sobre *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em algodoeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.3, p.628-634, 2013.

BOGO, C. A. et al. Comparative analysis of essential oils of *Baccharis* L.: A review. **Revista Stricto Sensu**, v.1, n.2, 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de grãos**, 2020. Available online: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> (accessed on 10 February 2020).

CORREA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, n.4, p.500-506, 2011.

CRUZ, G. S. et al. 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**, v.107, n.1, p.144-153, 2014.

CRUZ, G. S. et al. Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v.109, n.2, p.660-666, 2016.

DE FREITAS LINS NETO, E. M.; PERONI, N.; DE ALBUQUERQUE, U. P. Traditional knowledge and management of Umbu (*Spondias tuberosa*, Anacardiaceae): an endemic species from the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Economic Botany**, p.11-21, 2010.

DE LOS SANTOS, B. P.; KANIS, L. A.; PEREIRA, J. R. Herbal medicines in dentistry: History, obtainment methods, and properties of *Copaifera multijuga* hayne and *Baccharis dracunculifolia* dc. **Journal of Research in Dentistry**, v.3, n.6, p.859-868, 2016.

DESCAMPS, L. R.; CHOPA, C. S.; FERRERO, A. A. Activity of *Schinus areira* (Anacardiaceae) essential oils against the grain storage pest *Tribolium castaneum*. **Natural Product Communications**, v.6, n.6, p.887-891, 2011.

FARAG, N. F. et al. Characterization of essential oils from Myrtaceae species using ATR-IR vibrational spectroscopy coupled to chemometrics. **Industrial Crops and Products**, v.124, p.870-877, 2018.

FAZOLIN, M. et al. **Avaliação de plantas com potencial inseticida no controle da vaquinha-do-feijoeiro (*Cerotoma tingomarianus* Bechyné)**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 37).

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. v.10, 920p.

GARCÍA, M. et al. Insecticidal effects of *Flourensia oolepis* Blake (Asteraceae) essential oil. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.35, n.4, p.181-187, 2007.

GIARRATANA, F. et al. Activity of *Tagetes minuta* Linnaeus (Asteraceae) essential oil against L3 *Anisakis* larvae type 1. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v.10, n.5, p.461-465, 2017.

GILLIJ, Y. G.; GLEISER, R. M.; ZYGADLO, J. A. Mosquito repellent activity of essential oils of aromatic plants growing in Argentina. **Bioresource Technology**, v.99, p.2507–2515, 2008.

GOBBO-NETO, L., LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v.30, n.2, p.374-381, 2007.

GOVINDARAJAN, M. et al. High efficacy of (Z)- γ -bisabolene from the essential oil of *Galinsoga parviflora* (Asteraceae) as larvicide and oviposition deterrent against six mosquito vectors. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.10555–10566, 2018.

HUSSEIN, H. S.; SALEM, M. Z. M.; SOLIMAN, A. M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialeurodes ricini*. **Scientia Horticulturae**, v.216, p.111-119, 2017.

ISMAN, M. B.; WILSON, J. A.; BRADBURY, R. Insecticidal activities of commercial rosemary oils (*Rosmarinus officinalis*) against larvae of *Pseudaletia unipuncta* and *Trichoplusia ni* in relation to their chemical compositions. **Pharmaceutical Biology**, v.46, n.1-2, p.82–87, 2008.

ISMAN, M. B. Bridging the gap: Moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. **Industrial Crops & Products**, v.110, p.10-14, 2017.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century - Fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v.65, n.1, p.233-249, 2019.

JAIROCE, C. F. et al. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.72-77, 2016.

KABERA, J. et al. Insecticidal effects of essential oils of *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon citratus* on *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **African Journal of Food Science**, v.5, n.6, p.366-375, 2011.

KOBENAN, K. C. et al. Essential oils of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Cymbopogon nardus* L. and *Citrus* sp: Insecticidal activity on the Pink Bollworm *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera; Gelechiidae) and prospects for cottonpest management in Côte d'Ivoire. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v.24, n.1, p.389-397, 2018.

KATERINOPOULOS, H. E. et al. Composition and insect attracting activity of the essential oil of *Rosmarinus officinalis*. **Journal of Chemical Ecology**, v.31, n.1, 2005.

KENNEDY, D. et al. Volatile terpenes and brain function: Investigation of the cognitive and mood effects of *Mentha x Piperita* L. essential oil with in vitro properties relevant to central nervous system function. **Nutrients**, v.10, n.8, 2018.

KNAAK, N. et al. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v.6, n.1, p.49-53, 2013.

KUMAZAWA, S. et al. Direct evidence for the plant origin of Brazilian propolis by the observation of honeybee behavior and phytochemical analysis. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, v.51, n.6, p.740-742, 2003.

LAGE, T. C. A. et al. Chemical composition and acaricidal activity of the essential oil of *Baccharis dracunculifolia* De Candolle (1836) and its constituents nerolidol and limonene on larvae and engorged females of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). **Experimental Parasitology**, v.148, p.24-29, 2015.

LIMA, R. K. et al. Composição dos óleos essenciais de anis-estrelado *Illicium verum* L. e de capim-limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: avaliação do efeito repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera: Aphididae). **BioAssay**, v.3, n.8, p.1-6, 2008.

MADI, Y. F. et al. Essential oil of *Cymbopogon citratus* cultivated in Egypt: seasonal variation in chemical composition and anticholinesterase activity. **Natural Product Research**, p.1-5, 2020.

MENEZES, E. L. A. **Inseticidas Botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 205).

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v.2, n.2, 2009.

MOTA-SANCHEZ, D., WISE, J. C. (2021). **The Arthropod Pesticide Resistance Database**. Michigan State University. On-line at: <http://www.pesticideresistance.org>

- NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STANSHENKO, E. Repellent activity of essential oils: A review. **Bioresource Technology**, v.101, p.372–378, 2010.
- OLIVEIRA, E. R. et al. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.4, p.408-419, 2018.
- OLIVEIRA, J. V. et al. Fumigation and repellency of essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in cowpea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.1, p.10-17, 2017.
- OLIVEIRA, R. A. et al. Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v.19, n.3, p.771-775, 2009.
- OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v.66, p.664-668, 2010.
- PARK, Y. K. et al. Chemical constituents in *Baccharis dracunculifolia* as the main botanical origin of southeastern Brazilian propolis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, n.5, p.1100-1103, 2004.
- PELL, S.K. et al. (2010) Anacardiaceae. In: Kubitzki K. (eds) Flowering Plants. Eudicots. **The Families and Genera of Vascular Plants**, v.10. Springer, Berlin, Heidelberg.
- POZZAN, M. et al. Planting designs and functional traits of native plant species used in restoration projects in araucaria forests. **Ciência Florestal**, v.30, n.4, 2020.
- RIBEIRO, A. V. et al. Selection of an essential oil from *Corymbia* and *Eucalyptus* plants against *Ascia monuste* and its selectivity to two non-target organisms. **Crop Protection**, v.110, p.207-213, 2018.
- RIGOTTO, R. M. et al. Tendências de agravos crônicos à saúde associados a agrotóxicos em região de fruticultura no Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.16, n.3, p.763-773, 2013.
- RODRIGUES, D. M. et al. The role of *Baccharis dracunculifolia* and its chemical profile on green propolis production by *Apis mellifera*. **Journal of Chemical Ecology**, v.46, n.2, p.150-162, 2020.
- SANTOS, M. R. A. et al. Composição química e atividade inseticida do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) sobre a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) Ferrari. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.15, n.4, p.757-762, 2013.
- SANTOS, R. C. et al. Toxicity of *Corymbia citriodora* essential oil compounds against *Ascia monuste* (Linnaeus, 1764) (Lepidoptera: Pieridae) and *Plutella*

xylostella (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae). **Entomological Communications**, v.2, 2020.

SIDDIQUE, S. et al. The essential oil of *Melaleuca armillaris* (Sol. ex Gaertn.) Sm. leaves from Pakistan: A potential source of eugenol methyl ether. **Industrial Crops and Products**, v.109, p.912-917, 2017.

SOARES, C. S. A. et al. Ação inseticida de óleos essenciais sobre a lagarta desfolhadora *Thyrintea arnobia*, stoll: Lepidoptera: Geometridae. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2, p.30, 2011.

TORRES-MARTÍNEZ, R. et al. Antioxidant activity of the essential oil and its major terpenes of *Satureja macrostema* (Moc. and Sessé ex Benth.) Briq. **Pharmacognosy Magazine**, v.13, n.4, p.875-880, 2018.

ULUKANLI, Z. et al. Antimicrobial, insecticidal and phytotoxic activities of *Cotinus coggyria* Scop. essential oil (Anacardiaceae). **Natural Product Research**, v.28, n.23, p.2150-2157, 2014.

VENDRAMIM, J. D.; CASTIGLIONI, E. Aleloquímicos, Resistência de plantas e plantas inseticidas: p.113-128. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; ASTIGLIONI, E. (Eds.). **Bases e técnicas do manejo de insetos**. Santa Maria:UFSM/CCR/DFS, 2000.

VENZON, M. et al. **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa: EPAMIG/ CTZM: UFV, 2006. 360p.

VIEIRA, S. V. et al. Efeitos dos inseticidas utilizados no controle de *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B e sua seletividade aos inimigos naturais na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.1809-1018, 2012.

CAPÍTULO 2 - ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E PARASITÓIDES DE OVOS *Trichogramma pretiosum* RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) E *Telenomus remus* NIXON (HYMENOPTERA: PLATYGASTRIDAE)

João Pedro de Andrade Bomfim; Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

RESUMO

Spodoptera frugiperda é um inseto-praga de importância mundial. Inseticidas sintéticos, plantas geneticamente modificadas e parasitoides de ovos têm sido posicionados para o controle da praga. Além disso, tem-se avançado no estudo de inseticidas botânicos. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do óleo essencial de *Syzygium aromaticum*, *Baccharis dracunculifolia*, *Cordia verbenacea*, *Schinus terebinthifolius*, *Callistemon* sp. e *Cymbopogon citratus* sobre *S. frugiperda* e sobre os parasitoides *Telenomus remus* e *Trichogramma pretiosum*. Experimento 1: adicionou-se os óleos à 0,3% (v:m) em dieta artificial, que foi ofertada para lagartas de primeiro ínstar; Experimento 2: imersão de folhas de milho em solução contendo os óleos à 1,0% e ofertadas a lagartas de primeiro ínstar; Experimento 3: pulverização de plântulas de milho e lagartas de segundo ínstar com óleo essencial de *S. aromaticum* e *C. citratus*, adicionado óleo de soja e Nortox[®]. Realizou-se o teste de fumigação em *T. remus* e *T. pretiosum* e o de pulverização de imaturos de *T. remus*. Em dieta artificial, 50 lagartas foram individualizadas e cada conjunto de 10 indivíduos foi considerado uma repetição. Avaliou-se a mortalidade (%), período larval (dias), viabilidade larval (%), período pupal (dias) e peso de pupa (mg). Nos demais experimentos, foi avaliada a mortalidade dos indivíduos (%). Realizou-se a análise de variância e foi aplicado o teste Tukey ($p < 0,05$) ou o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Os óleos essenciais de *S. aromaticum* e *C. citratus* provocaram 100,0% de mortalidade em *S. frugiperda* em dieta artificial nas primeiras 24 horas após a exposição. Os demais óleos apresentaram mortalidades inferiores à 5,0% e não diferiram da testemunha (sem aplicação). Dos parâmetros biológicos avaliados, apenas a viabilidade larval apresentou diferença, sendo o óleo de *B. dracunculifolia* o que promoveu a menor viabilidade, com 22,22%. Tanto no experimento de imersão quanto de pulverização de plântulas de milho os resultados de mortalidade foram inferiores à 21,0%. Os experimentos com inimigo natural revelaram efeito tóxico de todos os óleos essenciais sobre os adultos de *T. pretiosum* e *T. remus*. A pulverização dos óleos promoveu baixa redução na emergência de adultos, com valor máximo de 34,38%. Os resultados sugerem a necessidade de melhorar a formulação das soluções com óleo para que sejam mais assertivas no controle da praga, uma vez que foi confirmado, por meio do teste em dieta artificial, que os compostos de alguns dos óleos apresentam atividade inseticida. Além disso, os resultados sugerem o planejamento do posicionamento do controle biológico e da aplicação destes produtos naturais, visando promover a seletividade ecológica e não afetar os parasitoides.

Palavras-chave: *Syzygium aromaticum*. *Cymbopogon citratus*. Manejo Integrado de Pragas. Controle biológico.

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda is a pest insect of world importance. It is polyphagous and with reports of populations resistant to insecticidal molecules. Synthetic insecticides, genetically modified plants and egg parasitoids have been used for pest control. In addition to these tools, some progress has been made in the study of botanical insecticides. Thus, this work aims to evaluate the effect of the essential oil of *Syzygium aromaticum*, *Baccharis dracunculifolia*, *Cordia verbenacea*, *Schinus terebinthifolius*, *Callistemon* sp. and *Cymbopogon citratus* on *S. frugiperda* and on the parasitoids *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum*. Experiment 1: the oils were mixed at 0.3% (v: w) in an artificial diet and it was offered to first instar caterpillars; Experiment 2: corn leaves immersed in a solution containing 1.0% oils were offered to first instar caterpillars; Experiment 3: The spraying of corn seedlings and second instar caterpillars with essential oil of *S. aromaticum* and *C. citratus*, added with soy oil and Nortox®. In addition, the fumigation test was performed on *T. remus* and *T. pretiosum* and the spray test on immature *T. remus*. In the experiment with artificial diet, 50 caterpillars were individualized and each group of 10 individuals was considered a repetition. Mortality (%), larval period (days), larval viability (%), pupal period (days) and pupal weight (mg) were evaluated. In the other experiments, the mortality of individuals (%) was evaluated. The normality test was performed and for data with normal distribution, ANOVA was performed and the Tukey test was applied ($p < 0.05$). When the data did not show normal distribution, the Kruskal-Wallis test was performed ($p < 0.05$). The essential oils of *S. aromaticum* and *C. citratus* caused 100.0% mortality in *S. frugiperda* on an artificial diet in the first 24 hours after exposure. The other oils presented mortalities below 5.0% and did not differ from the control (without application). Among the biological parameters evaluated, only the larval viability showed a difference, with *B. dracunculifolia* oil having the lowest value, with 22.22%. In both, the immersion and the spraying experiments on corn seedlings, the mortality results were lower than 21.0%. The experiments with a natural enemy revealed a toxic effect of all essential oils on adults of *T. pretiosum* and *T. remus*. The oils spraying promoted a low reduction in the emergence of adults, with a maximum value of 34.38%. The results suggest the need to improve the formulation of the solutions with oil so that they are more assertive in pest control. It was confirmed, through the test on an artificial diet that the compounds of some of the oils have insecticidal activity. In addition, the results suggest planning the use of biological control and the application of these natural products aiming to promote ecological selectivity and not affect natural enemies.

Keywords: *Syzygium aromaticum*. *Cymbopogon citratus*. Integrated Pest Management. Biological control.

2.1 INTRODUÇÃO

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é a principal praga da cultura do milho (*Zea mays* – Poaceae) e ataca diversas espécies de importância econômica como soja (*Glycine max* – Fabaceae), algodão (*Gossypium hirsutum* – Malvaceae), tomate (*Solanum lycopersicum* – Solanaceae), pimentão (*Capsicum annuum* – Solanaceae) e couve (*Brassica oleraceae* var. *acephala* – Brassicaceae) (MONTEZANO et al., 2018). Diferentes fatores destacam a importância desse inseto como praga mundial, entre eles o alto potencial biótico e multivoltinismo, comportamento polífago e cosmopolita, e a rápida seleção de indivíduos resistentes às moléculas de inseticidas sintéticos, com 146 casos de populações resistentes em todo o mundo (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021). São relatadas 353 espécies de plantas hospedeiras de *S. frugiperda*, entre plantas espontâneas e plantas cultivadas (MONTEZANO et al., 2018) e a presença foi registrada em todos os continentes, tendo como mais novo registro a ocorrência da praga na Austrália (FAO, 2019; 2020; GOERGEN et al., 2016).

O principal método de controle de *S. frugiperda* é o químico, com a aplicação de inseticidas sintéticos. Porém, em culturas em que a tecnologia Bt está disponível, como milho, soja e algodão, o plantio de sementes geneticamente modificadas passa a ser a principal ferramenta de controle (BERNARDI et al., 2016; SOUZA et al., 2013).

A liberação de parasitoides de ovos, por meio de programas de controle biológico, tem se mostrado uma ferramenta importante no manejo de lepidópteros-praga, pois reduzem a população do inseto na fase de ovo, antes do início das injúrias às plantas. No Brasil, o parasitoide *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), que tem alta afinidade à família Noctuidae, é produzido em larga escala por biofábricas de produção de inimigos naturais e está disponível comercialmente para liberações massais nas áreas de cultivo (BUENO; PARRA; BUENO, 2012; BUENO et al., 2017; PARRA; COELHO JUNIOR, 2019). Além de *T. pretiosum*, o parasitoide *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygasteridae) é um agente de controle biológico em potencial a ser posicionado no manejo da lagarta-do-cartucho, pois apresenta afinidade ao parasitismo de ovos do gênero *Spodoptera* e é capaz de realizar o parasitismo nos ovos das

camadas mais internas da postura (BUENO et al., 2008; GOULART et al., 2011). Embora não seja comercializado, é encontrado naturalmente realizando o parasitismo de *S. frugiperda*.

Além dessas ferramentas disponíveis, os estudos de plantas com potencial inseticida têm aumentado, sobretudo devido à crescente demanda por produtos fitossanitários que causem baixos impactos ao ambiente, na saúde dos trabalhadores rurais e que resultem em poucos resíduos nos alimentos (CHAKIRA et al., 2017; CLERICI et al., 2018; GONÇALVES et al., 2017; ISMAN, 2017, 2019). Uma das características dos inseticidas botânicos é a baixa persistência no ambiente, devido a rápida degradação, principalmente pela incidência de raios ultravioletas e pela atividade da microbiota do solo. A capacidade que muitas espécies vegetais têm de provocar a morte do inseto, ou mesmo alterações biológicas e comportamentais, deriva da ação de compostos oriundos do metabolismo secundário destas plantas (ISMAN, 2006; PAVELA, 2016).

Os óleos essenciais, formados principalmente por monoterpenos e sesquiterpenos, são compostos voláteis e odoríferos que representam um dos grupos destes metabólitos. São produzidos por várias famílias botânicas, podendo-se citar a Anarcadiaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Myrtaceae e Poaceae. Estudos evidenciaram o efeito de óleos essenciais sobre insetos-praga de importância econômica, entre eles as espécies *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae), *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae), *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) (ALVES et al., 2015; ANDRADE et al., 2013; HUSSEIN; SALEM; SOLEMAN, 2017; OLIVEIRA et al., 2017; SANTOS et al., 2013).

Desta forma, objetivo-se avaliar o efeito dos óleos essenciais de *Syzygium aromaticum*, *Cymbopogon citratus*, *Baccharis dracunculifolia*, *Cordia verbenacea*, *Callistemon* sp. e *Schinus terebinthifolius* sobre *S. frugiperda* e os parasitoides *T. remus* e *T. pretiosum*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Insetos utilizados nos bioensaios

Todos os insetos utilizados nos bioensaios foram obtidos a partir de criações mantidas no Laboratório do Grupo de Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas na Agricultura (AGRIMIP), do Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Botucatu – São Paulo.

Na criação de *S. frugiperda*, lagartas foram alimentadas com dieta artificial adaptada de Greene (1976) até passarem para a fase de pupa. Após a emergência, os adultos foram transferidos para gaiolas de PVC (20 cm de diâmetro x 30 cm de altura) forradas internamente com papel pardo, que serviu de substrato para a oviposição. Como alimento, foi ofertada solução de água e mel (10,0%). *Trichogramma pretiosum* foi multiplicado em ovos do hospedeiro alternativo *Anagasta kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) e *T. remus* multiplicado em ovos do hospedeiro natural *S. frugiperda*. Após a emergência, os parasitoides adultos foram alimentados com mel, dispostos na forma de filetes nas paredes internas dos potes de criação.

2.2.2 Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial

Folhas das espécies *Cymbopogon citratus*, *Schinus terebinthifolius*, *Cordia verbenacea*, *Baccharis dracunculifolia* e *Callistemon* sp. foram colhidas na Fazenda Lageado, da FCA/UNESP-Botucatu (22°50'34,27" S, 48°25'58,05" O). Os pedúnculos de *S. aromaticum* foram adquiridos secos, diretamente de agricultor do município de Ituberá (13°43'57,63" S, 39°8'56,24" O), Região Baixo-Sul da Bahia – Brasil. Exsiccatas foram depositadas no Herbário “Irina Delanova Gemtchújnicov”, do Instituto de Biociências, da UNESP – Botucatu – São Paulo / Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 – Espécies vegetais, famílias botânicas, estruturas utilizadas e número do voucher de depósito no Herbário “Irina Delanova Gemtchújnicov”, do Instituto de Biociências, da UNESP – Botucatu – São Paulo / Brasil

Espécie	Família	Estrutura Utilizada	Voucher (nº)
<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	Folha	34516
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anarcadiaceae	Folha	34518
<i>Cordia verbenacea</i>	Boraginaceae	Folha	34520
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Asteraceae	Folha	34521
<i>Callistemon sp.</i>	Myrtaceae	Folha	34522
<i>Syzygium aromaticum</i>	Myrtaceae	Pedúnculo	-

Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e levadas para secagem em estufa com ventilação forçada à 40°C, por 48 horas (Figura 1a). Para a extração do óleo essencial, 100 g de material vegetal seco (folhas ou pedúnculo) foram levados ao balão de vidro (2 L) contendo 1 L de água deionizada, acondicionado em manta térmica para a fervura e acoplado ao aparelho Clevenger modificado (Figura 1b) para ocorrer a extração e condensação do óleo essencial. O sistema de extração permaneceu ligado por duas horas e meia e, após esse período, o óleo essencial extraído foi coletado, vertido em frasco de vidro âmbar, e armazenado à -20°C até o momento de sua utilização nos bioensaios.

Figura 1 – Estufa para secagem de material vegetal (a); aparelho tipo Clevenger modificado (b)



Foto: João Pedro de Andrade Bomfim - 2020

2.2.3 Determinação do perfil químico do óleo essencial

Foi determinado o perfil químico dos óleos essenciais que provocaram a partir de 80% de mortalidade das lagartas em dieta artificial. A avaliação do perfil químico do óleo essencial foi realizada no Laboratório de Química Orgânica de Produtos Naturais do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos – SP. As análises foram feitas em um sistema de Cromatografia a gás acoplado a Espectrômetro de Massas Sequencial (CG-EM/EM), equipado com auto-injetor (Combi PAL AOC-5000 Shimadzu), coluna Restek Rtx-5ms (30m x 0.250 mm x 0.25 μ m) fundida com sílica e Espectrômetro de Massas Sequencial (MSTQ8030 Shimadzu). As amostras foram analisadas em modo *full scan* e injetadas a uma concentração de 10,0 μ g/mL em uma rampa de aquecimento de 50°C a 120°C por 15,0 min, e de 120°C a 210°C com variação de temperatura de 2 °C/min em fluxo de 1,0 mL/min. O gás Hélio foi utilizado como gás de arraste, a razão de fracionamento foi de 50,0; a temperatura do forno da coluna foi de 50°C, temperatura de injeção de 250°C, volume de injeção de 1,0 μ L, pressão de 62,7 kPa, velocidade linear de 36,3 cm/seg e fluxo de purga de 5mL/min. Para a análise dos dados de separação e seus tratamentos, utilizou-se o Software GCMS Real Time Analysis® e a identificação das substâncias presentes nas amostras foi realizada através do reconhecimento dos espectros obtidos comparados à biblioteca de espectros de massa - NIST e literatura específica (ADAMS, 2017).

Para a quantificação do eugenol, α -citral e β -citral, foi utilizado o mesmo método cromatográfico, porém utilizando o modo SIM-MS, monitoramento de íon selecionado e a razão de fracionamento de 5,0. Para o eugenol foi utilizado o íon m/z 164 como íon de quantificação e o m/z 149 como íon de confirmação. Para o α -citral foi selecionado o íon m/z 94 para quantificação e os íons m/z 84, 109 e 137 para confirmação. Para o β -citral foi selecionado o íon m/z 94 para quantificação e os íons m/z 84 e 109 para confirmação. Os padrões foram preparados em triplicata, nas concentrações de 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 10,0 μ g/mL, para a construção da curva de calibração. As amostras dos óleos essenciais de *C. citratus* e de *S. aromaticum*, foram injetadas na concentração de 10 μ g/mL para a quantificação dos compostos de interesse.

2.2.4 Efeito dos óleos essenciais em dieta artificial sobre *Spodoptera frugiperda*

Dieta artificial foi preparada por meio do mesmo processo realizado para a manutenção da criação dos insetos e, após atingir temperatura inferior à 40°C, foi realizada a mistura dos óleos essenciais nas concentrações de 0,3%, além de uma testemunha sem a mistura do óleo, totalizando sete tratamentos. A dieta com o óleo foi vertida em tubos de vidro de fundo chato (9cm de altura x 2cm de diâmetro), nos quais foram transferidas as lagartas de primeiro ínstar, individualmente. Cada tratamento foi composto por 50 lagartas, mantidas individualizadas e o conjunto de 10 lagartas foi considerada uma repetição, com um total de cinco repetições por tratamento. Os tubos foram vedados com algodão hidrófobo e acondicionados sob temperatura de $25\pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $60\pm 5\%$ e fotofase de 12 horas. As avaliações foram realizadas a cada 24 horas durante todo o desenvolvimento do inseto até a emergência dos adultos. Os parâmetros avaliados foram: mortalidade (%), período larval (dias), período pupal (dias) e peso de pupa (mg).

2.2.5 Efeito dos óleos essenciais em folha de milho sobre *Spodoptera frugiperda*

Fragmentos de folha de milho (3 cm x 3 cm) foram imersos, por três segundos, em solução à 1,0% de cada óleo essencial e, após a secagem, foram transferidas 10 lagartas de primeiro ínstar, configurando uma repetição. Em seguida, foram acondicionadas em placas plásticas com tampa (6 cm de diâmetro), contendo papel filtro umedecido na base, para manter a turgescência do material vegetal. O experimento foi composto por nove tratamentos e cinco repetições: seis óleos essenciais; um controle contendo apenas água; um controle contendo água + Tween 20 (0,5%); um controle positivo (tiametoxam + lambda-cialotrina: 200mL p.c./ 200L de calda). As avaliações foram realizadas a cada 24 horas, durante cinco dias, e foi avaliado o número de indivíduos mortos, calculada a mortalidade e a eficácia dos óleos essenciais (ABBOTT, 1925).

2.2.6 Efeito dos óleos essenciais em plântulas de milho sobre *Spodoptera frugiperda*

Plântulas de milho (Dow 2B 587 RR – não *Bt*) com idade de 15 dias após a emergência foram acondicionadas em copos plásticos (50mL), contendo substrato, e procedeu-se a pulverização dos diferentes tratamentos (Quadro 2), com o auxílio de um aerógrafo (calda equivalente à 250 L/ha). Adicionalmente, 10 lagartas de segundo ínstar de *S. frugiperda* foram pulverizadas com o mesmo volume de calda e transferidas para as plântulas previamente tratadas. Em seguida, o conjunto “plântula + lagartas” foi acondicionado em copos descartáveis (500 mL), coberto do tecido tipo *voile*, configurando uma repetição. O experimento foi constituído por 11 tratamentos, com cinco repetições cada. As avaliações foram realizadas cinco dias após a aplicação, procedendo-se a contagem de indivíduos mortos e calculando-se a mortalidade e a eficácia de cada produto (ABBOTT, 1925).

2.2.7 Efeito de fumigação sobre *Trichogramma pretiosum* e *Telenomus remus*

Para a avaliação do efeito da fumigação dos óleos essenciais sobre *T. pretiosum*, 10 adultos foram transferidos para copos descartáveis com tampa (100 mL) e adicionou-se o óleo essencial de cada espécie em papel filtro na concentração de 10µL/L. Entre os parasitoides e o papel filtro tratado foi colocado tecido do tipo *voile* (8 cm x 8 cm) para evitar o contato direto entre os insetos e o material tratado. Como alimento, foi ofertado um filete de mel na parede interna do copo. O experimento foi composto por sete tratamentos (seis óleos essenciais e uma testemunha), com cinco repetições cada tratamento. Cada copo com 10 parasitoides representou uma repetição. Para verificar o efeito sobre *T. remus*, a metodologia utilizada foi a mesma descrita para *T. pretiosum*, porém nas concentrações de 1µL/L, 5µL/L e 10µL/L. As observações foram realizadas às 24 e 48 horas após a aplicação, sendo contados os adultos mortos e calculando-se a mortalidade e eficácia (ABBOTT, 1925).

2.2.8 Efeito da pulverização sobre imaturos de *Telenomus remus*

A avaliação do efeito da pulverização dos óleos essenciais sobre *T. remus* foi realizada quando os parasitoides se encontravam nas fases de ovo, larva e pupa. Para isso, ovos do hospedeiro natural *S. frugiperda* foram retirados das massas, procedendo-se o molhamento com água destilada e separando-os com um pincel de cerdas macias. Após a separação, os ovos foram colados com cola branca em tiras de papel-cartão branco (1 cm x 3 cm), totalizando 30 ovos por tira. Os ovos foram ofertados às fêmeas do parasitoide, que permaneceram parasitando por 24 horas. Após esse período, as fêmeas foram retiradas e foi permitido o desenvolvimento dos parasitoides até a fase desejada, conforme as exigências de temperatura determinadas para a espécie (BUENO et al., 2008). Ao chegar na fase desejada, foi procedida a pulverização, em torre de Potter adaptada, dos óleos essenciais à 1,0% de concentração, com volume de calda equivalente à 250 L/ha.

2.2.9 Análise estatística

Em todos os bioensaios foram realizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk. O teste Tukey foi aplicado para os dados com distribuição normal e o teste de Kruskal-Wallis para aqueles que não apresentaram distribuição normal ($p < 0,05$). As análises foram realizadas por meio do software estatístico InfoStat.

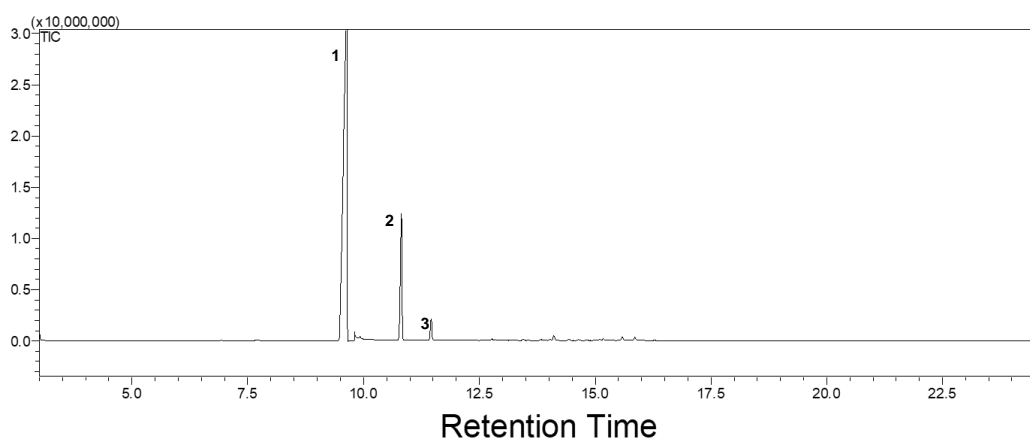
2.3 RESULTADOS

2.3.1 Determinação do perfil químico dos óleos essenciais

Foram realizadas as análises da composição dos óleos essenciais de *S. aromaticum* e de *C. citratus*. No óleo essencial do craveiro-da-índia foram identificados seis compostos, dos quais o eugenol é o composto majoritário, representando 80,68% do total da composição (Figura 2). O óleo essencial do capim-limão apresentou sete compostos, tendo o geranial (50,81%) e o neral (40,28%) como compostos majoritário, o que corresponde a 91,09% do óleo (Figura 3). A análise da quantificação do eugenol resultou na concentração de

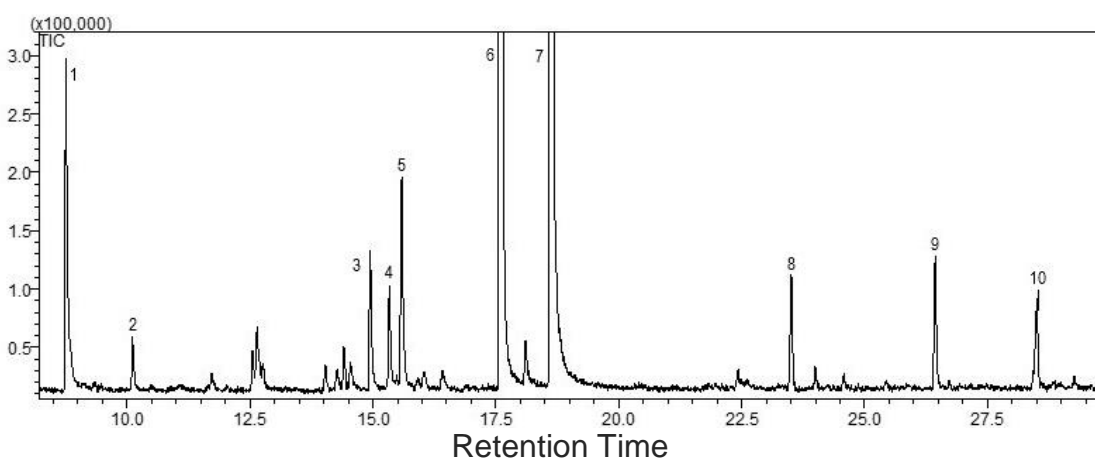
0,51 $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ de óleo, do α -citral 0,35 $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ de óleo e β -citral foi de 0,44 $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ de óleo.

Figura 2 - Cromatograma do óleo essencial de *Synzygium aromaticum* obtido por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas



1: Eugenol; 2: Caryophyllene Bicyclo; 3: Humuleno

Figura 3 – Cromatograma do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* obtido por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas



1: 5-Hepten-2-one, 6-methyl; 2: D-Limonene; 3: Verbenol; 4: não identificado; 5: não identificado; 6: β -citral; 7: α -citral; 8: Caryophyllene; 9: γ Cadinene; 10: não identificado

2.3.2 Bioensaios

Os óleos essenciais de *S. aromaticum* e *C. citratus* mostraram-se altamente tóxicos às lagartas de primeiro ínstar, provocando 100,0% de mortalidade nas primeiras 24 horas após a aplicação (Tabela 2). Os tratamentos contendo o óleo

essencial de *S. aromaticum* e *C. citratus* diferiram dos demais, que resultaram em mortalidades de até 4,0%.

Tabela 2 – Mortalidade (%) acumulada (mediana e média \pm erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com dieta artificial contendo diferentes óleos essenciais

Tratamento	1 DAA	3 DAA	5 DAA	Eficácia (%) ¹
<i>Call.</i>	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (4,0 \pm 2,5)	4,0
<i>Cor.</i>	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (2,0 \pm 2,0)	0,0b (2,0 \pm 2,0)	2,0
<i>Sch.</i>	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (2,0 \pm 2,0)	2,0
<i>Bac.</i>	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (0,0 \pm 2,0)	0,0b (2,0 \pm 2,0)	2,0
<i>Syz.</i>	100,0a (100,0 \pm 0,0)	100,0a (100,0 \pm 0,0)	100,0a (100,0 \pm 0,0)	100,0
<i>Cym.</i>	100,0a (100,0 \pm 0,0)	100,0a (100,0 \pm 0,0)	100,0a (100,0 \pm 0,0)	100,0
Controle	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (0,0 \pm 0,0)	0,0b (0,0 \pm 0,0)	-

¹Eficácia calculada de acordo com fórmula proposta por Abbott (1925).

DAA = Dias após a aplicação

Call. = *Callistemon* sp.; *Cor.* = *Cordia verbenacea*; *Sch.* = *Schinus terebinthifolius*; *Bac.* = *Baccharis dracunculifolia*; *Syz.* = *Syzygium aromaticum*; *Cym.* = *Cymbopogon citratus*.

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam as médias \pm erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Os parâmetros biológicos período larval, período pupal e peso de pupa não apresentaram diferenças entre os tratamentos e foram semelhantes aos valores encontrados no tratamento controle (Tabela 3). Contudo, para o parâmetro viabilidade larval houve diferença entre o tratamento contendo o óleo essencial de *B. dracunculifolia* (22,2%) e os demais, que apresentaram viabilidade variando de 77,3% a 91,5%.

Tabela 3 – Parâmetros biológicos de (mediana e média ± erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com dieta artificial contendo diferentes óleos essenciais

Tratamento	Período Larval (dias)	Viabilidade Larval (%)	Período Pupal (Dias)	Peso de Pupa (mg)
Call.	17,01±0,32 ^{ns}	90,0a (91,56±2,13)	11,16±0,13 ^{ns}	233,61±6,67 ^{ns}
Cor.	16,96±0,38	70,0a (77,33±9,85)	10,86±0,26	239,52±5,76
Sch.	17,37±0,28	80,0a (76,00±7,48)	10,92±0,17	235,59±2,71
Bac.	-	20,0b (22,22±7,26)	-	-
Controle	17,02±0,26	88,9a (91,56±3,81)	10,73±0,07	236,70±8,01
CV (%)	4,10	-	3,49	5,78
H	-	12,78*	-	-

Call. = *Callistemon* sp.; Cor. = *Cordia verbenacea*; Sch = *Schinus terebinthifolius*; Bac. = *Baccharis dracunculifolia*; Syz. = *Syzygium aromaticum*; Cym. = *Cymbopogon citratus*.

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam as médias±erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

A imersão das folhas de milho nas soluções contendo óleo essencial das diferentes espécies vegetais, à 1,0% de concentração, causaram mortalidades inferiores à 21,0% da população de lagartas de primeiro ínstar, cinco dias após a aplicação (Tabela 4). O óleo essencial de *B. dracunculifolia* foi o que provocou a maior redução populacional da praga, com 20,7% de mortalidade. No entanto, a imersão na calda contendo inseticida sintético (Tiametoxam + Lambda-cialotrina – 200mL p.c./200 L de calda) resultou em 100,0% de mortalidade das lagartas nas primeiras 24 horas de exposição ao tratamento.

Tabela 4 – Mortalidade (%) acumulada (mediana e média \pm erro padrão) de lagartas de primeiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* expostas a folhas de milho tratadas com soluções de diferentes óleos essenciais à 1,0% de concentração

Tratamento	1 DAA	3 DAA	5 DAA
<i>Bac.</i>	0,0b (12,2 \pm 9,69)	10,0ab (20,7 \pm 11,57)	10,0ab (20,7 \pm 11,57)
<i>Cor.</i>	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (6,0 \pm 6,00)
<i>Cym.</i>	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)
<i>Call.</i>	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (6,0 \pm 4,00)
<i>Syz.</i>	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)
<i>Sch.</i>	0,0b (4,0 \pm 2,45)	0,0b (4,0 \pm 2,45)	0,0b (4,0 \pm 2,45)
Água	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)
Tween 20	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (0,0 \pm 0,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)
Tiametoxam + Lambda-cialotrina	100,0a (100,0 \pm 0,00)	100,0a (100,0 \pm 0,00)	100,0a (100,0 \pm 0,00)
Sem aplicação	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (2,0 \pm 2,00)	0,0b (4,0 \pm 2,45)
H	16,04	17,51	15,98
P	<0,01	<0,01	<0,05

Call. = *Callistemon* sp.; *Cor.* = *Cordia verbenacea*; *Sch.* = *Schinus terebinthifolius*; *Bac.* = *Baccharis dracunculifolia*; *Syz.* = *Syzygium aromaticum*; *Cym.* = *Cymbopogon citratus*.

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam as médias \pm erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

A pulverização dos óleos essenciais de *S. aromaticum* e *C. citratus* combinados tanto com o óleo de soja quanto com o óleo vegetal Nortox[®], resultaram em mortalidades inferiores à 4,72% e estes valores não diferiram do tratamento controle (sem aplicação) (Tabela 5). Contudo, a pulverização do controle positivo, composto por inseticida sintético (Tiametoxam + Lambda-cialotrina) provocou mortalidade em 100,0% das lagartas.

Tabela 5 – Mortalidade (%) (mediana e média±erro padrão), cinco dias após a aplicação, de lagartas de segundo ínstar de *Spodoptera frugiperda* pulverizadas com diferentes combinações de produtos e alimentadas com plântulas de milho pulverizadas com os mesmos tratamentos

Tratamento	Mortalidade (%)	Eficácia (%) ¹
Tiametoxam + Lambda-cialotrina (200mL/200L)	100,0a (100,00±0,00)	100,00
Óleo de soja (0,5%) + Tween 20 (0,5%)	10,0b (6,00±2,45)	6,00
Syz. (1,0%) + Nortox® (0,5%)	0,0b (4,72±2,90)	4,72
Syz. (1,0%)	0,0b (4,22±2,59)	4,22
Syz. (1,0%) + Óleo de soja (0,5%)	0,0b (2,86±2,86)	2,86
Cym. (1,0%) + Nortox® (0,5%)	0,0b (0,00±0,00)	0,00
Cym. (1,0%)	0,0b (0,00±0,00)	0,00
Cym. (1,0%) + Soja (0,5%)	0,0b (0,00±0,00)	0,00
Água + Tween 20 (0,5%)	0,0b (0,00±0,00)	0,00
Água	0,0b (0,00±0,00)	0,00
Sem Aplicação	0,0b (0,00±0,00)	0,00

Syz. = *Syzygium aromaticum*; Cym. = *Cymbopogon citratus*.

¹Eficácia calculada de acordo com fórmula proposta por Abbott (1925).

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam as médias±erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Todos os óleos essenciais na maior concentração (10µL/L) foram altamente tóxicos às duas espécies de parasitoides testados, com 100% de mortalidade após 48 horas da aplicação (Tabela 6). As espécies *S. aromaticum*, *C. citratus* e *B. dracunculifolia*, nas três concentrações testadas causaram a morte de 100% dos adultos de *T. remus*. *Cordia verbenacea* e *Callistemon* sp., no entanto, mostraram-se menos tóxicos à 1µL/L, diferindo dos demais tratamentos. À concentração de 5µL/L, apenas os resultados obtidos com a aplicação do óleo essencial de *C. verbenacea* diferiu daqueles observados com as espécies *S. aromaticum*, *C. citratus* e *B. dracunculifolia*.

Tabela 6 – Mortalidade (%) (mediana e média±erro padrão) de adultos dos parasitoides de ovos *Telenomus remus* e *Trichogramma pretiosum* submetidos ao efeito de fumigação (μL de óleo essencial/ L de ar) de diferentes óleos essenciais, 48 horas após a exposição

Tratamento	<i>Telenomus remus</i>			<i>Trichogramma pretiosum</i>
	1 $\mu\text{L/L}$	5 $\mu\text{L/L}$	10 $\mu\text{L/L}$	10 $\mu\text{L/L}$
Syz.	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)
Cal.	40b (34,0±11,66)	80ab (84,0±7,5)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)
Cor.	20b (26,0±8,1)	80bc (62,0±15,3)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)
Cym.	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)
Bac.	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)	100a (100,0±0,0)
Sch.	-	-	-	100a (100,0±0,0)
Controle	10b (8,0±3,7)	10c (8,0±3,7)	10b (8,0±3,7)	0b (0,0±0,0)
P	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
H	22,88	20,50	12,10	12,50

Call. = *Callistemon* sp.; *Cor.* = *Cordia verbenacea*; *Sch.* = *Schinus terebinthifolius*; *Bac.* = *Baccharis dracunculifolia*; *Syz.* = *Syzygium aromaticum*; *Cym.* = *Cymbopogon citratus*.

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam as médias±erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

A pulverização dos óleos essenciais, em todas as fases de desenvolvimento de *T. remus* causou mortalidades inferiores à 35,0% (Tabela 7). Quando realizada sobre o inseto na fase de ovo, não houve diferença significativa entre os tratamentos, com mortalidade máxima de 11,78% obtida a partir do óleo essencial de *S. aromaticum*. Quando aplicado no inseto na fase de larva, embora tenha dado diferença entre tratamentos, a máxima mortalidade foi de 16,49%. O máximo efeito na mortalidade dos indivíduos (34,38%) foi observado quando se realizou a pulverização do óleo essencial de *C. citratus* na fase de pupa do parasitoide.

Tabela 7 - Mortalidade (%) (média±erro padrão) de *Telenomus remus* nas fases imaturas dentro de ovos do hospedeiro natural *Spodoptera frugiperda* após a pulverização com diferentes óleos essenciais à 1,0% de concentração

Tratamento	Ovos	Larvas	Pupas
Syz.	11,78±7,81 ^{ns}	6,25±2,51ab	12,51±4,07ab
Cal.	0,00±0,00	16,49±6,66a	-
Cor.	0,00±0,00	2,98±1,36ab	-
Cym.	0,00±0,00	2,43±1,61ab	34,38±13,25a
Bac.	0,00±0,00	6,17±2,55ab	2,71±1,66b
Tween 20	0,67±0,67	0,00±0,00b	2,15±1,40b
Controle	6,09±1,97	2,51±1,63ab	5,02±3,55b
CV (%)	87,93	63,48	63,40

Cal. = *Callistemon* sp.; Cor. = *Cordia verbenacea*; Sch = *Schinus terebinthifolius*; Bac. = *Baccharis dracunculifolia*; Syz. = *Syzygium aromaticum*; Cym. = *Cymbopogon citratus*.

^{ns}=não significativo

Médias seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

2.4 DISCUSSÃO

A composição química dos óleos essenciais de *S. aromaticum* e *C. citratus* é semelhante a de outros estudos nos quais o eugenol apresentou-se como composto majoritário do craveiro-da-índia (CRUZ et al., 2014; JAIROCE et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2009), e neral e geranial como os majoritários do óleo de capim-limão (KNAAK et al., 2013; KOBENAN et al., 2018; LIMA et al., 2008; MADI et al., 2020; OLIVERO-VERBEL; NERIO; STASHENKO, 2010). Em dieta artificial sobre lagartas de primeiro ínstar, os óleos essenciais de *S. aromaticum* e *C. citratus* são altamente tóxicos, provocando 100% de mortalidade nas primeiras 24 horas (Tabela 2). Estes resultados mostram que *S. frugiperda* é mais um inseto-praga que apresenta sensibilidade aos compostos dos óleos essenciais destas duas espécies botânicas, semelhante ao observado em outros alvos biológicos (EL-BAKRY et al., 2016; JIANG et al., 2016; PRIYANKA; SRIVASTAVA, 2012; VARGAS-MÉNDEZ et al., 2019). A aplicação do óleo essencial do craveiro-da-índia, bem como do eugenol e de derivados de eugenol no dorso de larvas de *S. frugiperda*, resultou em baixas concentrações letais, confirmando a alta toxicidade

do composto majoritário de *S. aromaticum* (VARGAS-MÉNDEZ et al., 2019). O óleo do craveiro-da-índia, via aplicação tópica, foi o que apresentou menor dose letal sobre *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) quando testados os óleos de 10 espécies vegetais (JIANG et al., 2016). A partir de estudos anteriores, associado aos resultados do presente estudo, nota-se que os compostos do craveiro-da-índia são tóxicos para diferentes ordens de insetos, com baixos valores de concentração letal (EL-BAKRY et al., 2016). Espécies do gênero *Cymbopogon*, principalmente aquelas em que o citral é o composto majoritário, têm se mostrado potenciais para o uso no manejo integrado de pragas, devido ao seu rápido efeito em pequenas doses (BARBOSA et al., 2018; HERNANDEZ-LAMBRAÑO et al., 2015; KOBENAN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018). A rápida mortalidade dos insetos verificadas no presente estudo indica a possível atividade dos componentes destes óleos essenciais no sistema nervoso central dos insetos. Em estudo prévio verificou-se que o óleo de *S. aromaticum*, bem como o eugenol apresentam atividade moderada como inibidor da enzima acetilcolinesterase (VARGAS-MÉNDEZ et al., 2019), que degrada a acetilcolina, importante neurotransmissor da fase química do impulso nervoso. Devido à completa mortalidade das lagartas alimentadas com dieta artificial contendo os óleos essenciais de craveiro-da-índia e de capim-limão, avaliou-se os parâmetros biológicos apenas para os demais tratamentos. Dos quatro parâmetros analisados, apenas a viabilidade larval apresentou diferença estatística ($p < 0,05$), em que o *B. dracunculifolia*, apresentou o menor valor, com formação de pupas em apenas 22,2% dos indivíduos. Os demais tratamentos obtiveram viabilidades larvais acima de 75,0%. No tratamento com *B. dracunculifolia* foi possível observar que, embora as lagartas não tenham morrido 5DAA e tenham se desenvolvido, não conseguiram formar pupa e morreram ao final do desenvolvimento larval. A atividade inseticida do óleo essencial de *B. dracunculifolia* foi demonstrada sobre *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae), causando até 70,0% de mortalidade larval e com inibição da emergência de até 100,0% de adultos (CHAABAN et al., 2017). Nos bioensaios tanto de imersão da folha de milho quanto de pulverização das plântulas de milho com as soluções contendo os diferentes óleos essenciais as mortalidades observadas foram baixas, inferiores à 21,0%. Em ambos os casos, o controle positivo composto por inseticida sintético à base de tiametoxam + lambda-cialotrina provocaram 100,0% de mortalidade nas

lagartas. A adição do óleo de seja e do Nortox[®] não influenciou a atividade dos óleos essenciais. Estes resultados podem ser explicados pela alta volatilidade dos óleos essenciais, o que sugere a necessidade de modificação na forma de exposição do alvo biológico ao produto com potencial inseticida. Uma possibilidade é a utilização dos óleos essenciais em nanoformulações, que podem conferir ao princípio ativo maior termoestabilidade e fotoestabilidade (FORIM et al., 2013; PEREIRA et al., 2018), sendo mais assertivo no controle da praga. Os óleos mostraram-se tóxicos, via fumigação, aos adultos de *T. pretiosum* e *T. remus*, com 100,0% de mortalidade dos indivíduos das duas espécies com a aplicação dos óleos essenciais de todas as espécies botânicas testadas à 10µL de óleo/L de ar. Em concentrações menores, a exposição ao óleo essencial de *C. sp.* e *C. verbenacea* reduziu a mortalidade de *T. remus*, com valores variando de 26,0% à 84,0% nas concentração de 1µL/L e 5µL/L. Outros estudos têm demonstrado que estes produtos botânicos podem ter efeitos negativos sobre agentes de controle biológico, a exemplo do predador *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) que mostrou-se sensível ao óleo essencial de *C. citratus*, por meio de aplicação tópica (BRÜGGER et al., 2019). Contudo, quando os óleos foram pulverizados sobre *T. remus* nas fases imaturas dentro dos ovos de *S. frugiperda*, mostraram-se pouco tóxicos ao parasitoide, com mortalidade máxima inferior à 35,0%, observada na fase de pupa. Resultados semelhantes foram encontrados com a pulverização dos óleos essenciais de três espécies, incluindo *S. aromaticum*, cujo maior efeito na redução da emergência ocorreu na fase de pupa (PARREIRA et al., 2017). O conhecimento dos efeitos sobre inimigos naturais é fundamental para o desenvolvimento de estratégia de manejo, visando garantir o menor impacto sobre estes organismos. Uma das formas de redução destes efeitos é favorecendo a seletividade ecológica, com o posicionamento das diferentes táticas em momentos distinto, para que o inimigo natural não entre em contato com o inseticida botânico.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais das espécies *Syzygium aromaticum* e *Cymbopogon citratus* apresentam um potencial para serem utilizados como ferramenta nos

programas de manejo integrado de *Spodoptera frugiperda*. Quando seu uso for associado com a tática do controle biológico, deve-se posicionar as duas ferramentas em momentos distintos, a fim de favorecer a seletividade ecológica destes produtos aos agentes de controle biológico. Desta forma, os inseticidas botânicos não exercerão impacto negativo sobre os parasitoides.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p.265-267, 1925.
- ALVES, M. S. et al. Essential oils composition and toxicity tested by fumigation against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) pest of stored cowpea. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.6, p.2387-2399, 2015.
- ANDRADE, L. G. et al. Efeito repelente de azadiractina e óleos essenciais sobre *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em algodoeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.3, p.628-634, 2013.
- BARBOSA, M. S. et al. Applying plant oils to control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v.12 n.4, p.557-562, 2018.
- BERNARDI, D. et al. Biological activity of Bt proteins expressed in diferente structures of transgenic corn against *Spodoptera frugiperda*. **Ciência Rural**, v.46, n.6, p.1019-1024, 2016.
- BRÜGGER, BP. et al. Bioactivity of the *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoid constituents on the predatory bug, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Scientific Reports**, v.9, 2019.
- BUENO, R. C. O. F. et al. Biology and thermal requirements of *Telenomus remus* reared on fall armyworm *Spodoptera frugiperda* eggs. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p.1-6, 2008.
- BUENO, R. C. O. F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, v.60, p.154-162, 2012.
- BUENO, R. C. O. F. et al. Integrated management of soybean pests: the example of Brazil. **Outlooks on Pest Management**, v.28, n.4, p.149-153, 2017.
- CHAABAN, A. et al. Insecticide activity of *Baccharis dracunculifolia* essential oil against *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae). **Natural Product Research**, v.32, n.24, p.2954-2958, 2018.
- CHAKIRA, H. et al. Repellency of essential oils against *Nephotettix cincticeps*: Laboratory and glasshouse assays. **Journal of Applied Entomology**, v.141, p.708-720, 2017.
- CLERICI, D. J. et al. Effects of nanostructured essential oils against subterranean termites (*Coptotermes gestroi*). **Journal of Applied Entomology**, v.142, p.406-412, 2018.
- CRUZ, G. S. et al. 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**, v.107, n.1, p.144-153, 2014.

EL-BAKRY, A. M. et al. Insecticidal activity of natural plant essential oils against some stored product insects and their side effects on wheat seed germination. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v.26, n.1, p.83-88, 2016.

FAO. First detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in Torres Strait. FAO: Rome, Italy; Available online: <https://www.ippc.int/en/countries/australia/pestreports/2020/02/first-detection-of-spodoptera-frugiperda-fall-armyworm-in-torres-strait/> (accessed on 07 February 2020).

FAO. First Detection of Fall Armyworm in China; FAO: Rome, Italy; Available online: <https://www.ippc.int/fr/news/first-detection-of-fall-armyworm-in-china/> (accessed on 29 January 2019).

FORIM, M. R. et al. Development of a new method to prepare nano-microparticles loaded with extracts of *Azadirachta indica*, their characterization and use in controlling *Plutella xylostella*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.9131-9139, 2013.

GOERGEN, G. et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **Plos One**, v.11, n.10, p.1-9, 2016.

GONÇALVES, G. L. P. et al. (2017). Compounds from *Duguetia lanceolata* St.-Hil. (Annonaceae) bioactive against *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). **Industrial Crops and Products**, v.97, p.360-367.

GOULART, M. M. P. et al. Host preference of the egg parasitoids *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum* in laboratory. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.55, n.1, p.129-133, 2011.

HERNANDEZ-LAMBRAÑO, R. et al. Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests. **Journal of Stored Products Research**, 62, 81-83, 2015.

HUSSEIN, H. S.; SALEM, M. Z. M.; SOLIMAN, A. M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialeurodes ricini*. **Scientia Horticulturae**, v.216, p.111-119, 2017.

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

ISMAN, M. B. Bridging the gap: Moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. **Industrial Crops & Products**, v.110, p.10-14, 2017.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century - Fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v.65, n.1, p.233-249, 2019.

JAIROCE, C. F. et al. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.72-77, 2016.

JIANG, Z. L. et al. Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v.136, p.191-202, 2012.

KNAAK, N. et al. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v.6, n.1, p.49-53, 2013.

KOBENAN, K. C. et al. Essential oils of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Cymbopogon nardus* L. and *Citrus* sp: Insecticidal activity on the Pink Bollworm *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera; Gelechiidae) and prospects for cottonpest management in Côte d'Ivoire. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v.24, n.1, p.389-397, 2018.

LIMA, RK. Et al. Composição dos óleos essenciais de anis-estrelado *Illicium verum* L. e de capim-limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: avaliação do efeito repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). **BioAssay**, v.3, n.8, p.1-6, 2008.

MADI, Y. F. et al. Essential oil of *Cymbopogon citratus* cultivated in Egypt: seasonal variation in chemical composition and anticholinesterase activity. **Natural Product Research**, p.1-5, 2020.

MONTEZANO, D. G. et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v.26, n.2, p.286-300, 2018.

MOTA-SANCHEZ, D., WISE, J. C. (2021). **The Arthropod Pesticide Resistance Database**. Michigan State University. On-line at: <http://www.pesticideresistance.org>

OLIVEIRA, E. R. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.4, p.408-419, 2018.

OLIVEIRA, J. V. et al. Fumigation and repellency of essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in cowpea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.1, p.10-17, 2017.

OLIVEIRA, R. A. et al. Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v.19, n.3, p.771-775, 2009.

OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, 66, 664-668, 2010.

PARRA, J. R. P.; COELHO JUNIOR, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v.19, n.2, p.1-6, 2019.

- PARREIRA, D. S. et al. Efeito de óleos essenciais sobre estágios imaturos de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.21, n.2, p.80-85, 2017.
- PAVELA, R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a Review. **Plant Protection Science**, v.52 n.4, p.229-241, 2016.
- PEREIRA, K. C. et al. Characterization of nanospheres containing *Zanthoxylum riedelianum* fruit essential oil and their insecticidal and deterrent activities against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Molecules**, v.23, n.8, p.1-19, 2018.
- PRIYANKA, B.; SRIVASTAVA, R. P. Larvicidal and growth regulatory activities of some essential oils against Asian army worm, *Spodoptera litura* (Fab.). **Journal of Biopesticides**, v.5, n.2, p.186-190, 2012.
- SANTOS, M. R. A. et al. Composição química e atividade inseticida do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) sobre a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) Ferrari. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.15, n.4, p.757-762, 2013.
- SOUZA, J. R. et al. Impact of insecticides used to control *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in corn on survival, sex ratio, and reproduction of *Trichogramma pretiosum* Riley offspring. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, n.2, p.122-127, 2013.
- VARGAS-MÉNDEZ, L. Y. et al. Bioactivity of semisynthetic eugenol derivatives against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae infesting maize in Colombia. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.26, p.1613-1620, 2019.

CAPÍTULO 3 - EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon citratus* (DC.) STAPF (POACEAE) SOBRE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E OS INIMIGOS NATURAIS *Trichogramma pretiosum* RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) E *Telenomus remus* NIXON (HYMENOPTERA: PLATYGASTRIDAE)

João Pedro de Andrade Bomfim; Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

RESUMO

Spodoptera frugiperda é um inseto-praga de importância mundial, com registro em 353 espécies hospedeiras e 146 casos de populações resistentes a inseticidas. Devido à busca por produtos fitossanitários de menor impacto no ambiente e na saúde humana, tem sido intensificado os estudos de plantas com potencial inseticida. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* sobre *S. frugiperda* e nos inimigos naturais *Trichogramma pretiosum* e *Telenomus remus*. Folhas de *C. citratus* foram coletadas, secas em estufa de circulação forçada de ar à 40°C por 48 horas. Após a secagem, foi realizada a extração do óleo em aparelho tipo Clevenger adaptado, por duas horas. O óleo essencial foi coletado, pesado e armazenado à -20°C até a instalação dos bioensaios. Para identificação e quantificação dos compostos foi realizada análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. Os experimentos foram realizados por meio da adição, em dieta artificial, do óleo essencial puro, compondo diferentes concentrações em relação à massa de dieta artificial (mg de óleo/ g de dieta). Os tratamentos foram: 0,00; 0,50; 0,75; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00; 2,75; e 3,00 mg/g. Posteriormente, foi instalado experimento com a CL₈₀ estimada a partir dos dados do experimento anterior, e os tratamentos foram: CL₈₀ do óleo essencial, CL₈₀ do citral e CL₈₀ do d-limoneno. Por fim, foi testado o efeito de fumigação sobre os inimigos naturais, em diferentes concentrações. O delineamento foi inteiramente casualizado, os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). O geranial e citral, que juntos formam o citral, apresentaram-se como compostos majoritários do óleo essencial. As concentrações aplicadas foram tóxicas às lagartas de *S. frugiperda*, com CL₅₀=2,016 CL₈₀=2,577 e CL₉₀=3,257 (mg de óleo essencial/g de dieta). O citral causou mortalidade acima de 90% e os óleos foram tóxicos para *T. pretiosum* e *T. remus*. O óleo foi efetivo para a redução populacional da praga, nas condições testadas, mas deve ser utilizado em momentos distintos à liberação de *T. pretiosum* e *T. remus*, favorecendo a seletividade ecológica.

Palavras-chave: Inseticidas botânicos. Manejo integrado de pragas. Controle biológico. Entomologia agrícola. MIP.

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda is a pest insect of worldwide importance, registered in 353 host species and 146 cases of resistant population to insecticides. Due to the search for phytosanitary products with less impact on the environment and human health, studies on plants with insecticidal potential have been intensified. Thus, the aim of this work was to evaluate the effect of *Cymbopogon citratus* essential oil on *S. frugiperda* and on natural enemies *Trichogramma pretiosum* and *Telenomus remus*. The *C. citratus* leaves were collected and dried in an oven with forced air circulation at 40°C for 48 hours. After drying, the oil was extracted in a Clevenger apparatus for 2 hours. The essential oil was collected, weighed and stored at -20°C until the installation of the bioassays. To identify and quantify the compounds, gas chromatography analysis coupled with mass spectrometry were performed. The experiments were carried out by adding on an artificial diet pure essential oil, composing different concentrations in relation to the artificial diet mass (mg of oil / g of diet). The treatments were: 0.00; 0.50; 0.75; 1.25; 1.50; 1.75; 2.00; 2.75; and 3.00 mg / g. Subsequently, an experiment was installed with the CL₈₀ estimated from the data from the previous experiment, and the treatments were: CL₈₀ for oil, CL₈₀ for citral and CL₈₀ for d-limonene. Finally, the effect of fumigation on natural enemies in different concentrations was tested. The design was completely randomized, the data were submitted to the Shapiro-Wilk normality test and the Kruskal-Wallis non-parametric test ($p < 0.05$). The geranial and citral, which together form the citral, were the major compounds of essential oil. The concentrations applied were toxic to *S. frugiperda* caterpillars, with LC₅₀ = 2.016 LC₈₀ = 2.577 and LC₉₀ = 3.257 (mg / g). The Citral caused mortality above 90% and the oils were toxic to *T. pretiosum* and *T. remus*. The oil was effective in reducing the population of the pest under the conditions tested, but it should be used at different times of the releasing of *T. pretiosum* and *T. remus*, favoring ecological selectivity.

Keywords: Botanical insecticides. Integrated pest management. Biological control. Agricultural entomology. IPM.

3.1 INTRODUÇÃO

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) é um inseto-praga cosmopolita, multivoltino e polífago, com registro de 353 espécies hospedeiras no mundo, pertencentes a 76 famílias taxonômicas (MONTEZANO et al., 2018). Entre os hospedeiros, espécies cultivadas de importância econômica como o milho (*Zea mays* – Poaceae), soja (*Glycine max* – Fabaceae) e tomate (*Solanum lycopersicum* – Solanaceae) são comumente atacadas pelo inseto. No ano de 2016 ocorreu o primeiro registro de *S. frugiperda* no continente africano, onde foi encontrada atacando plantas de milho (GOERGEN et al., 2016), base da alimentação da população daquele continente. Em 2018, a espécie foi registrada pela primeira vez na Índia e, a partir de então, em Bangladesh, Tailândia, Mianmar, China e Sri Lanka (FAO, 2019) e em 2020 na Austrália, o que configura a presença em todos os continentes (FAO, 2020).

No Brasil, o controle de *S. frugiperda* é baseado, principalmente, na utilização de produtos fitossanitários e, na cultura do milho, há o plantio de material geneticamente modificado que expressam proteínas da bactéria *Bacillus thuringiensis* (BERNARDI et al., 2016; SOUZA et al., 2013). Além desses métodos de controle, o posicionamento de inimigos naturais, por meio de programas de controle biológico, tem sido uma prática frequente. A liberação de parasitoides de ovos tem se mostrado eficiente na redução das populações de *S. frugiperda*, com destaque para a espécie *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), que tem alta afinidade a espécies da família Noctuidae e é produzido comercialmente (BUENO; PARRA; BUENO, 2012; BUENO et al., 2017; PARRA; COELHO JUNIOR, 2019). Uma segunda espécie de parasitoide de ovos, *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygasteridae), vem sendo estudada quanto ao seu potencial em programas de controle biológico da praga, principalmente devido à capacidade de parasitar ovos alojados nas camadas mais internas das posturas de *S. frugiperda* (BUENO et al., 2008; GOULART et al., 2011).

A busca por táticas de controle que resultem em baixo resíduo ambiental e que possam ser utilizadas de forma integrada a outras ferramentas tem potencializado os estudos da aplicação de produtos naturais no manejo integrado de pragas (CHAKIRA et al., 2017; CLERICI et al., 2018; GONÇALVES et al., 2017;

HUSSEIN; SALEM; SOLIMAN, 2017; ISMAN, 2017, 2019; LIAO et al., 2017; NEGRINI et al., 2019; PAVELA et al., 2019). Dessa forma, a utilização de compostos extraídos de plantas com atividade inseticidas ou insetistática, principalmente para aplicação em pequenas unidades de produção agrícola, mostra-se como uma importante ferramenta no manejo de insetos-praga. Esses compostos, oriundos do metabolismo secundário das plantas, são armas químicas de defesa contra a herbivoria (ISMAN, 2017, 2019).

Os óleos essenciais representam um dos grupos destes metabólitos e podem causar alterações biológicas e comportamentais sobre diferentes ordens de insetos (CHAKIRA et al., 2017; CLERICI et al., 2018; HUSSEIN; SALEM; SOLIMAN, 2017; LIAO et al., 2017; NEGRINI et al., 2019; PAVELA et al., 2019). Por serem constituídos por um complexo de substâncias ativas, principalmente monoterpenos e sesquiterpenos, dificultam a seleção de populações de insetos-praga resistentes, auxiliando no manejo da resistência a inseticidas (ISMAN, 2006; PAVELA, 2016).

O capim-limão, *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Poaceae), é uma planta medicinal e aromática de origem asiática, que tem sido estudada quanto a sua atividade sobre insetos, tanto por meio da aplicação de extratos quanto de seu óleo essencial (BLANK et al., 2009; SALAMI; OLUFEMI-SALAMI, 2017; UWAMOSE et al., 2017). Alguns estudos observaram sua ação sobre as espécies-praga *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera: Gelechiidae), *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) (KABERA et al., 2011; KOBENAN et al., 2018; OLIVERO-VERBEL; NERIO; STASHENKO, 2010). *Cymbopogon citratus* apresenta, como compostos majoritários, o geranial e o neral (KOBENAN et al., 2018; LIMA et al., 2008; MADI et al., 2019; OLIVERO-VERBEL; NERIO; STASHENKO, 2010).

Assim, este estudo tem por objetivo avaliar o efeito do óleo essencial de *C. citratus* na mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* e alterações em parâmetros biológicos da praga além da atividade sobre os parasitoides de ovos *T. pretiosum* e *T. remus*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os insetos utilizados nos bioensaios foram obtidos a partir de criação mantida no laboratório do Grupo de Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas na Agricultura (AGRIMIP), do Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Botucatu – São Paulo.

Criação de *Spodoptera frugiperda*

As lagartas de *S. frugiperda* foram alimentadas com dieta artificial adaptada de Greene (1976), na qual realizaram o desenvolvimento larval. Após a emergência, os adultos foram alimentados com solução de água e mel (10,0%) e mantidos em gaiolas de PVC (20cm de diâmetro x 30cm de altura), para realização da oviposição.

3.2.1 Criação dos parasitoides *Trichogramma pretiosum* e *Telenomus remus*

Trichogramma pretiosum foi multiplicado em ovos do hospedeiro alternativo *Anagasta kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) e *T. remus* multiplicado em ovos do hospedeiro natural *S. frugiperda*. Após a emergência, os adultos foram alimentados com mel, dispostos na forma de filetes nas paredes internas dos potes de criação.

3.2.2 Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial

Folhas de capim-limão foram colhidas de plantas cultivadas pelo AGRIMIP no Departamento de Proteção Vegetal, da FCA, UNESP, Botucatu (22°50'34,27" S, 48°25'58,05" O) – São Paulo. Após a colheita, foram acondicionadas em sacos de papel pardo e levadas para secagem em estufa com ventilação forçada à 40°C, por 48 horas. Em seguida, 100 g de folhas secas foram levadas à balão de vidro com volume total de dois litros contendo um litro de água deionizada, acondicionado em manta térmica para a fervura. Na sequência, foi acoplado ao aparelho tipo Clevenger adaptado para ocorrer a extração e condensação do óleo essencial. O sistema de extração permaneceu ligado por duas horas e meia e, após esse período, o óleo essencial extraído foi coletado e vertido em frasco de vidro âmbar, armazenado à -20°C. O rendimento do óleo essencial foi determinado

por meio da massa do óleo extraído em relação à massa seca das folhas de capim-limão utilizadas na extração. Exsiccatas (voucher nº34516) da espécie vegetal foram depositadas no Herbário “Irina Delanova Gemtchújnicov”, do Instituto de Biociências, da UNESP – Botucatu.

3.2.3 Determinação do perfil químico do óleo essencial

A avaliação do perfil químico do óleo essencial foi realizada no Laboratório de Química Orgânica de Produtos Naturais do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos – SP. As análises foram feitas em um sistema de Cromatografia a gás acoplado a Espectrômetro de Massas Sequencial (CG-EM/EM), equipado com auto-injetor (Combi PAL AOC-5000 Shimadzu), coluna Restek Rtx-5ms (30m x 0,250 mm x 0,25 µm) fundida com sílica e Espectrômetro de Massas Sequencial (MSTQ8030 Shimadzu). As amostras foram analisadas em modo *full scan* e injetadas a uma concentração de 10,0 µg/mL em uma rampa de aquecimento de 50°C a 120°C por 15,0 min, e de 120°C a 210°C com variação de temperatura de 2 °C/min em fluxo de 1,0 mL/min. O gás Hélio foi utilizado como gás de arraste, a razão de fracionamento foi de 50,0; a temperatura do forno da coluna foi de 50°C, temperatura de injeção de 250°C, volume de injeção de 1,0µL, pressão de 62,7 kPa, velocidade linear de 36,3 cm/seg e fluxo de purga de 5mL/min. Para a análise dos dados de separação e seus tratamentos, utilizou-se o Software GCMS Real Time Analysis® e a identificação das substâncias presentes nas amostras foi realizada através do reconhecimento dos espectros obtidos comparados à biblioteca de espectros de massa - NIST e literatura específica (ADAMS, 2017).

3.2.4 Efeito do óleo essencial sobre lagartas

Para avaliação do efeito do óleo essencial de *C. citratus* em lagartas de primeiro ínstar de *S. frugiperda*, foi preparada dieta artificial por meio do mesmo processo realizado para a manutenção da criação dos insetos. Após a dieta atingir temperatura inferior à 40°C, foi realizada a mistura do óleo essencial nas concentrações de 0,50mg/g, 0,75 mg/g, 1,25 mg/g, 1,50 mg/g, 1,75 mg/g, 2,00 mg/g, 2,75 mg/g e 3,00 mg/g, além de uma testemunha sem a mistura do óleo, totalizando nove tratamentos. A dieta com o óleo foi vertida em tubos de vidro de

fundo chato (9 cm de altura x 2 cm de diâmetro), nos quais foram transferidas as lagartas de primeiro ínstar, individualmente. Cada tratamento foi composto por 50 lagartas, mantidas individualizadas e o conjunto de 10 lagartas foi considerada uma repetição, com um total de cinco repetições por tratamento. Os tubos foram vedados com algodão hidrófobo e acondicionadas sob temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $60\pm 5\%$ e fotofase de 12 horas. As avaliações foram realizadas a cada 24 horas durante todo o desenvolvimento do inseto até a emergência dos adultos. Os parâmetros avaliados foram: mortalidade (%), período larval (dias), período pupal (dias) e peso de pupa (mg). Para confirmação da atividade do composto majoritário, foi instalado um novo experimento, aplicando-se a CL_{80} estimada por meio do primeiro bioensaio. Além do composto majoritário, foi testado o d-limoneno, com um total de quatro tratamentos: CL_{80} do óleo essencial, CL_{80} do citral e CL_{80} do d-limoneno e testemunha. Foi realizado o teste de normalidade e, aplicado o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). As análises foram realizadas por meio do software estatístico InfoStat.

3.2.5 Determinação da CL_{50} CL_{80} e CL_{95}

A partir dos dados obtidos no ensaio em que foi avaliada a mortalidade das lagartas de primeiro ínstar, foi realizada a determinação das CL_{50} CL_{80} e CL_{95} , utilizando-se o software PoloPlus1.0[®].

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Rendimento e composição do óleo essencial

Por meio da análise cromatográfica, foi observada a presença de 10 compostos no óleo essencial, dos quais o geranial (50,81%) e o neral (40,28%) se configuram como compostos majoritário, formando juntos o citral (Tabela 1). Os demais compostos apresentam-se em concentrações inferiores a 3,0%. O rendimento, por meio do processo de hidrodestilação, foi de 9,44 mg de óleo essencial/g de matéria seca.

Tabela 1 – Composição do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*

Constituinte	RT	RI*	IA	Área (%)
5-Hepten-2-one, 6-methyl	8,756	989	985	2,52
D-Limonene	10,114	1029	1029	0,27
Verbenol	14,949	1167	1141	1,13
não identificado	15,338	1178	-	0,73
não identificado	15,587	1185	-	1,69
b-citral (Neral)	17,603	1243	1238	40,28
a-citral (Geranial)	18,626	1273	1267	50,81
Caryophyllene	23,510	1423	1408	0,90
γ Cadinene	26,440	1518	1513	1,00
não identificado	28,505	1589	-	0,67
Total identificado				96,91
Total não identificado				3,09

RT: Tempo de Retenção; RI: Índice de Retenção; IA: Índice de Adams

3.3.2 Efeito do óleo essencial sobre lagartas

O óleo essencial de *C. citratus*, quando misturado à dieta artificial de *S. frugiperda*, foi tóxico, provocando a morte dos insetos (Tabela 2). As diferentes concentrações do óleo resultaram em mortalidades que variaram de 2,0% (0,50 mg de óleo/g de dieta) à 92,0% (3,00 mg de óleo/g de dieta). Foi observado o aumento crescente na mortalidade, com o aumento das concentrações. A partir dos resultados obtidos cinco dias após a aplicação (DAA), foi possível distribuir os tratamentos em três grupos, com valores entre 2,0 e 6,0% (0,00; 0,50; 0,75 e 1,25 mg/g), 28,0 e 40,0% (1,50; 1,75 e 2,00 mg/g) e 80,0 e 92,0% (2,50; 2,75 e 3,00 mg/g) de mortalidade. Não houve diferença estatística na variação do efeito em função do tempo em todos os tratamentos. Os valores estimados das CL₅₀, CL₈₀ e CL₉₅ ($p < 0,05$) foram de 2,016 mg/g, 2,577 mg/g e 3,257 mg/g, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2 – Mortalidade acumulada (%) (mediana e média ± erro padrão) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* alimentadas com dieta artificial contendo diferentes concentrações (mg de óleo essencial/g de dieta) de óleo essencial de *Cymbopogon citratus*

Concentração (mg/g)	1DAA	3DAA	5DAA	Eficácia (%)
0,00	0,0c (0,0±0,0)	0,0de (2,0±2,0)	0,0e (2,00±2,00)	-
0,50	0,0c (0,0±0,0)	0,0e (0,0±0,0)	0,0e (2,00±2,00)	0,00
0,75	0,0c (2,0±2,0)	0,0de (2,0±2,0)	0,0de (6,00±4,00)	4,08
1,25	0,0c (2,0±2,0)	0,0cde (4,0±2,4)	10,0cde (6,00±2,45)	4,08
1,50	30,0ab (22,0±4,9)	30,0bcd (28,0±5,8)	30,0bcd (28,00±5,83)	26,53
1,75	10,0bc (10,0±3,2)	30,0bcde (26,0±6,8)	30,0bcde (28,00±7,35)	26,53
2,00	10,0bc (12,0±4,9)	40,0abc (36,0±7,5)	40,0abc (40,00±9,49)	38,78
2,75	80,0ab (71,8±8,5)	80,0ab (78,0±6,6)	80,0ab (80,00±7,07)	79,59
3,00	90,0a (88,0±7,3)	100,0a (92,0±5,8)	100,0a (92,00±5,83)	91,84
p	<0,01	<0,01	<0,01	-
H	33,80**	35,98**	35,03**	-

DAA = Dias após a aplicação

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam a média ± erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Tabela 3 – Estimativas de concentrações letais (mg/g) de óleo essencial de *Cymbopogon citratus* em dieta artificial sobre lagartas de *Spodoptera frugiperda*

Concentração Letal (IC 95%)	Concentração Estimada	Intervalo	Coefficiente Angular
CL ₅₀	2,016	1,779 - 2,269	
CL ₈₀	2,577	2,286 - 3,292	7,893
CL ₉₅	3,257	2,740 - 4,978	

Foi verificada a mortalidade das lagartas de primeiro ínstar de *S. frugiperda* com a aplicação do óleo essencial e do citral na CL₈₀, com valores de 98,33% e 96,67%, respectivamente, cinco dias após a aplicação (Tabela 4). O efeito causado pelo d-limoneno não diferiu do tratamento controle.

Tabela 4 – Mortalidade (%) (mediana e média \pm erro padrão) de lagartas de primeiro ínstar de *Spodoptera frugiperda* submetidas a dieta artificial contendo óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, citral e d-limoneno na CL₈₀ cinco dias após a aplicação

Tratamentos	Mediana da Mortalidade (média \pm erro padrão)
Controle	0,0b (1,67 \pm 1,67)
CL ₈₀ - Óleo essencial	100a (98,33 \pm 1,67)
CL ₈₀ - Citral	100a (96,67 \pm 3,33)
CL ₈₀ - D-Limoneno	0,0b (3,33 \pm 2,11)
p	<0,01
H	17,34**

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam a média \pm erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Os parâmetros biológicos foram avaliados apenas para as concentrações de 0,00 mg/g à 2,00 mg/g, devido à alta mortalidade nas demais concentrações até o final do desenvolvimento larval. O período larval foi afetado pelos diferentes tratamentos, sendo observado menor valor na testemunha (16,78 dias) (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros biológicos (mediana e média \pm erro padrão) de *Spodoptera frugiperda* alimentada com dieta artificial contendo diferentes concentrações do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*

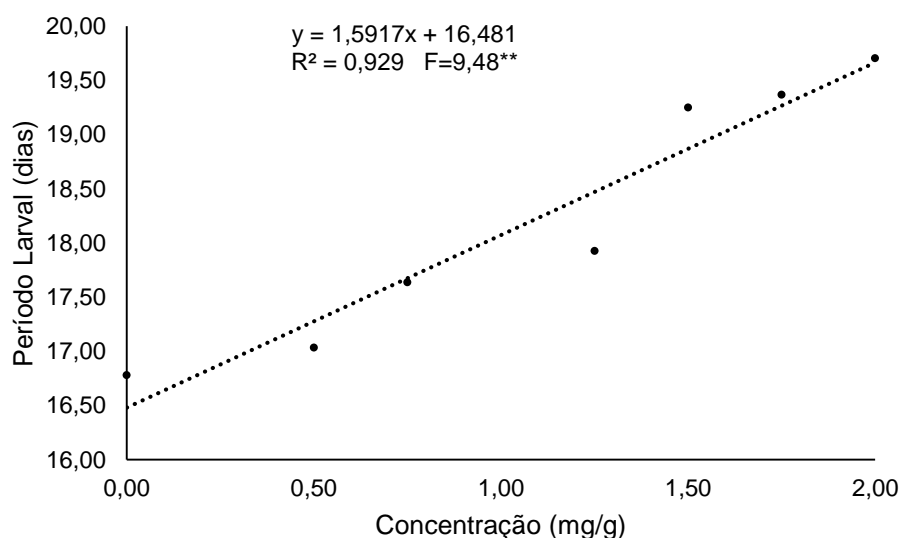
Concentração (mg/g)	Período Larval (dias)	Período Pupal (dias)	Peso de Pupa (mg)
0,00	16,4c (16,78 \pm 0,25)	9,92 \pm 0,13 ^{ns}	297,64 \pm 5,40 ^{ns}
0,50	17,0c (17,04 \pm 0,16)	9,59 \pm 0,11	294,21 \pm 3,27
0,75	17,6bc (17,64 \pm 0,21)	9,44 \pm 0,21	289,22 \pm 3,62
1,25	17,7abc (17,93 \pm 0,31)	10,29 \pm 0,42	294,47 \pm 4,12
1,50	19,0ab (19,25 \pm 0,65)	-	284,01 \pm 15,12
1,75	19,0ab (19,37 \pm 0,41)	9,49 \pm 0,32	291,10 \pm 5,60
2,00	19,7a (19,71 \pm 0,47)	9,27 \pm 0,19	291,72 \pm 7,52
p	<0,01	0,0846	0,9063
H	25,86**	9,61	2,14

Valores fora dos parênteses representam as medianas da mortalidade acumulada (%) e valores entre parênteses representam a média \pm erro padrão da mortalidade acumulada (%).

Medianas seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Os valores obtidos neste parâmetro biológico foram crescentes com o aumento das concentrações utilizadas na dieta artificial, sendo que o maior valor foi observado no tratamento em que foi adicionado 2,00 mg de óleo essencial/g de dieta, com um total de 19,71 dias. Foi realizada a análise de regressão e o modelo linear foi o que melhor se ajustou ao conjunto de dados ($R^2=92,90\%$; $F=9,48$; $p<0,01$) (Figura 1).

Figura 1 – Período larval de *Spodoptera frugiperda* em função de diferentes concentrações (mg de óleo essencial/g de dieta) de óleo essencial de *Cymbopogon citratus* misturados em dieta artificial



Para os parâmetros período pupal e peso de pupa não houve diferença significativa entre os tratamentos. O período pupal variou de 9,27 dias a 10,29 dias e o peso de pupa foi de 284,01mg à 297,64mg, sendo que o maior peso médio de pupas foi observado nos indivíduos alimentados com dieta sem óleo essencial.

Quando avaliado o efeito do óleo de *C. citratus* sobre os parasitoides de ovos, observou-se que um número menor de indivíduos da espécie *T. remus* morreu em relação à espécie *T. pretiosum*, aplicando-se as mesmas doses via fumigação. Além disso, *T. pretiosum* teve 100,0% dos indivíduos mortos nas primeiras 24 horas com a aplicação das concentrações de 0,5 $\mu\text{L/L}$, 0,7 $\mu\text{L/L}$ e 0,8 μL de óleo essencial/L de ar, ao passo que *T. remus* apresentou mortalidade máxima de 42,2% após cinco dias da aplicação (Tabela 6).

Tabela 6 – Mortalidade (médias \pm erro padrão) de inimigos naturais submetidos a diferentes concentração do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*

Tratamentos	<i>Telenomus remus</i> (5DAA)	<i>Trichogramma pretiosum</i> (1DAA)
Branco	0,00 \pm 0,00 c	6,00 \pm 4,00 B
Tween20	6,00 \pm 2,45 bc	4,00 \pm 2,45 B
0,3uL/L	16,00 \pm 7,48 abc	94,00 \pm 2,45 A
0,5uL/L	33,11 \pm 4,60 ab	100,00 \pm 0,00 A
0,7uL/L	38,54 \pm 7,33 a	100,00 \pm 0,00 A
0,8uL/L	42,22 \pm 12,86 a	100,00 \pm 0,00 A
CV (%)	70,08	7,17

3.4 DISCUSSÃO

Foram identificados sete compostos no óleo essencial de capim-limão, o que corresponde a 96,91% de sua composição. Geranial e neral, que juntos formam o citral, são os compostos majoritários (91,09%). Resultados similares foram obtidos por outros autores, que verificaram estes dois compostos em maior concentração no óleo essencial desta espécie botânica (KNAAK et al., 2013; KOBENAN et al., 2018; LIMA et al., 2008; MADI et al., 2020; OLIVERO-VERBEL; NERIO; STASHENKO, 2010). Contudo, a composição química de uma espécie pode ser afetada tanto quantitativa quanto qualitativamente, de acordo com uma diversidade de fatores a exemplo da localização geográfica e condições edafoclimáticas onde o material foi coletado, estação do ano, além de interferências biótica e abióticas, que podem ser caracterizadas pelo ataque de algum inseto-praga ou outro herbívoro ou até mesmo pela ausência ou excesso de precipitação pluviométrica, por exemplo (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MADI et al., 2020; MORAIS, 2009).

Por meio da aplicação em dieta artificial, as concentrações de 2,75 e 3,00 mg/g causaram, nas primeiras 24 horas, mortalidade a partir de 71,8%, evoluindo para valores entre 78,0% e 92,0%, 3 DAA. Ao final da observação (5 DAA), o percentual de indivíduos mortos variou de 80,0% a 92,0%. Não houve diferença entre os resultados obtidos nestas concentrações e na concentração de 2,00mg/g aos 5 DAA (40,0%). Considerando os danos que a praga pode ocasionar às

culturas agrícolas, quanto mais efetivo for seu controle, menores serão as perdas na produtividade. Dessa forma, os resultados obtidos com as doses de 2,75 e 3,00 mg/g são mais satisfatórios do ponto de vista agrônomo que aquele obtido à 2,00mg/g. As baixas concentrações do óleo essencial de *C. citratus* necessárias para reduzir a população de *S. frugiperda* indicam que esta espécie botânica é promissora no controle da lagarta-do-cartucho. A alta atividade inseticida observada no óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* (Steud.) Wats, que também é rica em citral, sobre *S. frugiperda* sugere a existência de uma sensibilidade do inseto pelos compostos presentes nestas plantas (OLIVEIRA et al., 2018). A alta mortalidade observada a partir das primeiras 24 horas pode ser um indicativo da ação dos constituintes do óleo no sistema nervoso central dos insetos. Estas informações complementam outros estudos com plantas do gênero *Cymbopogon*, principalmente *C. citratus*, *C. flexuosus*, *Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats, *Cymbopogon nardus* L. e *Cymbopogon winterianus* Jowitt sobre *S. frugiperda* e outras espécies de insetos-praga (BARBOSA et al., 2018; HERNANDEZ-LAMBRAÑO et al., 2015; KOBENAN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018).

As concentrações letais observadas neste estudo estão dentro das faixas de valores encontradas por outros autores, com diferentes óleos essenciais sobre *S. frugiperda* (CRUZ et al., 2016; LIMA et al., 2009; NEGRINI et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2018). Cruz et al. (2016), ao realizar aplicação tópica dos óleos essenciais de *Foeniculum vulgare* (Apiaceae), *Eucaliptus staigeriana* (Myrtaceae) e *Ocimum gratissimum* (Lamiaceae) em lagartas de terceiro ínstar, chegaram à DL₅₀ (dose letal para 50% da população) de 5,04, 3,20 e 1,52 mg/g de inseto, respectivamente.

A aplicação do óleo essencial, do composto majoritário citral e do d-limoneno, confirma a atividade do citral sobre os insetos, com 96,65% de mortalidade aos 5 DAA. O d-limoneno, embora relatado com atividade inseticida (MARTINS et al., 2017; SÁNCHEZ-CHOPA; DESCAMPS, 2017), no óleo essencial do capim-limão é considerado um constituinte minoritário, compondo apenas 0,27% do óleo, o que justifica os resultados obtidos no presente trabalho, com baixo efeito sobre a praga. Estudo avaliando a atividade inseticida da espécie *C. flexuosus* (77,24% de citral) e do citral, seu constituinte majoritário, concluiu pelo alto potencial inseticida de ambos, devido aos valores das concentrações

letais serem compatíveis com os de inseticidas botânicos promissores (OLIVEIRA et al., 2018).

Além dos efeitos diretos na mortalidade dos insetos, as diferentes concentrações do óleo essencial provocaram efeitos negativos no desenvolvimento larval, aumentando o período até a formação das pupas (Tabela 4). Lagartas tratadas com dieta artificial sem a presença de óleos essenciais apresentaram menor tempo para o desenvolvimento e os resultados diferiram daqueles obtidos nas concentrações de 1,50, 1,75 e 2,00mg/g. O aumento no período larval reduz o número de gerações que a praga pode obter ao ano, além de expor as lagartas por mais tempo a ação de agentes de controle biológico. O aumento no período larval expõe por mais tempo as lagartas à ação de inimigos naturais, macro e microbiológicos, o que é um efeito interessante do ponto de vista do manejo da praga. Apesar do maior tempo permanecido na fase larval, as lagartas alimentadas com dieta contendo óleo essencial, ao passarem para a fase de pupa, não apresentaram maiores pesos em relação ao controle e não houve diferença entre os tratamentos. O peso de pupa poderia indicar um maior consumo alimentar, o que não foi observado neste estudo. Essa constatação é importante uma vez que são as lagartas, por meio da alimentação, que provocam injúrias às plantas.

A diversidade de substâncias presentes em óleos essenciais com características bioativas dificulta o processo de desintoxicação pelos insetos, diminuindo os casos de indivíduos resistentes. Associado a isso, sabe-se que *Spodoptera frugiperda* é um inseto-praga com registro de 146 casos de populações resistentes a inseticidas no mundo (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021). Esta característica aumenta o interesse pelo estudo de plantas com potencial inseticida ou insetistático, disponibilizando mais uma ferramenta assertiva para auxiliar no manejo integrado da praga e no manejo de resistência da lagarta-do-cartucho a inseticidas.

Adultos da espécie *Trichogramma pretiosum*, amplamente utilizada em ensaios de seletividade de produtos fitossanitários a inimigos naturais (FELTRIN-CAMPOS et al., 2019; PAZINI et al., 2016; RAMPELOTTI-FERREIRA et al., 2017), foram afetados significativamente pelos voláteis de *C. citratus* (Figura 6). A alta mortalidade deste inimigo natural, mesmo quando expostos à menor concentração (3,0 µL de óleo essencial/L de ar), revelam sua sensibilidade aos constituintes do

óleo essencial. Este resultado sugere maior cuidado na utilização das duas ferramentas de forma integrada, respeitando o intervalo temporal entre a liberação de *T. pretiosum* e a aplicação do inseticida botânico. Distintamente, adultos da espécie *Telenomus remus* mostraram-se menos sensíveis à ação do óleo essencial, com mortalidade máxima de 38,0%. A maior mortalidade de *T. pretiosum* comparada à de *T. remus*, contudo, depende da espécie botânica testada. Um estudo avaliando o efeito de extratos etanólicos de espécies da família Asteraceae sobre estes dois inimigos naturais mostrou que, das 12 espécies botânicas testadas, 10 não apresentaram diferença na mortalidade e em duas a mortalidade de *T. remus* foi superior à de *T. pretiosum* (TAVARES et al., 2009). O efeito tóxico do óleo essencial de *C. citratus* sobre agentes de controle biológico foi observado em outros estudos com as espécies-alvo *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) (BRÜGGER, 2019) e *Uscana lariophaga* (Steffan) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (BOEKE et al., 2003). Conhecer o comportamento do inimigo natural frente aos inseticidas botânicos é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo da praga, como a promoção da seletividade ecológica. Dessa forma, as diferentes táticas são posicionadas em períodos distintos, para que os agentes de controle biológico não entrem em contato com os compostos dos inseticidas botânicos.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou o potencial do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* como inseticida botânico sobre lagartas da espécie *Spodoptera frugiperda*. Além disso, os resultados obtidos mostram que, apesar de ser possível realizar a integração dos inseticidas botânicos com a tática do controle biológico, estas duas ferramentas devem ser posicionadas em momentos distintos, preservando a integridade dos agentes de controle biológico. Necessita-se, contudo, o desenvolvimento de novos estudos buscando elucidar o comportamento do óleo essencial de *C. citratus* sobre *S. frugiperda* em condição de semi campo e campo.

REFERÊNCIAS

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

BARBOSA, M. S. et al. Applying plant oils to control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.4, p.557-562, 2018.

BERNARDI, D. et al. Biological activity of Bt proteins expressed in diferente structures of transgenic corn against *Spodoptera frugiperda*. **Ciência Rural**, v.46, n.6, p.1019-1024, 2016.

BLANK, A. F. et al. Produção de mudas de capim-limão em diferentes recipientes e substratos. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.4, p.515-519, 2009.

BOEKE, S. J. et al. Side-effects of cowpea treatment with botanical insecticides on two parasitoids of *Callosobruchus maculatus*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.108, n.1, p.43-51, 2003.

BRÜGGER, B. P. et al. Bioactivity of the *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoid constituents on the predatory bug, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Scientific Reports**, v.9, n.1, p.1-8, 2019.

BUENO, R. C. O. F. et al. Biology and thermal requirements of *Telenomus remus* reared on fall armyworm *Spodoptera frugiperda* eggs. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p.1-6, 2008.

BUENO, R. C. O. F. et al. Integrated management of soybean pests: the example of Brazil. **Outlooks on Pest Management**, v.28, n.4, p.149-153, 2017.

BUENO, R. C. O. F., PARRA, J. R. P., BUENO, A. F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatilis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, 60, 154-162, 2012.

CHAKIRA, H. et al. Repellency of essential oils against *Nephotettix cincticeps*: Laboratory and glasshouse assays. **Journal of Applied Entomology**, v.141, p.708-720, 2017.

CLERICI, D. J. et al. Effects of nanostructured essential oils against subterranean termites (*Coptotermes gestroi*). **Journal of Applied Entomology**, v.142, p.406-412, 2018.

CRUZ, G. S. et al. Sublethal Effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales: Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales: Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, p.1-7, 2016.

DI RIENZO, J. A., et al. InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL: <http://www.infostat.com.ar>

FAO. First detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in Torres Strait. FAO: Rome, Italy; Available online: <https://www.ippc.int/en/countries/australia/pestreports/2020/02/first-detection-of-spodoptera-frugiperda-fall-armyworm-in-torres-strait/> (accessed on 07 February 2020).

FAO. First Detection of Fall Armyworm in China; FAO: Rome, Italy; Available online: <https://www.ippc.int/fr/news/first-detection-of-fall-armyworm-in-china/> (accessed on 29 January 2019).

FELTRIN-CAMPOS, E. et al. Selectivity of insecticides against adult *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on cassava. **Journal of Agriculture Science**, v.11, p.546-552, 2019.

GOBBO-NETO, L., LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v.30, n.2, p.374-381, 2007.

GOERGEN, G. et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **Plos One**, v.11, n.10, p.1-9, 2016.

GONÇALVES, G. L. P. et al. Compounds from *Duguetia lanceolata* St.- Hil. (Annonaceae) bioactive against *Zabrotes subfasciatus* (Bohemian) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). **Industrial Crops and Products**, v.97, p.360-367, 2017.

GOULART, M. M. P. et al. Host preference of the egg parasitoids *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum* in laboratory. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.55, n.1, p.129-133, 2011.

HERNANDEZ-LAMBRAÑO, R. et al. Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests. **Journal of Stored Products Research**, v.62, p.81-83, 2015.

HUSSEIN, H. S., SALEM, M. Z. M., SOLIMAN, A. M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialeurodes ricini*. **Scientia Horticulturae**, v.216, p.111-119, 2017.

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

ISMAN, M. B. Bridging the gap: Moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. **Industrial Crops & Products**, v.110, p.10-14, 2017.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century - Fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v.65, n.1, p.233-249, 2019.

KABERA, J. et al. Insecticidal effects of essential oils of *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon citratus* on *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **African Journal of Food Science**, v.5,n.6, p.366-375, 2011.

KNAAK, N., et al. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v.6, n.1, p.49-53, 2013.

KOBENAN, K. C. et al. Essential oils of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Cymbopogon nardus* L. and *Citrus* sp: Insecticidal activity on the Pink Bollworm *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera; Gelechiidae) and prospects for cottonpest management in Côte d'Ivoire. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v.24, n.1, p.389-397, 2018.

LIAO, M., et al. Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of *Melaleuca alternifolia* essential oil on the *Helicoverpa armigera*. **Journal of Applied Entomology**, v.141, p.721-728, 2017.

LIMA, R. K. et al. Composição dos óleos essenciais de anis-estrelado *Illicium verum* L. e de capim-limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: avaliação do efeito repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). **BioAssay**, v.3, n.8, p.1-6, 2008.

LIMA, R. K. et al. Atividade inseticida do óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) sobre lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Acta Amazonica**, v.39, n.2, p.377-382, 2009.

MADI, Y. F. et al. Essential oil of *Cymbopogon citratus* cultivated in Egypt: seasonal variation in chemical composition and anticholinesterase activity. **Natural Product Research**, p.1-5, 2020.

MARTINS, G. S. O. et al. Chemical composition and toxicity of *Citrus* essential oils on *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Revista Caatinga**, v.30, n.3, p.811-817, 2017.

MONTEZANO, D. G. et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v.26, n.2, p.286-300, 2018.

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.2, 2009.

MOTA-SANCHEZ, D., WISE, J. C. **The Arthropod Pesticide Resistance Database**. Michigan State University, 2021. On-line at: <http://www.pesticideresistance.org>

NEGRINI, M. et al. Insecticidal activity of essential oils in controlling fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.86, p.1-9, 2019.

OLIVEIRA, E. R. et al. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.4, p.408-419, 2018.

OLIVERO-VERBEL, J., NERIO, L. S., STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v.66, p.664-668, 2010.

PARRA, J. R. P., COELHO JUNIOR, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v.19, n.2, p.1-6, 2019.

PAVELA, R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a Review. **Plant Protection Science**, v.52, n.4, p.229-241, 2016.

PAVELA, R. et al. Chemical profiles and insecticidal efficacy of the essential oils from four *Thymus* taxa growing in central-southern Italy. **Industrial Crops & Products**, v.138, p.1-15, 2019.

PAZINI, J. B. et al. Selectivity of pesticides used in rice crop on *Telenomus podisi* and *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.46, n.3, p.327-335, 2016.

RAMPELOTTI-FERREIRA, F. T. et al. Selectivity of plant extracts for *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym.: Trichogrammatidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.138, p.78-82, 2017.

SALAMI, O. S., OLUFEMI-SALAMI, F. K. Lemon grass (*Cymbopogon citratus* Stapf) methanol and ethanol extracts, a repellent with less insecticidal effect on maize weevils (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) infesting maize (*Zea mays*) grains. **Plant Gene and Trait**, v.8, n.5, p.56-60, 2017.

SÁNCHEZ-CHOPA, C., DESCAMPS, L. R. Efectividad de aceites esenciales y monoterpenos em el control de *Tribolium castaneus* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Entomología Mexicana**, v.4, p.167-173, 2017.

SOUZA, J. R. et al. Impact of insecticides used to control *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in corn on survival, sex ratio, and reproduction of *Trichogramma pretiosum* Riley offspring. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, n.2, p.122-127, 2013.

TAVARES, W. S. et al. Potential use of Asteraceae extracts to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and selectivity to their parasitoids *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae). **Industrial Crops and Products**, v.30, n.3, p.384-388, 2009.

UWAMOSE, M. O., NMOR, J. C., OKULOGBO, B. C., AKE, J. E. Toxicity of lemon grass *Cymbopogon citratus* powder and methanol extract against rice weevil *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Coastal Life Medicine**, v.5, n.3, p.99-103, 2017.

CAPITULO 4 - ATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Bemisia tabaci* (GENNADIUS) BIÓTIPO B (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE)

João Pedro de Andrade Bomfim; Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

RESUMO

Bemisia tabaci Biótipo B é um inseto-praga de relevância mundial, com ampla distribuição geográfica e diversidade de hospedeiros, além de se caracterizar como inseto vetor, o que aumenta sua importância no cenário agrícola. Seu controle é baseado, principalmente, na utilização de inseticidas sintéticos, contudo, com a pressão de seleção exercida pelos produtos fitossanitários, os casos de populações da praga resistentes às moléculas inseticidas chega a 664 em todo o mundo. Na busca de soluções assertivas, de menor impacto ao ambiente e com menor taxa de resíduos nos alimentos, estudos visando avaliar a atividade de compostos de plantas sobre insetos-praga têm sido mais frequentes. Desta forma, o presente estudo tem por objetivo avaliar a atividade de óleos essenciais de diferentes espécies botânicas sobre *B. tabaci*. Foram extraídos, pelo processo de hidrodestilação, óleos essenciais das espécies *Syzygium aromaticum*, *Cymbopogon citratus*, *Callistemon* sp., *Baccharis dracunculifolia*, *Schinus terebinthifolius* e *Cordia verbenacea*. Avaliou-se o efeito sobre ovo, ninfa e adulto, e efeito repelente e deterrente de oviposição em adultos. Os óleos foram aplicados à 1,0% de concentração. Para ovo e ninfa, adultos foram confinados em mini gaiolas aderidas a folíolos de tomateiro, por 24 horas para a oviposição. Após este período, os adultos foram retirados, os ovos contados e realizada a imersão do folíolo em cada solução contendo os óleos. Para o efeito sobre ninfas, foi esperado o desenvolvimento do inseto até o segundo ínstar e procedida a pulverização, com aerógrafo (10 psi de pressão). Para avaliar o efeito sobre adultos, estes foram levados a refrigerador à -20°C por 30 segundos, para reduzir a atividade locomotora e então foi procedida a pulverização com aerógrafo (10 psi de pressão). Para repelência e deterrência de oviposição, foi procedida a pulverização de plantas de tomate e liberados adultos de *B. tabaci* e em seguida realizou-se contagem do número de adultos e número de ovos em cada planta. Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento. Os dados foram analisados quanto a normalidade e realizado o teste Tukey ($p < 0,05$) para comparação de médias. Os óleos essenciais de *S. aromaticum* e de *C. citratus* foram os tratamentos que causaram as maiores mortalidades em todas os bioensaios, e que apresentaram maior atividade de repelência e de deterrência de oviposição. Os resultados do presente estudo indicam que *S. aromaticum* e *C. citratus* são promissoras para o manejo de *B. tabaci*, uma vez que a praga mostrou-se sensível a seus compostos.

Palavras-chave: Plantas inseticidas. Manejo Integrado de Pragas. Mosca-branca.

ABSTRACT

Bemisia tabaci B Biotype is a globally important pest insect, which is widely distributed on many host plant species, additionally to its virus transmission potential, which increases its importance in the agricultural scenario. Its control is mainly based on synthetic insecticides application, however, considering the selection pressure caused by the chemicals spraying, the cases of pest populations resistant to insecticidal molecules have reached 664 worldwide. In order to get assertive solutions that have less impact on the environment and with less residues in food, studies aiming to evaluate the activity of plant compounds on pest insects have been often conducted. Thus, the present study aims to evaluate the activity of essential oils of different botanical species on *B. tabaci*. Essential oils of the species *Syzygium aromaticum*, *Cymbopogon citratus*, *Callistemon* sp., *Baccharis dracunculifolia*, *Schinus terebinthifolius* and *Cordia verbenacea* were extracted by hydrodistillation process. The effect on egg, nymph and adult was evaluated, as well as the repellent and deterrent effect of oviposition in adults. The oils were applied at 1.0% concentration. For egg and nymph, adults were confined in clip cages attached to tomato leaflets during 24 hours for oviposition. After that, the adults were removed and the eggs were counted, followed by the leaflet immersion on each solution containing the oils. For nymphs' trials, after letting them to develop until the second instar, the application was performed with an airbrush (10 psi). For adults, spraying with an airbrush was carried out. For repellency and oviposition deterrence, tomato plants were sprayed and *B. tabaci* adults were released. Number of adults and eggs were counted. The experiments were installed in a completely randomized design, with five replicates per treatment. The data were analyzed for normality and the Tukey test ($p < 0.05$) was performed to compare means. *S. aromaticum* and *C. citratus* oils caused high mortality in all bioassays, additionally to the higher values of repellency and oviposition deterrence. Our findings indicated that these two plant species are promising for the management of *B. tabaci*, once the pest was sensitive to these compounds.

Keywords: Insecticidal plants. Integrated pest management. Whitefly.

4.1 INTRODUÇÃO

Bemisia tabaci (Gennadius) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae), popularmente conhecida como mosca-branca, é um importante inseto-praga na agricultura mundial (LACERDA; CARVALHO, 2008), principalmente por ser um inseto vetor de vírus fitopatogênicos (QUINTELA et al., 2016; VILLAS BÔAS; FRANÇA; MACEDO, 2002). Além da transmissão de vírus, *B. tabaci* provoca outros danos às culturas agrícolas. Danos diretos, que estão relacionados à alimentação de ninfas e adultos, que succionam seiva do floema da planta-alvo, debilitando-a (QUINTELA et al., 2016). E danos indiretos, como a liberação do *honeydew* no processo alimentar, que é uma substância açucarada que favorece o desenvolvimento do fungo *Capnodium* spp., causador da fumagina, diminuindo o potencial fotossintético das plantas infestadas (CARVALHO et al., 2015; LACERDA; CARVALHO, 2008; VIEIRA et al., 2016; VILLAS BÔAS; FRANÇA; MACEDO, 2002). Outras características como comportamento polífago, hábito cosmopolita e rápida seleção de populações resistentes às moléculas inseticidas fazem da mosca-branca uma das principais pragas em todo o mundo. Atualmente existem 664 casos de populações de *B. tabaci* resistentes em todo o mundo (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021).

Dentre as espécies hospedeiras deste inseto, destacam-se aquelas pertencentes às famílias Brassicaceae, Cucurbitaceae, Euforbiaceae, Fabaceae, Malvaceae e Solanaceae (HAJI et al., 2004; SOUZA et al., 2016; TOSCANO et al., 2016), o que configura *B. tabaci* como sério problema fitossanitário na horticultura.

O principal método de controle de *B. tabaci* é o químico, com a aplicação de inseticidas sintéticos. Contudo, diversos fatores dificultam o manejo de mosca-branca, entre eles o hábito de ovos, ninfas e adultos estarem localizados na face abaxial das folhas, prejudicando a eficácia dos produtos fitossanitários. Outro fator importante são os, anteriormente citados, casos de populações resistentes às moléculas inseticidas (CARVALHO; BORTOLOTTI; VENTURA, 2016; MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021). Associado a isto, há uma demanda por produtos fitossanitários de baixo impacto ambiental e de baixo resíduo, principalmente na produção de hortaliças que, comumente são consumidas *in natura*. Como uma alternativa ao uso de produtos sintéticos, pesquisas têm sido desenvolvidas visando conhecer o efeito de produtos à base de plantas para utilização no manejo

integrado dessa praga (BALDIN et al., 2007; BALDIN et al., 2014; CARVALHO et al., 2015; DU et al., 2016; HUSSEIN; SALEM; SOLIMAN, 2017).

Os óleos essenciais, conjunto de compostos oriundos do metabolismo secundário das plantas, formados principalmente por monoterpenos e sesquiterpenos, vêm sendo estudados por conterem de forma concentrada muitos compostos que podem apresentar atividade sobre insetos. Espécies como *Syzygium aromaticum* (Myrtaceae) e *Cymbopogon citratus* (Poaceae), por exemplo, têm sido foco de estudos científicos por suas propriedades inseticida e insetistática, causando efeitos na mortalidade, repelência, deterrência alimentar e de oviposição, entre outros, em distintos grupos de pragas (JAIROCE et al., 2016; KABERA et al., 2011; KNAAK et al., 2013; KOBENAN et al., 2018; SOARES et al., 2011). Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito dos óleos essenciais de *S. aromaticum*, *C. citratus*, *Cordia verbenaceae* (Boraginaceae), *Callistemon* sp. (Myrtaceae), *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) e *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) sobre *B. tabaci*.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Criação de *Bemisia tabaci*

Os insetos utilizados nos bioensaios foram obtidos a partir de criação mantida no laboratório do Grupo de Pesquisa em Manejo Integrado de Pragas na Agricultura (AGRIMIP), do Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Botucatu – São Paulo. Adultos de mosca-branca, provenientes do campo, onde infestavam plantas de soja (*Glycine max* – Fabaceae), foram coletados, trazidos e são mantidos em plantas de couve (*Brassica oleraceae* – Brassicaceae), em sala climatizada à $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, $65\pm 5\%$ de umidade relativa e fotofase de 12 horas, onde realizam todo o desenvolvimento.

4.2.2 Coleta do material vegetal e extração do óleo essencial

As espécies vegetais *Cymbopogon citratus*, *Schinus terebinthifolius*, *Cordia verbenacea*, *Baccharis dracunculifolia* e *Callistemon* sp. foram colhidas na

Fazenda Experimental Lageado, da FCA/UNESP-Botucatu (22°50'34,27" S, 48°25'58,05" O) e para a extração dos óleos essenciais foram utilizadas as folhas. As estruturas da espécie *S. aromaticum* utilizada na extração foram os pedúnculos, adquiridos secos, diretamente de produtor rural do município de Ituberá (13°43'57,63" S, 39°8'56,24" O), Região Baixo-Sul da Bahia – Brasil. Foram montadas exsicatas e depositadas no Herbário “Irina Delanova Gemtchújnicov”, do Instituto de Biociências, da UNESP – Botucatu – São Paulo / Brasil (Tabela 1).

Tabela 8 – Espécies vegetais, famílias botânicas, estruturas utilizadas e número do voucher de depósito no Herbário “Irina Delanova Gemtchújnicov”, do Instituto de Biociências, da UNESP – Botucatu – São Paulo / Brasil

Espécie	Família	Estrutura Utilizada	Voucher (nº)
<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	Folha	34516
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Anarcadiaceae	Folha	34518
<i>Cordia verbenacea</i>	Boraginaceae	Folha	34520
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Asteraceae	Folha	34521
<i>Callistemon sp.</i>	Myrtaceae	Folha	34522
<i>Syzygium aromaticum</i>	Myrtaceae	Pedúnculo	-

As folhas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e secas em estufa com ventilação forçada de ar à 40°C, por 48 horas. Para a extração do óleo essencial, 100 g de material de cada espécie vegetal seca (folhas ou pedúnculo) foram levados à balão de vidro (2 L) contendo 1 L de água deionizada, acondicionado em manta térmica para a fervura e acoplado ao aparelho tipo Clevenger modificado para ocorrer a extração e condensação do óleo essencial. O sistema de extração permaneceu ligado por duas horas e meia e, após esse período, o óleo essencial extraído foi coletado, vertido em frasco de vidro âmbar, e armazenado à -20°C até o momento de sua utilização nos bioensaios.

4.2.3 Determinação do perfil químico do óleo essencial

A avaliação do perfil químico dos óleos essenciais foi realizada no Laboratório de Química Orgânica de Produtos Naturais do Departamento de

Química da Universidade Federal de São Carlos – SP. As análises foram feitas em um sistema de Cromatografia a gás acoplado a Espectrômetro de Massas Sequencial (CG-EM/EM), equipado com auto-injetor (Combi PAL AOC-5000 Shimadzu), coluna Restek Rtx-5ms (30m x 0,250 mm x 0,25 µm) fundida com sílica e Espectrômetro de Massas Sequencial (MSTQ8030 Shimadzu). As amostras foram analisadas em modo *full scan* e injetadas a uma concentração de 10,0 µg/mL em uma rampa de aquecimento de 50°C a 120°C por 15,0 min, e de 120°C a 210°C com variação de temperatura de 2 °C/min em fluxo de 1,0 mL/min. O gás Hélio foi utilizado como gás de arraste, a razão de fracionamento foi de 50,0; a temperatura do forno da coluna foi de 50°C, temperatura de injeção de 250°C, volume de injeção de 1,0µL, pressão de 62,7 kPa, velocidade linear de 36,3 cm/seg e fluxo de purga de 5mL/min. Para a análise dos dados de separação e seus tratamentos, utilizou-se o Software GCMS Real Time Analysis® e a identificação das substâncias presentes nas amostras foi realizada através do reconhecimento dos espectros obtidos comparados à biblioteca de espectros de massa - NIST e literatura específica (ADAMS, 2017).

4.2.4 Efeito dos óleos essenciais em ovos de *Bemisia tabaci*

Ovos de *B. tabaci* foram obtidos colocando-se cinco casais adultos em mini gaiola do tipo “clipcage”, confeccionadas com tubo plástico (1,5cm de diâmetro x 1cm de altura) e fixadas nos folíolos dos tomateiros (Figura 1). Utilizou-se tomateiros variedade “Santa Clara” com 30 dias após a emergência, que serviram de substrato de oviposição. Após 24 horas de exposição, as “clipcages” e os adultos foram retirados, os folíolos destacados e observados em microscópio-estereoscópio.

Figura 1 – Mini gaiola do tipo “clipcage” para confinamento de adultos de *Bemisia tabaci*



Foto: João Pedro de Andrade Bomfim - 2020

Os folíolos que apresentaram no mínimo 30 ovos foram submetidos à aplicação via imersão, durante cinco segundos na solução à 1,0% de concentração, contendo os óleos essenciais. Foram mantidos à temperatura ambiente para propiciar a secagem do excesso da solução e, em seguida, foram acondicionados individualmente em placa de Petri forrada com papel-filtro umedecido. Na extremidade do pecíolo foi adicionado algodão hidrófilo umedecido com água destilada para manter a turgescência do tecido vegetal. Após oito dias da aplicação dos tratamentos, os folíolos foram avaliados, contado o número de ninfas eclodidas e calculado o efeito ovicida. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos: cinco óleos essenciais; um inseticida sintético; solução de água + Tween20® (0,5%); controle com água. Cada tratamento foi composto por cinco repetições e cada folíolo pulverizado consistiu uma repetição.

4.2.5 Efeito inseticida em ninfas de *Bemisia tabaci*

As ninfas foram obtidas conforme metodologia utilizada para a obtenção de ovos, descrita no item anterior (4.2.4). Após a mudança do primeiro para o segundo ínstar, os folíolos foram examinados em microscópio estereoscópico e mantidas 20 ninfas por folíolo. Em seguida, foi procedida a pulverização dos folíolos, por meio de um aerógrafo à pressão de 10 psi, com soluções contendo cada óleo essencial à 1,0% de concentração, além de inseticida sintético (controle positivo), solução de água + Tween20® (0,5%), até o ponto de escorrimento na superfície do folíolo. Após a aplicação dos tratamentos, foi acompanhado o desenvolvimento das ninfas até atingirem o quarto ínstar. Foram consideradas mortas aquelas ninfas que não atingiram o quarto ínstar, sendo que para isto foi levado em consideração o desenvolvimento dos insetos na testemunha.

4.2.6 Efeito inseticida sobre adultos de *Bemisia tabaci*

Adultos com até 24 horas de emergência foram coletados e acondicionados em placas de Petri acrílicas (9 cm de diâmetro), levados à refrigerador à -20°C por 30 segundos, para redução da atividade motora. Após este período, foram levados à câmara de pulverização (tubo de PVC com 20cm de diâmetro x 50 cm de altura) e, por meio de um aerógrafo (pressão de trabalho de 10 psi) posicionado centralizado na extremidade superior de estrutura cilíndrica, foi procedida a pulverização dos diferentes tratamentos, com volume de calda equivalente à 250 L/ha. Após a pulverização, os adultos foram transferidos com pincel de cerdas finas para folíolos de tomateiro, fixados previamente em espuma floral, dentro de tubos de vidro de fundo chato (2 cm de diâmetro x 8 cm de altura). Os tubos tiveram a abertura fechada com tecido preto, para facilitar a visualização dos insetos. O experimento foi formado por nove tratamentos: seis óleos essenciais; três testemunhas (insetos sem passar por refrigeração e sem pulverização; insetos refrigerados sem pulverização; insetos refrigerados e pulverizados com água) e cinco repetições. Cada tubo de vidro contendo 10 adultos foi considerada uma repetição. Foi realizada a contagem de insetos mortos a cada 24 horas, durante três dias, calculada a mortalidade e determinada a eficácia dos óleos essenciais (ABBOTT, 1925).

4.2.7 Efeito de repelência sobre adultos de *Bemisia tabaci*

Plantas de tomate com 10 dias após a emergência foram acondicionadas em copos plásticos (200 mL) e pulverizadas, por meio de um aerógrafo (pressão de trabalho de 10 psi) com os diferentes óleos essenciais, até o ponto de escorrimento na superfície foliar. Os óleos essenciais das seis espécies vegetais foram testados à concentração 1,0 %, em solução aquosa contendo Tween 20[®] (0,5%). Como controle, foi pulverizada apenas a solução aquosa de Tween 20 (BALDIN et al., 2012). Após a pulverização as plantas foram deixadas à temperatura ambiente, para secagem da superfície. Em seguida, os copos com as plantas tratadas foram dispostos no interior de gaiola (1,0 m largura x 1,0 comprimento m x 0,6 m altura) com tela anti-afídeo, em esquema de arena, distribuídos ao acaso, com distância de 25 cm entre cada tratamento. No centro da arena foram liberados 700 adultos não-sexados (média de 100 adultos/tratamento). Cada gaiola representou uma repetição, e foram utilizadas cinco um total repetições.

O número de insetos atraídos por folha em cada tratamento foi verificado 3, 6, 12 e 24 horas após o início do bioensaio, por meio da utilização de um espelho. O índice de repelência foi calculado por meio da fórmula $R_I = 2T/(T+C)$, onde T é o número de insetos atraídos na folha tratada, e C é o número de insetos atraídos no controle (BALDIN et al., 2012; BALDIN; LARA, 2001; BALDIN; VENDRAMIM; LOURENÇÃO, 2005; LIN; KOGAN; FISCHER, 1990; SCHILICK-SOUZA; BALDIN; LOURENÇÃO, 2011). Valores de $R_I < 1$ indicou repelência, valores de $R_I > 1$ indicou atratividade.

4.2.8 Efeito de deterrência de oviposição de *Bemisia tabaci*

Após a última contagem dos adultos do bioensaio de repelência, as folhas foram encaminhadas ao laboratório e examinados em microscópio estereoscópico, realizando-se a contagem de ovos presentes na face abaxial do folíolo. A deterrência na oviposição foi avaliada por meio do Índice de Deterrência de Oviposição (IDO), utilizando-se a equação $IDO = [(T-C)/(T+C)] \times 100$, onde T é o número de ovos contidos nos folíolos tratados, e C é o número de ovos contidos no folíolo controle. Os valores do IDO variaram de +100 (Muito atrativo) à -100

(Deterrência completa) (BALDIN et al., 2012; BALDIN; VENDRAMIM; LOURENÇÃO, 2005; SCHILICK-SOUZA; BALDIN; LOURENÇÃO, 2011).

4.2.9 Análise estatística

Em todos os bioensaios onde ocorreu mortalidade no tratamento controle foi realizado o cálculo da eficácia dos óleos essenciais aplicados (ABBOTT, 1925). Todos os dados de mortalidade foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e para os dados com distribuição normal, foi realizada análise de variância e o teste Tukey para comparação de médias ($p < 0,05$). Os dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis. As análises foram realizadas por meio do software estatístico InfoStat.

4.3 RESULTADOS

O óleo essencial de *C. citratus* apresentou os melhores resultados na inibição da eclosão de ninfas de *B. tabaci*, com 100,0% de mortalidade dos ovos, mesmo valor obtido por meio da aplicação do inseticida sintético à base de acetamiprido e piriprofixem (Tabela 2). A segunda maior mortalidade foi obtida pela aplicação do óleo essencial de *S. aromaticum* (55,5%). Os demais tratamentos causaram redução na eclosão de ninfas inferiores à 25,0%.

Tabela 2 – Efeito ovicida (média \pm erro padrão) de óleos essenciais de diferentes espécies vegetais sobre de *Bemisia tabaci*

Tratamento	Efeito ovicida (%)	Eficácia (%) ¹
<i>Syzygium aromaticum</i>	55,5 \pm 2,76 B	51,4
<i>Bacharis dracunculifolia</i>	19,5 \pm 2,9 Cd	12,1
<i>Callistemon sp.</i>	22,6 \pm 3,9 C	15,6
<i>Cordia verbenacea</i>	11,9 \pm 6,0 Cd	3,9
<i>Cymbopogon citratus</i>	100,0 \pm 0,0 A	100,0
Tween20	8,1 \pm 2,3 D	0,0
Acetamiprido + Piriprofixem	100,0 \pm 0,0 A	100,0
Controle (Água destilada)	8,3 \pm 1,6 D	-
CV (%)	16,91	
Fcal	164,7**	

¹Eficácia calculada de acordo com fórmula proposta por Abbott (1925).

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Quando avaliado o efeito sobre ninfas, os óleos essenciais de *S. aromaticum*, *C. citratus*, *B. dracunculifolia* e *S. terebinthifolius* provocaram mortalidade em mais de 90,0% das ninfas de segundo ínstar expostas aos produtos e não diferiram do valor obtido por meio da aplicação do inseticida sintético (Tabela 3). No controle, onde foi pulverizado apenas água, observou-se eclosão de 99,3% de ninfas.

Tabela 3 – Mortalidade (média ± erro padrão) de ninfas de *Bemisia tabaci* submetidas à pulverização com óleo essencial de diferentes espécies vegetais

Tratamentos	Mortalidade (%)	Eficácia ¹
<i>Syzygium aromaticum</i>	100,00 ± 0,00 a	100,00
<i>Cymbopogon citratus</i>	97,14 ± 2,14 a	97,12
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	95,00 ± 2,67 a	94,96
<i>Callistemon sp.</i>	65,00 ± 3,45 b	64,75
<i>Schinus terebinthifolius</i>	92,14 ± 3,43 a	92,09
<i>Cordia verbenacea</i>	75,71 ± 7,43 b	75,54
Acetamiprido + Piriproxifem	100,00 ± 0,00 a	100,00
Tween20 [®]	9,29 ± 1,30 c	8,63
Controle (Água destilada)	0,71 ± 0,71 c	
CV (%)	12,04	
Fcal	147,73**	

¹Eficácia calculada de acordo com fórmula proposta por Abbott (1925).

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Na pulverização de adultos, o tratamento contendo óleo essencial de *B. dracunculifolia* foi o único que provocou mortalidade acima de 90,0% (Tabela 4). Nos demais tratamentos, a mortalidade variou de 50,0% à 72,8%.

Tabela 4 – Mortalidade (média \pm erro padrão) de adultos de *Bemisia tabaci* pulverizados com óleo essencial de diferentes espécies vegetais

Tratamentos	Mortalidade (%)	Eficácia ¹
<i>Syzygium aromaticum</i>	72,85 \pm 10,53 A	63,01
<i>Cymbopogon citratus</i>	56,00 \pm 5,10 abc	40,05
<i>Callistemon sp.</i>	56,00 \pm 9,92 abc	40,05
<i>Cordia verbenacea</i>	72,00 \pm 9,28 a	61,85
<i>Schinus terebinthifolius</i>	66,43 \pm 14,45 ab	54,27
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	90,18 \pm 3,17 a	86,62
Controle ²	14,52 \pm 4,43 c	0,00
Controle ³	19,45 \pm 4,19 c	0,00
Controle ⁴	26,61 \pm 12,09 bc	-
CV (%)	38,6	
Fcal	8,77**	

¹Eficácia calculada de acordo com fórmula proposta por Abbott (1925).

²Sem pulverização e sem refrigerar os insetos.

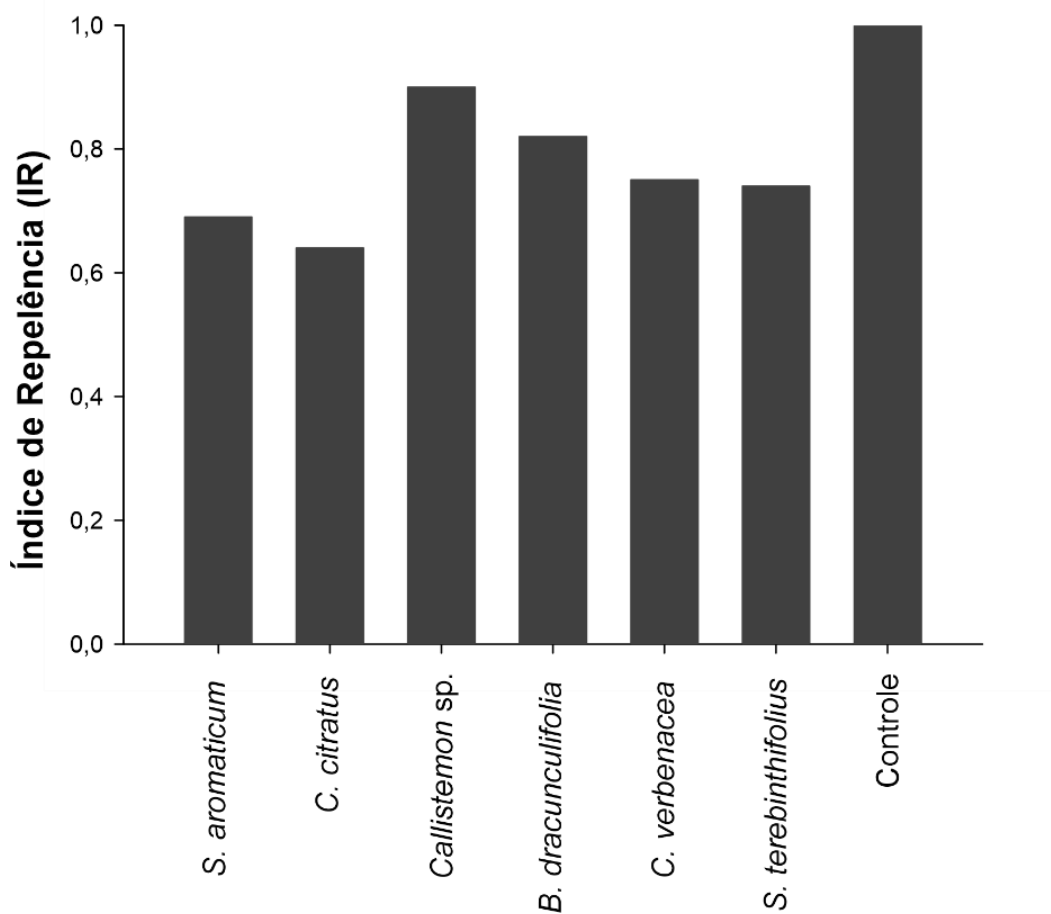
³Sem aplicação e insetos refrigerados.

⁴Água destilada.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

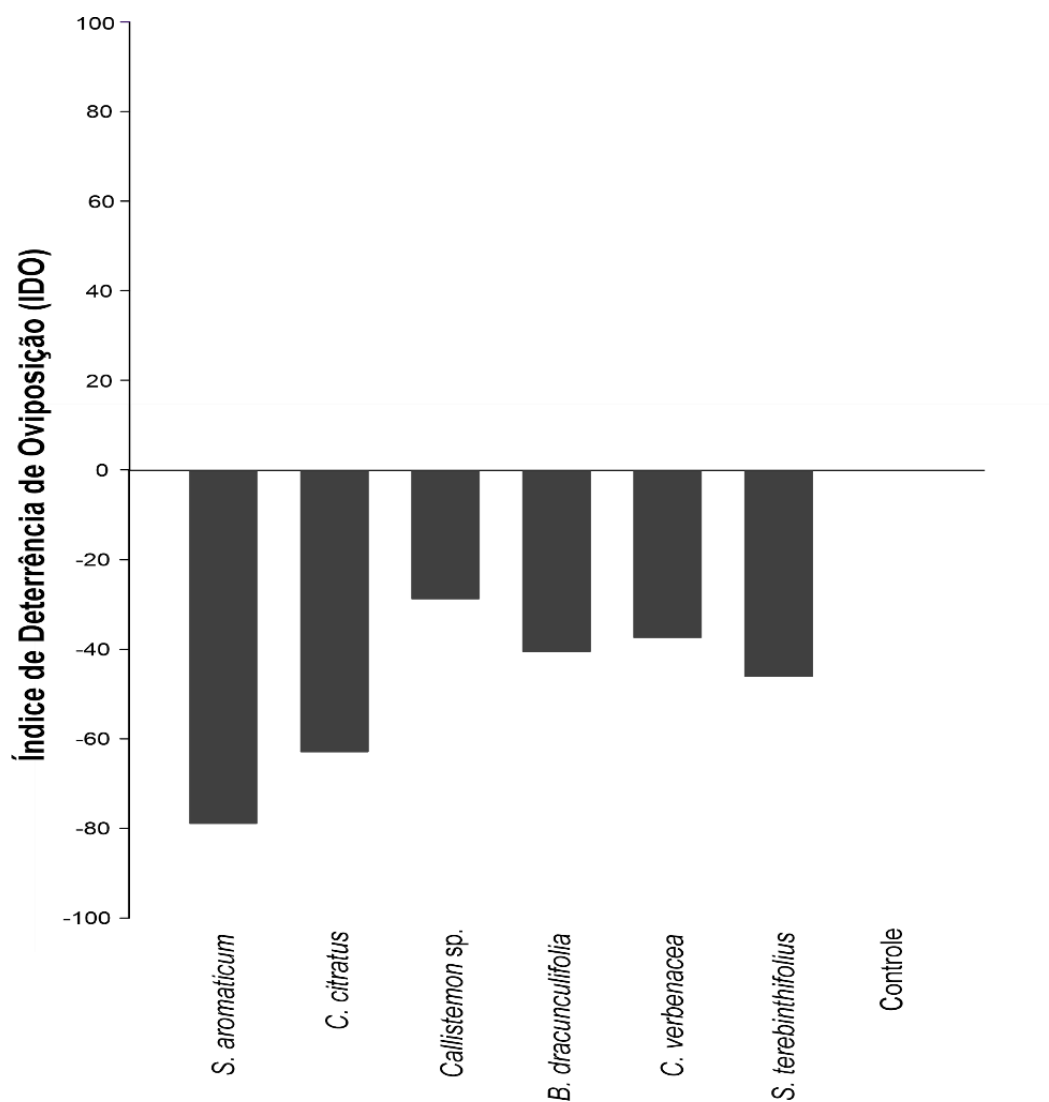
Todos os óleos essenciais mostraram-se repelentes a adultos de *B. tabaci*, sendo que os tratamentos com *C. citratus* e *S. aromaticum* foram os que apresentam os maiores efeitos repelentes, com IR de 0,64 e 0,69, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Índice de repelência do óleo essencial (1,0%) de diferentes espécies vegetais sobre adultos de *Bemisia tabaci* pulverizados em plantas de tomate “Santa Clara”



A avaliação da deterrência de oviposição mostrou que todos os óleos se comportaram como deterrentes, com índices negativos. Os óleos de *S. aromaticum* (-78,86) e *C. citratus* (-62,83) apresentaram-se como mais deterrentes aos adultos de *B. tabaci* (Figura 3).

Figura 3 – Índice de deterrência de oviposição do óleo essencial (1,0%) de diferentes espécies vegetais sobre adultos de *Bemisia tabaci* pulverizados em plantas de tomate “Santa Clara”



4.4 DISCUSSÃO

Os resultados observados no presente estudo acerca da redução da viabilidade dos ovos de *B. tabaci* podem contribuir com as estratégias de manejo da praga, uma vez que pode-se realizar sua redução populacional antes do início dos danos à cultura. O gênero *Cymbopogon* tem se mostrado um grupo importante do ponto de vista do manejo de insetos-praga pois é composto por espécies que atuam sobre insetos em diferentes fases de desenvolvimento (BARBOSA et al., 2018; HERNANDEZ-LAMBRAÑO et al., 2015; KOBENAN et al., 2018; OLIVEIRA

et al., 2018). A completa inibição da eclosão de ninfas pode ter sido provocada pelo citral, composto majoritário do óleo essencial de *C. citratus* e que apresenta efeito inseticida (KAUR et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2018; TAK; ISMAN, 2016). Na concentração testada, *C. citratus* foi tão eficiente quanto o inseticida sintético à base de acetamiprido e piriproxifem, o que mostra seu potencial como produto fitossanitário para o controle da fase de ovos de *B. tabaci*. O óleo de *S. aromaticum*, embora apresente potencial inseticida, com estudos de sua atividade em espécies como *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), *Thyrinteina arnobia* (Stoll.) (Lepidoptera: Geometridae), *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), entre outros organismos (CRUZ et al., 2014; JAIROCE et al., 2016; SOARES et al., 2011), sobre ovos de *B. tabaci*, em folíolos de tomateiro, apresentou baixa mortalidade, com eficácia de 51,4%. Os óleos essenciais das demais espécies vegetais apresentaram eficácia inferiores à 20,0%.

A fase de ninfa de *B. tabaci* foi a que apresentou maior vulnerabilidade à ação dos óleos essenciais. Exceto *Callistemon* sp. e *C. verbenacea*, todas as outras causaram a morte de mais de 90,0% dos indivíduos expostos aos óleos essenciais e não diferiram do tratamento contendo inseticida sintético. O fato da aplicação ter sido realizada por meio de aerógrafo, que apresenta pressão de trabalho de 10 psi, pode ter aumentado a exposição do alvo-biológico, favorecendo seu controle. Devido à pilosidade dos folíolos do tomateiro, há uma maior dificuldade de penetração das soluções contendo os óleos essenciais quando estas são aplicadas via imersão. O efeito de óleos essenciais de outras espécies vegetais sobre ninfas de *B. tabaci* foi reportado anteriormente (FANELA et al., 2016; WAGAN; CAI; HUA, 2018).

Quando avaliado o efeito sobre adultos de mosca-branca, embora a mortalidade tenha varia do de 56,0% a 90,1%, não houve diferença estatística entre os tratamentos por meio do teste Tukey ($p < 0,01$). Contudo, apenas o óleo essencial de *B. dracunculifolia* resultou em eficácia acima de 80,0%, valor considerado satisfatório para um produto fitossanitário. Embora *B. tabaci* tenha 664 casos relatados de resistência a moléculas inseticidas (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2021), este inseto-praga tem se mostrado sensível aos compostos dos óleos essenciais utilizados neste e em outros estudos (COSTA et al., 2017; WAGAN et al., 2016; WAGAN; CAI; HUA, 2018).

Os efeitos de repelência e de deterrência à oviposição encontrados neste estudo são similares aos observados por outros autores ao expor adultos de *B. tabaci* a soluções com óleos essenciais. Devido à característica aromática e volátil dos óleos essenciais, uma grande diversidade de espécies botânicas atua como repelente sobre insetos de diferentes grupos (COSTA et al., 2017; DELETRE et al., 2016).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos visando buscar melhores formulações para a aplicação dos inseticidas botânicos, bem como seus efeitos em organismos não-alvos complementarão as informações que estão disponíveis na literatura. Estas informações são fundamentais para o avanço na otimização de ferramentas de controle de pragas que possam compor programas de manejo integrado de pragas.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p.265-267, 1925.
- BALDIN, E. L. et al. Bioactivity of Pelargonium graveolens essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. **Journal of pest science**, v.88, n.1, p.191-199, 2014.
- BALDIN, E. L. L. et al. Plant-derived essential oils affecting settlement and oviposition of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B on tomato. **Journal Pest Science**, v.86, p.301-308, 2012.
- BALDIN, E. L. L., VENDRAMIM, J. D., LOURENÇÃO, A. L. Interaction between resistant tomato genotypes and plant extracts on *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B. **Scientia Agricola**, v.64, n.5, p.476-481, 2007.
- BALDIN, E. L., LARA, F. M. Atratividade e consumo foliar por adultos de *Diabrotica speciosa* (Germ.)(Coleoptera: Chrysomelidae) em diferentes genótipos de abóbora. **Neotropical Entomology**, v.30, n.4, p.675-679, 2001.
- BALDIN, E. L., VENDRAMIM, J. D., LOURENÇÃO, A. L. Resistência de genótipos de tomateiro à mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, v.34, n.3, p.435-441, 2005.
- BARBOSA, M. S. et al. Applying plant oils to control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v.12 n.4, p.557-562, 2018.
- CARVALHO, M. G.; BORTOLOTTI, O. C.; VENTURA. Aromatic plants affect the selection of host tomato plants by *Bemisia tabaci* biotype B. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.162, p.86-92, 2017
- CARVALHO, S. S. et al. Efeito inseticida sistêmico de nanoformulações à base de nim sobre *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo B em tomateiro **Bragantia**, v.74, n.3, p.298-306, 2015.
- COSTA, E. C. C. et al. Essential oil repellent action of plants of the genus *Zanthoxylum* against *Bemisia tabaci* biotype B (Homoptera: Aleyrodidae). **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 327-332, 2017.
- CRUZ, G. S. et al. 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**, v.107, n.1, p.144-153, 2014.
- DELETRE, E. et al. Naturally occurring bioactive compounds from four repellent essential oils against *Bemisia tabaci* whiteflies. **Pest management science**, v.72, n.1, p.179-189, 2016.

DU, W. et al. A primary screening and applying of plant volatiles as repellents to control whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) on Tomato. **Scientific Reportes**, v.6, n.22140, 2016.

FANELA, T. L. M. et al. Lethal and inhibitory activities of plant-derived essential oils against *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype B in tomato. **Neotropical entomology**, v.45, n.2, p.201-210, 2016.

HAJI, F. N. P. et al. Manejo da mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B na cultura do tomate. In: HAJI, F. N. P.; BLEICHER, E. (Eds.). **Avanços no manejo da mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B (Hemiptera, Aleyrodidae)**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, p. 87-110, 2004.

HERNANDEZ-LAMBRAÑO, R. et al. Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests. **Journal of Stored Products Research**, v.62, p.81-83, 2015.

HUSSEIN, H. S., SALEM, M. Z. M., SOLIMAN, A. M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialeurodes ricini*. **Scientia Horticulturae**, v.216, p.111-119, 2017.

JAIROCE, C. F. et al. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.72-77, 2016.

KABERA, J. et al. Insecticidal effects of essential oils of *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon citratus* on *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **African Journal of Food Science**, v.5,n.6, p.366-375, 2011.

KAUR, G. et al. Antifungal and larvicidal activities of two acyclic monoterpenes; citral and geraniol against phytopathogenic fungi and insects. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v.52, n.5-6, p.458-469, 2019.

KNAAK, N., et al. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v.6, n.1, p.49-53, 2013.

KOBENAN, K. C. et al. Essential oils of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, *Cymbopogon nardus* L. and *Citrus* sp: Insecticidal activity on the Pink Bollworm *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera; Gelechiidae) and prospects for cottonpest management in Côte d'Ivoire. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v.24, n.1, p.389-397, 2018.

LACERDA, J.T. de; CARVALHO, R.A. Descrição e manejo integrado da mosca-branca (*Bemisia* spp.) transmissora de *Geminivirus* em culturas econômicas. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.2, p.15-22, 2008.

LIN, H.; KOGAN, M.; FISCHER, D. Induced resistance in soybean to the Mexican Bean Beetle (Coleoptera: Coccinellidae): comparisons of inducing factors. **Entomological Society of America**, v.19, n.6, p.1852-1857, 1990.

MOTA-SANCHEZ, D., WISE, J. C. **The Arthropod Pesticide Resistance Database**. Michigan State University, 2021. On-line at: <http://www.pesticideresistance.org>

OLIVEIRA, E. R. et al. Toxicity of *Cymbopogon flexuosus* essential oil and citral for *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.4, p.408-419, 2018.

QUINTELA, E. D. et al. Reproduction of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) B biotype in maize fields (*Zea mays* L.) in Brazil. **Pest Management Science**, v.72, n.11, p.2181-2187, 2016.

SCHILICK-SOUZA, E. C.; BALDIN, E. L. L.; LOURENÇÃO, A. L. Variation in the host preferences and responses of *Ascia monuste orseis* Godart (Lepidoptera: Pieridae) to cultivars of collard greens *Brassica oleracea* (L.) var. *acephala*. **Journal Pest Science**, v.84, p.429-436, 2011.

SOARES, C. S. A. et al. Ação inseticida de óleos essenciais sobre a lagarta desfolhadora *Thyrintina arnobia*, stoll: Lepidoptera: Geometridae. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2, p.30, 2011.

SOUZA, L. M. et al. **Fatores de mortalidade de ninfas da mosca-branca em tomates orgânicos e convencionais no Distrito Federal**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 321, 2016.

TAK, J. H., ISMAN, M. B. Metabolism of citral, the major constituent of lemongrass oil, in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*, and effects of enzyme inhibitors on toxicity and metabolism. **Pesticide biochemistry and physiology**, v.133, p.20-25, 2016.

TOSCANO, L. C. et al. Biologia de *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em genótipos de tomateiro em duas épocas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.3, n.4, p.1-6, 2016.

VIEIRA, S. S. et al. Biological aspects of *Bemisia tabaci* biotype B and the chemical causes of resistance in soybean genotypes. **Arthropod-Plant Interactions**, v.10, n.6, p.525-534, 2016.

VILLAS BÔAS, G. L.; FRANÇA, F. H.; MACEDO, N. Potencial biótico da mosca-branca *Bemisia argentifolii* a diferentes plantas hospedeiras. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.1, p.71-79, 2002.

WAGAN, T. A. et al. Fumigant and contact toxicity and oviposition deterrent effects of plant essential oils on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). **Florida Entomologist**, v.99, n.4, p.673-677, 2016.

WAGAN, T. A., CAI, W., HUA, H. Repellency, toxicity, and anti-oviposition of essential oil of *Gardenia jasminoides* and its four major chemical components against whiteflies and mites. **Scientific Reports**, v.8, n.1, p.1-12, 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidencia o potencial dos óleos essenciais no controle de *Spodoptera frugiperda* e de *Bemisia tabaci* podendo ser uma ferramenta promissora em programas de manejo desta praga.

Devido à sua diversidade química, os óleos essenciais podem demorar mais para selecionar populações de pragas resistentes a seus compostos. Desta forma, a diversidade química dos óleos essenciais podem auxiliar no manejo da resistência de insetos a inseticidas.

É necessário o aprimoramento das formulações para que os óleos essenciais, quando pulverizados, permaneça efetivo por mais tempo e possa ser mais eficaz no controle de insetos-praga.

É fundamental o estudo das interações entre inseticidas botânicos e inimigos naturais para que possamos garantir a eficácia das diferentes táticas de controle e que possamos implementar programas de manejo integrado de pragas posicionando diferentes táticas de manejo sem, no entanto, reduzir a eficácia de nenhuma das ferramentas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, K. F. et al. *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae) essential oil toxicity to *Culex quinquefasciatus* (Culicidae). **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.31, p.31718-31726, 2018.
- ALVES, M. S. et al. Essential oils composition and toxicity tested by fumigation against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) pest of stored cowpea. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.6, p.2387-2399, 2015.
- ANDRADE, L. H. et al. Efeito repelente de azadiractina e óleos essenciais sobre *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em algodoeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.3, p.628-634, 2013.
- BERNARDI, D. et al. Biological activity of Bt proteins expressed in diferente structures of transgenic corn against *Spodoptera frugiperda*. **Ciência Rural**, v.46, n.6, p.1019-1024, 2016.
- BUENO, R. C. O. F. et al. Biology and thermal requirements of *Telenomus remus* reared on fall armyworm *Spodoptera frugiperda* eggs. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p.1-6, 2008.
- BUENO, R. C. O. F. et al. Integrated management of soybean pests: the example of Brazil. **Outlooks on Pest Management**, v.28, n.4, p.149-153, 2017.
- BUENO, R. C. O. F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatilis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, v.60, p.154-162, 2012.
- CARVALHO, S. S. et al. Efeito inseticida sistêmico de nanoformulações à base de nim sobre *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo B em tomateiro **Bragantia**, v.74, n.3, p.298-306, 2015.
- CHAKIRA, H. et al. Repellency of essential oils against *Nephotettix cincticeps*: Laboratory and glasshouse assays. **Journal of Applied Entomology**, v.141, p.708-720, 2017.
- CLERICI, D. J. et al. Effects of nanostructured essential oils against subterranean termites (*Coptotermes gestroi*). **Journal of Applied Entomology**, v.142, p.406-412, 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de grãos**, 2020. Available online: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> (accessed on 10 February 2020).
- FAO. First detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in Torres Strait. FAO: Rome, Italy, 2020; Available online: <https://www.ippc.int/en/countries/australia/pestreports/2020/02/first-detection-of-spodoptera-frugiperda-fall-armyworm-in-torres-strait/>.

FAO. First Detection of Fall Armyworm in China; FAO: Rome, Italy, 2019; Available online: <https://www.ippc.int/fr/news/first-detection-of-fall-armyworm-in-china/>.

GOBBO-NETO, L., LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v.30, n.2, 374-381, 2007.

GOERGEN, G. et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **Plos One**, v.11, n.10, p.1-9, 2016.

GONÇALVES, G. L. P. et al. Compounds from *Duguetia lanceolata* St.- Hil. (Annonaceae) bioactive against *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). **Industrial Crops and Products**, v.97, p.360-367, 2017.

GOULART, M. M. P. et al. Host preference of the egg parasitoids *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum* in laboratory. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.55, n.1, p.129-133, 2011.

HAJI, F. N. P. et al. Manejo da mosca-branca *Bemisia tabaci* biótipo B na cultura do tomate. In: HAJI, F. N. P.; BLEICHER, E. (Eds.). **Avanços no manejo da mosca-branca Bemisia tabaci biótipo B (Hemiptera, Aleyrodidae)**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, p. 87-110, 2004.

HUSSEIN, H. S.; SALEM, M. Z. M.; SOLIMAN, A. M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialetrodes ricini*. **Scientia Horticulturae**, v.216, p.111-119, 2017.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century - Fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v.65, n.1, p.233-249, 2019.

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

ISMAN, M. B. Bridging the gap: Moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. **Industrial Crops & Products**, v.110, p.10-14, 2017.

JAIROCE, C. F. et al. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.72-77, 2016.

KABERA, J. et al. Insecticidal effects of essential oils of *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon citratus* on *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **African Journal of Food Science**, v.5, n.6, p.366-375, 2011.

LACERDA, J.T. de; CARVALHO, R.A. Descrição e manejo integrado da mosca-branca (*Bemisia* spp.) transmissora de *Geminivirus* em culturas econômicas. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.2, p.15-22, 2008.

MADI, Y. F. et al. Essential oil of *Cymbopogon citratus* cultivated in Egypt: seasonal variation in chemical composition and anticholinesterase activity. **Natural Product Research**, p.1-5, 2020.

MONTEZANO, D. G. et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v.26, n.2, p.286-300, 2018.

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.2, 2009.

MOTA-SANCHEZ, D., WISE, J. C. **The Arthropod Pesticide Resistance Database**. Michigan State University, 2021. On-line at: <http://www.pesticideresistance.org>

OLIVEIRA, J. V. et al. Fumigation and repellency of essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in cowpea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.1, p.10-17, 2017.

PARRA, J. R. P.; COELHO JUNIOR, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v.19, n.2, p.1-6, 2019.

PAVELA, R. History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – a Review. **Plant Protection Science**, v.52, n.4, p.229-241, 2016.

QUINTELA, E. D. et al. Reproduction of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) B biotype in maize fields (*Zea mays* L.) in Brazil. **Pest Management Science**, v.72, n.11, p.2181-2187, 2016.

SANTOS, M. R. A. et al. Composição química e atividade inseticida do óleo essencial de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) sobre a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) Ferrari. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.15, n.4, p.757-762, 2013.

SOUZA, J. R. et al. Impact of insecticides used to control *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in corn on survival, sex ratio, and reproduction of *Trichogramma pretiosum* Riley offspring. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, n.2, p.122-127, 2013.

SOUZA, L. M. et al. **Fatores de mortalidade de ninfas da mosca-branca em tomateiros orgânicos e convencionais no Distrito Federal**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 321, 2016.

TOSCANO, L. C. et al. Biologia de *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae) em genótipos de tomateiro em duas épocas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.3, n.4, p.1-6, 2016.

VILLAS BÔAS, G. L.; FRANÇA, F. H.; MACEDO, N. Potencial biótico da mosca-branca *Bemisia argentifolii* a diferentes plantas hospedeiras. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.1, p.71-79, 2002.