

EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS E INSETICIDAS SOBRE A BIOLOGIA E
PARÂMETROS NUTRICIONAIS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA:
CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum* RILLEY (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

por

MILENA LARISSA GONÇALVES SANTANA

(Sob Orientação do Professor Valéria Wanderley Teixeira - UFRPE)

RESUMO

Neoleucinodes elegantalis Guenée, se destaca como uma das principais pragas da tomaticultura, causando danos diretos ao infestar severamente os frutos. Seu controle é feito por inseticidas químicos, porém devido ao hábito endofítico, faz-se necessárias aplicações recorrentes de inseticidas de largo espectro. Assim, os óleos essenciais associados ao controle biológico surgem como alternativas bioracionais visando minimizar os efeitos do uso contínuo e indevido desses produtos. Apesar do crescente interesse nesses métodos de controle, são escassos trabalhos que elucidem os possíveis efeitos dos óleos no desempenho dos inimigos naturais. Assim, essa pesquisa objetiva analisar os efeitos dos óleos essenciais de *Origanum majorana* L. e *Copaifera officinalis* L., sobre a biologia e nutrição de *N. elegantalis*, bem como seus efeitos sobre *Trichogramma pretiosum* Riley, comparando com os produtos formulados azadiractina e deltametrina. Foram utilizadas as CL₅₀ dos referidos óleos, através do estabelecimento da curva de concentração, e a dose de campo recomendada para os inseticidas. Foram analisadas: o perfil químico através da CG-EM; média de entrada e saída dos orifícios nos frutos, biologia (desenvolvimento larval, peso pré-pupa e pupa, desenvolvimento pupal), reprodução (oviposição

e viabilidade), nutrição (proteínas, lipídios, glicogênio e açúcar total); biologia de *T. pretiosum* (parasitismo, emergência, longevidade, razão sexual, classe de toxicidade e redução do parasitismo), resposta funcional e numérica. Os óleos são majoritariamente constituídos por terpenos e ocasionaram toxicidade e redução significativa quanto aos orifícios de entrada e saída de lagartas nos frutos, além de interferir nos parâmetros nutricionais. O óleo de *C. officinalis* demonstrou melhor desempenho por alterar parâmetros importantes da biologia da praga (alongamento do desenvolvimento larval e redução no peso da pre-pupa e pupa), apresentar maior seletividade ao parasitoide, além de reduzir o tempo de manipulação e aumentar a taxa de ataque, sendo, portanto, promissor no controle desta praga por apresentar efetividade e interação benéfica com *T. pretiosum*.

PALAVRAS-CHAVE: biologia, broca-pequena-do-tomate, nutrição, parasitoide, seletividade.

EFFECTS OF ESSENTIAL OILS AND INSECTICIDES ON THE BIOLOGY AND
NUTRITIONAL PARAMETERS OF *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA:
CRAMBIDAE) AND *Trichogramma pretiosum* RILLEY (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

por

MILENA LARISSA GONÇALVES SANTANA

(Sob Orientação do Professor Valéria Wanderley Teixeira)

ABSTRACT

Neoleucinodes elegantalis Guenée, stands out as one of the main pests of tomato cultivation, causing direct damage by severely infesting the fruits. Its control is carried out by chemical insecticides, but due to the endophytic habit, recurrent applications of broad-spectrum insecticides are necessary. Thus, essential oils associated with biological control emerge as biorational alternatives to minimize the effects of continuous and improper use of these products. Despite the growing interest in these control methods, there are few studies that elucidate the possible effects of oils on the performance of natural enemies. Thus, this research aims to analyze the effects of essential oils from *Origanum majorana* L. and *Copaifera officinalis* L., on the biology and nutrition of *N. elegantalis*, as well as their effects on *Trichogramma pretiosum* Riley, comparing with the formulated products azadirachtin and deltamethrin. The LC₅₀ of the referred oils were used, through the establishment of the concentration curve, and the recommended field dose for the insecticides. The following were analyzed: the chemical profile through GC-MS; average number of holes in and out of fruits, biology (larval development, pre-pupa and pupa weight, pupal development), reproduction (oviposition and viability), nutrition (proteins, lipids,

glycogen and total sugar); biology of *T. pretiosum* (parasitism, emergence, longevity, sex ratio, toxicity class and parasitism reduction), functional and numerical response. The oils are mostly constituted by terpenes and caused toxicity and significant reduction in the entrance and exit holes of caterpillars in the fruits, in addition to interfering with the nutritional parameters. *C. officinalis* oil showed better performance by altering important parameters of pest biology (increased of larval development and reduction in pre-pupa and pupa weight), presenting greater selectivity to the parasitoid, in addition to reducing handling time and increasing the attack rate, being, therefore, promising in controlling this pest due to its effectiveness and beneficial interaction with *T. pretiosum*.

KEY WORDS: biology, tomato fruit borer, nutrition, parasitoid, selectivity.

EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS E INSETICIDAS SOBRE A BIOLOGIA E
PARÂMETROS NUTRICIONAIS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA:
CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum* RILLEY (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

por

MILENA LARISSA GONÇALVES SANTANA

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

RECIFE - PE

Fevereiro – 2023

EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS E INSETICIDAS SOBRE A BIOLOGIA E
PARÂMETROS NUTRICIONAIS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA:
CRAMBIDAE) E EM *Trichogramma pretiosum* RILLEY (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

por

MILENA LARISSA GONÇALVES SANTANA

Comitê de Orientação:

Valéria Wanderley Teixeira - UFRPE

Carolina Arruda Guedes – PNPd – CAPES - UFRPE

Glaucilane dos Santos Cruz– PNPd – FACEPE.

EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE A BIOLOGIA E PARÂMETROS
NUTRICIONAIS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E
EM *Trichogramma pretiosum* RILLEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

por

MILENA LARISSA GONÇALVES SANTANA

Banca Examinadora:

Valéria Wanderley Teixeira - UFRPE

Álvaro Aguiar Coelho Teixeira – UFRPE

Jorge Braz Torres - UFRPE

Douglas Rafael e Silva Barbosa - IFMA

Andrezo Adenilton Santos - UFRPE

Milena Larissa Gonçalves Santana
Doutora em Entomologia

Profª. Valéria Wanderley Teixeira –
UFRPE
Orientador

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

S232e

Santana, Milena Larissa Gonçalves

Efeitos de óleos essenciais sobre a biologia e parâmetros nutricionais de *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) e em *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) / Milena Larissa Gonçalves Santana. - 2023.

86 f. : il.

Orientadora: Valeria Wanderley Teixeira.

Coorientadora: Glaucilane dos Santos Cruz.

Inclui referências.

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

1. Seletividade. 2. óleos essenciais. 3. MIP. 4. controle biológico. I. Teixeira, Valeria Wanderley, orient. II. Cruz, Glaucilane dos Santos, coorient. III. Título

CDD 632.7

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Geraldo e Luiza pelo apoio
incondicional, confiança e incentivo;
À minha irmã Ana Caroline.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, Senhor e meu melhor amigo, por todo seu amor incondicional, zelo e por me cercar com a sua bondade. Porque dEle, por Ele e para Ele, são todas as coisas.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-graduação em Entomologia (PPGE).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

A minha família, meus pais Luiza e Geraldo, por todos os esforços para garantir meus estudos e pelos ensinamentos de vida e a minha irmã Ana Caroline pelo apoio.

A professora Valéria Wanderley Teixeira pela orientação, confiança e paciência.

A Nane e Carol pela co-orientação, de importância fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus professores do PPGE por todo conhecimento, formação e informações repassadas.

Às amigas do Laboratório de Fisiologia de Insetos (LAFI): Carol Guedes, Camila Teixeira, Nane Santos, Maria Clara e Catiane Souza pela amizade, apoio, contribuição e pelos vários momentos de descontração.

Aos amigos do PPGE de perto e de longe, por cada momento vivido.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	ix
CAPÍTULOS	
1 INTRODUÇÃO	01
LITERATURA CITADA.....	07
2 RESPOSTA FUNCIONAL EM INIMIGOS NATURAIS E SUA APLICAÇÃO NO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS	11
ABSTRACT	12
RESUMO	13
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS	16
DISCUSSÃO.....	16
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS.....	23
3 SUBLETAL EFFECTS OF SOME ESSENTIAL OILS ON THE NUTRITION AND BIOLOGICAL PARAMETERS OF <i>Neoleucinodes elegantalis</i> (GUENÉE) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND ITS SELECTIVITY TO <i>Trichogramma</i> <i>pretiosum</i> (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE).....	26
ABSTRACT	27
RESUMO	28
INTRODUCTION.....	29

	MATERIAL AND METHODS	31
	RESULTS.....	37
	DISCUSSION	39
	ACKNOWLEDGEMENTS	43
	REFERENCES.....	44
4	EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS E INSETICIDAS NA RESPOSTA FUNCIONAL DE <i>Trichogramma pretiosum</i> (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) EM OVOS DE <i>Neoleucinodes elegantalis</i> (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)1	60
	ABSTRACT	61
	RESUMO	62
	INTRODUÇÃO	63
	MATERIAL E METODOS	65
	RESULTADOS	67
	DISCUSSÃO.....	68
	AGRADECIMENTOS.....	72
	REFERÊNCIAS.....	72
5	[CONSIDERAÇÕES FINAIS].....	81

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Do campo diretamente à mesa, ou como matéria-prima, a cultura do tomate é fonte de renda, empregos diretos e indiretos, por isso apresenta relevância socioeconômica para o Brasil (Silva & Giordano 2006). A produção brasileira de 2021 foi estimada em 3,6 milhões de toneladas, com o estado de São Paulo como o maior produtor brasileiro, produzindo 742.395 toneladas (IBGE 2023). No Nordeste brasileiro, a estimativa para a safra atingiu uma produção de 541.601 toneladas. O estado de Pernambuco, por sua vez, contribuiu com 67.092 toneladas em uma área de 1.373 de hectares (IBGE 2023).

Contudo, o cultivo do tomateiro é considerado uma atividade agrícola de alto risco, em virtude da grande variedade de ambientes e sistemas de cultivo, da alta susceptibilidade a desordens fisiológicas e do ataque de pragas e doenças. A exigência em insumos e serviços acarreta elevado investimento de recursos financeiros por unidade de área (Loos *et al.* 2008). Dentre os desafios fitossanitários que acometem a cultura do tomate está o ataque de insetos-praga, em todos os estágios, inviabilizando a produtividade que tem como principal controle fitossanitário o sistema preventivo (Gomes *et al.* 2012).

Considerada como uma das principais pragas na cultura do tomate, vulgarmente conhecida como “broca-pequena-do-fruto” ou “broca-pequena-do-tomate”, *Neoleucinodes elegantalis* Guenée, é importante por danificar as partes reprodutivas das plantas (Gravena & Benvenga 2003, Pontes *et al.* 2010).

Esse inseto-praga tem seu crescimento populacional beneficiado quando encontra condições favoráveis, infestando severamente os frutos e ocasionando danos diretos, o que os torna

impróprios ao consumo e até mesmo para o processamento industrial (Picanço *et al.* 2007). Além de causar sérios danos no fruto do tomate, essa praga ainda possui outras plantas hospedeiras, como solanáceas (jiló, pimentão e berinjela), além de plantas daninhas, como o joá, (sendo joá grande, pequeno, vermelho e doce) e a jurubeba (Fornazier *et al.* 2010).

A fêmea deposita os ovos, após o acasalamento, preferencialmente, sob as pétalas de frutos verdes pequenos (0,5 a 4 cm de diâmetro), e nos quatro primeiros frutos basais do cacho de tomate, ou nas flores, cálices e pecíolo destes, porém essa preferência depende do nível de infestação. Os ovos são achatados e sua postura pode ser feita de forma isolada ou agrupada, com largura e comprimento médio de 0,46 e 0,69 mm, respectivamente. (Marcano 1991, Carneiro *et al.* 1998, Blackmer *et al.* 2001, Eiras & Blackmer 2003, Jaffe *et al.* 2007, Fornazier *et al.* 2010).

Os ovos no início da oviposição possuem coloração branca translúcida, rosados e à medida que se aproximam da eclosão das lagartas vão ganhando tonalidade escura, mais precisamente no segundo dia de incubação no periplasma (Benvenga *et al.* 2010). Já no quarto dia a coloração é marrom claro com uma linha avermelhada contínua na periferia do ovo. Podendo a cápsula cefálica e a lagarta serem visualizadas no quinto dia, no sexto dia o córion perde sua turgidez e transparência e então é raspado com o auxílio das mandíbulas pela lagarta para que haja o rompimento e posterior eclosão (Munõz *et al.* 1991).

A eclosão das lagartas ocorre entre as primeiras horas do dia (Eiras & Blackmer 2003). Após a eclosão permanecem cerca de duas horas para penetrarem no fruto completamente, perfurando uma película, deixando um orifício quase imperceptível, que é fechado no processo de desenvolvimento e maturação dos frutos. Esse orifício é caracterizado por uma pequena saliência sensível ao tato, mas ao seu redor observa-se uma suave depressão na casca do fruto já que ocorre à morte dos tecidos (Bortoli *et al.* 2013).

A lagarta possui a cabeça bastante quitinizada e é do tipo polípoda, subtipo eruciforme e possuem três segmentos torácicos e 10 abdominais. Enquanto lagartas passam por cinco ínstaes, onde no primeiro a coloração é amarelada e já no quinto possuem coloração rosada. Após seu desenvolvimento completado, medindo 11 a 13 mm de comprimento, abandonam o fruto deixando um orifício de saída. Passa para o estágio de pré-pupa, deixam de se alimentar, são pouco móveis, reduzem de tamanho e apresentam coloração esbranquiçada, caminham até a folha mais próxima, ou no solo em detritos existentes em torno da planta e empupam em um casulo (Muñoz *et al.* 1991, Blackmer *et al.* 2001, Souza 2001, Gallo *et al.* 2002, Eiras & Blackmer 2003, Bortoli *et al.* 2013).

A pupa é do tipo obtecta e possui coloração variando de amarelo claro à marrom escuro próximo a emergência. Medem em média 11,05 e 10,33 mm, fêmeas e machos, respectivamente, apresentando dimorfismo sexual. As fêmeas apresentam uma abertura genital, no início do oitavo segmento abdominal em relação aos machos, que possuem abertura na parte mediana do nono segmento abdominal (Muñoz *et al.* 1991, Blackmer *et al.* 2001, Souza 2001, Gallo *et al.* 2002, Eiras & Blackmer 2003, Bortoli *et al.* 2013).

Os adultos são mariposas com 25 mm de envergadura, de coloração geral branca, asas transparentes, apresentando manchas pequenas marrom avermelhado nas asas anteriores e nas posteriores manchas marrons esparsas. Possuem dimorfismo sexual, onde o abdome das fêmeas é volumoso, enquanto o dos machos é delgado. Em geral, as fêmeas apresentam maior peso ($20,2 \pm 3,9$ g) em relação aos machos ($12,2 \pm 2,6$ g). Quanto ao comprimento do corpo as fêmeas também possuem dimensões maiores que os machos ($11,1 \pm 0,7$ e $9,8 \pm 0,8$ mm), comprimento da antena ($9,4 \pm 0,6$ e $7,7 \pm 0,8$ mm), comprimento da asa ($11,3 \pm 0,9$ e $8,1 \pm 0,7$ mm) e largura da asa ($4,6 \pm 0,4$ e $3,2 \pm 0,4$ mm) (Marcano 1991, Carneiro *et al.* 1998, Blackmer *et al.* 2001, Jaffe *et al.* 2007, Fornazier *et al.* 2010). A razão sexual da espécie é de 1:1, e não há partenogênese (Jaffe *et al.* 2007).

Na fase larval, *N. elegantalis* infesta severamente os frutos e ocasionando danos diretos, danifica as partes reprodutivas das plantas inviabilizando e destruindo a polpa do fruto comprometendo sua produção, tornando-os impróprios ao consumo e até mesmo para o processamento industrial, com perdas que variam de 20 a 90% (Gallo *et al.* 2002, Gravena & Benvenga 2003, Picanço *et al.* 2007).

Algumas características peculiares do tomateiro como floradas sucessivas e fruto em fase inicial de desenvolvimento, associado ao comportamento de oviposição e desenvolvimento larval garantem a combinação ao hospedeiro como praga ideal para desencadear o início da reprodução (Badji *et al.* 2003).

Segundo Salas (1992) mesmo em baixa densidade de lagarta já é possível atingir o nível de dano econômico, e para Toledo (1948) apenas um indivíduo é o suficiente para caracterizar o dano. Tais prejuízos podem atingir desde 50% da produção (Gallo *et al.* 2002), 79% (Miranda *et al.* 2005) chegando até 90% (Carneiro *et al.* 1998).

O controle químico destaca-se como principal tática de controle. Contudo, em virtude das lagartas estarem protegidas dentro do fruto e passarem pouco tempo na superfície, o controle de *N. elegantalis* é difícil e pouco eficiente (Badji *et al.* 2003). Aliado ao elevado custo de implantação da cultura e qualidade de visual que é exigida pelos consumidores faz com que os produtores intensifiquem cada vez mais a utilização de inseticidas (Miranda *et al.* 2005). Atualmente são indicados 131 produtos dos mais variados grupos químicos (piretroides, organofosforados, metilcarbamatos, diamidas, benzoilureia, neonicotinoides, oxadiazinas, entre outros) (AGROFIT 2019).

Esses inseticidas são dispendiosos e potencialmente prejudiciais para os seres humanos, aos inimigos naturais e ao meio ambiente (Benvenga *et al.* 2010), além disso podem selecionar populações de insetos resistentes (Omoto 2000). Para reduzir esses problemas, o Manejo Integrado

de Pragas (MIP) visa diminuir o uso de produtos químicos nos agroecossistemas, viabilizando o processo produtivo do tomateiro com um desenvolvimento agrícola sustentável.

Neste sentido, devido aos diversos efeitos que os inseticidas sintéticos podem ocasionar ao meio ambiente, outros métodos de controle como a utilização de óleos essenciais com propriedades inseticidas, tem crescido bastante nos últimos anos, tornando-se uma forma promissora na descoberta de novas espécies como agentes de controle de pragas, devido a menor persistência no ambiente, nos alimentos, menor toxicidade a mamíferos e maior seletividade aos inimigos naturais.

As propriedades biológicas dos óleos essenciais são conhecidas desde a antiguidade, sendo obtidas a partir do metabolismo secundário das plantas que podem atuar como comunicação química e defesa contra herbívoros (Elumalai *et al.* 2010). A estimativa é de que os óleos essenciais são produzidos por cerca de 17.500 espécies de plantas aromáticas, pertencendo as mais diversas famílias botânicas incluindo Myrtaceae, Lauraceae, Piperaceae, Rutaceae e Lamiaceae (Castro *et al.* 2004, Rajendran & Sriranjini 2008). São constituídos por uma mistura complexa de compostos orgânicos, principalmente terpenos e fenilpropanóides (Li *et al.* 2014).

A exemplo das formulações encontradas na literatura, tendo como ingredientes ativos óleos essenciais de plantas conhecidas como cravo da índia (*Syzygium aromaticum* L.), alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), hortelã pimenta (*Mentha piperita* L.), canela (*Cinnamomum zeylanicum* L.), citronela (*Cymbopogon nardus* L.), tomilho (*Thymus vulgaris* L.), gengibre (*Zingiber officinale* Z.), menta (*Mentha piperita* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.), entre outros (Elumalai *et al.* 2010, Isman *et al.* 2010).

Os óleos essenciais e seus componentes podem provocar mortalidade, repelência, inibição da oviposição, inibição de crescimento, reduções no desenvolvimento larval, fecundidade, fertilidade, bem como efeitos fisiológicos e comportamentais em insetos (Rai & Carpinella 2006, Elumalai *et al.* 2010, Martinez & Van Emden 2011, Jiang *et al.* 2012, Cruz *et al.* 2016). Além

disso, pesquisas relatam que óleos essenciais interferem na biologia e nas gônadas de machos e fêmeas de insetos, alterando sua morfologia e histoquímica refletindo negativamente na sua reprodução (Alves *et al.* 2014, Cruz *et al.* 2015, Cruz *et al.* 2016).

O controle biológico é outro método que visa à redução do uso de inseticidas. O parasitoide *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) é comumente utilizado como inimigo natural de pragas de diversas culturas, dentre elas o tomate. As espécies de *Trichogramma* parasitam pragas na fase de ovo, o que é de grande vantagem para sua utilização, pois impedem que seus hospedeiros passem a fase larval e causem injúrias às plantas (Witting *et al.* 2007). O uso generalizado de espécies de *Trichogramma* como agentes de controle biológico se deve à sua facilidade de criação em hospedeiros alternativos, parasitismo altamente agressivo e sua ampla distribuição geográfica (Parreira *et al.* 2018).

No entanto, o uso contínuo e discriminado de pesticidas e especialmente inseticidas de amplo espectro, tem impactos adversos na eficácia de inimigos naturais, onde podem apresentar alta suscetibilidade em relação aos seus hospedeiros-presas. Essa diferença na suscetibilidade pode causar sérios problemas de compatibilidade para a integração de pesticidas e inimigos naturais em programas de MIP (Khan *et al.* 2015).

Apesar do conhecimento que inseticidas químicos podem afetar inimigos naturais, e os óleos essenciais serem alternativa para o controle de pragas, seu efeito sobre os agentes de controle biológico não é totalmente conhecido, podendo não ser específicos para inimigos naturais (Parreira *et al.* 2019), os quais desempenham uma função importante na limitação de populações de insetos pragas e possuem maior probabilidade de sobreviver em caso de aplicação de biopesticidas seletivos (Titouhi *et al.* 2017).

Entretanto, são escassos estudos utilizando óleos essenciais no controle de *N. elegantalis*, visto que ela é de difícil criação em laboratório. Dessa forma, o presente trabalho tem como

objetivo avaliar os efeitos de óleos essenciais de *Origanum majorana* e *Copaifera officinalis* em comparação a inseticidas sobre aspectos biológicos e nutricionais de *N. elegantalis*, seus efeitos sobre a biologia de *T. pretiosum*, além de verificar a resposta funcional e numérica deste. Os resultados poderão contribuir para a redução do uso excessivo de inseticidas, evitando o aumento dos custos de produção, intoxicações humanas e contaminação ambiental.

Literatura Citada

- AGROFIT. 2019.** Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>.
- Alves, T.J.S., G.S. Cruz, V. Wanderley-Teixeira, A.A.C. Teixeira, J.V. Oliveira, A.A. Correia, C.A.G. Câmara & F.M. Cunha. 2014.** Effects of *Piper hispidinervum* on spermatogenesis and histochemistry of ovarioles of *Spodoptera frugiperda*. Biotech. & Histochem. 88: 1-11.
- Badji, C.A., A.E. Eiras, A. Cabrera & K. Jaffe. 2003.** Avaliação do feromônio sexual de *Neoleucinodes elegantalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae). Neotrop. Entomol. 32: 221-229.
- Benvenga, S.R., S.A. Bortoli, S. Gravena & J.C. Barbosa. 2010.** Monitoramento da broca-pequena-do-fruto para tomada de decisão de controle em tomateiro estaqueado. Hortic. Bras. 28: 435-440.
- Blackmer, J.L., A.E. Eiras & C.L.M. Souza. 2001.** Oviposition preference of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and rates of parasitism by *Trichogramma pretiosum* (Riley) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Lycopersicon esculentum* in São José de Ubá, Brazil. Neotrop. Entomol. 30: 89-95.
- Bortoli, S.A., S.R. Benvenga, S. Gravena, A.M. Vacari & H.X.L. Volpe. 2013.** Ação de inseticidas sobre os ovos e lagartas da broca-pequena-do-fruto do tomate, em bioensaio de laboratório. Arq. Inst. Biol. 80: 73-82.
- Carneiro, J.S., F.N.P. Haji. & F.A.M. Santos. 1998.** Bioecologia e controle da broca-pequena do tomateiro *Neoleucinodes elegantalis*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 14p. (Circular Técnica, 26).
- Castro, H.G., F.A. Ferreira, D.J.H. Silva & P.R. Mosquim. 2004.** Contribuição ao estudo das plantas medicinais: metabólitos secundários. Viçosa, UFV, 113p.

- Cruz, G.S., V.W. Teixeira, J.V. Oliveira, A.A.C.T. Teixeira, A.C. Araújo, T.J.S. Alves, F.M. Cunha, M.O. Breda. 2015.** Histological and histochemical changes by clove essential oil upon the gonads of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Int. J. Morphol. 33:1393-1400.
- Cruz, G.S., V. Wanderley-Teixeira, J.V. Oliveira, F.S.C. Lopes, D.R.S. Barbosa, M.O. Breda, K.A. Dutra, C.A. Guedes, D.M.A.F. Navarro & A.A.C. Teixeira. 2016.** 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). J. Econ. Entomol. 109: 660-666.
- Eiras, A.E. & J. L. Blackmer. 2003.** Eclosion time and larval behaviour of the tomato fruit borer, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). Sci. Agric. 60: 195-197.
- Elumalai, K., K. Krishnappa, A. Anandan, M. Govindarajan & T. Mathivanan. 2010.** Larvicidal and ovicidal activity of seven essential oil against lepidopteran pest *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). IJRSR. 1: 08-14.
- Embrapa Hortaliças. 2019.** Tomate. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate>>.
- Fornazier, M. D. Pratissoli & D.S. Martins 2010.** Principais pragas da cultura do tomateiro estaqueado na região das montanhas do Espírito Santo, p. 185-226. In: Incaper. Tomate. Vitória.
- Gallo, D.; O. Nakano, S.S. Neto, R.L.P. Carvalho, G.C. Batista; E.B. Filho, J.R.P Parra, R.A Zucchi, S.B. Alves, J.D. Vendramim, L.C. Marchini, J.R.S. Lopes, C. Omoto. 2002** Manual de entomologia agrícola. Piracicaba: FEALQ, 920p.
- Gravena, S. & S.R. Benvenga. 2003.** Manual prático para manejo ecológico de pragas do tomate. Jaboticabal, Gravena-Man Ecol LTDA. 144p.
- Gomes, F.B., L.J. Fortunato, A.L.V. Pacheco, L.H. Azevedo, N. Freitas & S.K. Homma. 2012.** Incidência de pragas e desempenho produtivo de tomateiro orgânico em monocultivo e policultivo. Hortic. Bras. 30: 756-761.
- IBGE. 2023.** Produção agropecuária. Produção de tomate. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>.
- Jaffe, K., B. Miras. & A. Cabrera. 2007.** Mate selection in the moth *Neoleucinodes elegantalis*: evidence for a supernormal chemical stimulus in sexual attraction. Anim. Behav. 73: 727-734.
- Jiang, Z. L., Y. Akhtar, X. Zhang, R. Bradbury & M.B. Isman. 2012.** Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Applied Entomology 136: 191-202.

- Khan, M. A., Khan, H. & Ruberson, J. R. 2015.** Lethal and behavioral effects of selected novel pesticides on adults of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 71: 1640–1648.
- Li, Y., A.S. Fabiano-Tixier & F. Chemat. 2014.** Essential oils as reagentes in green chemistry. London, Springer, (eBook).
- Loos, R.A., D.J.R. Silva, P.C.R. Fontes & M.C. Picanço. 2008.** Identificação e quantificação dos componentes de perdas de produção do tomateiro em ambiente protegido. *Hort. Bras.* 26: 281-286.
- Marcano, B.R.V. 1991.** Estudio de la biología y algunos aspectos del comportamiento del perforador del fruto del tomate *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Pyralidae) en tomate. *Agronomía Tropical*. 41: 257-264.
- Martinez, S.S. & Van Emden, H.F. 2011.** Growth disruption, abnormalities and mortality of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) caused by azadirachtin. *Neotrop. Entomol.* 30: 113-124.
- Miranda, M.M.M., M.C. Picanço, J.C. Zanuncio, L. Bacci, E.M. Silva. 2005.** Impact of integrated pest management on the population of leafminers, fruit borers, and natural enemies in tomato. *Cienc. Rural*. 35: 204-208.
- Muñoz, L., P. Serrano, J.I. Pulido, & L. Cruz. 1991.** Ciclo de vida, hábitos y enemigos naturales de *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée, 1854) (Lepidoptera: Pyralidae), pesador del fruto del lulo *Solanum quitoense* Lam. *Acta Agron.* 41: 99-104.
- Omoto, C. 2000.** Modo de ação de inseticidas e resistência de insetos a inseticidas. p. 31-50.. In: Guedes, J.C., Costa, I.D., Castiglioni, E. (Eds.). *Bases e técnicas do manejo de insetos*. Santa Maria: UFSM/CCR/DFS.
- Parreira, D.S., R. Alcántara-de la Cruz, G.L.D. Leite, F.S. Ramalho, J.C. Zanuncio & J.E. Serrão. 2018.** Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. *Chemosphere*, 199, 670–675.
- Parreira, D. S., R. Alcántara-de la Cruz, F.A.R Dimaté, L.D. Batista, R.C. Ribeiro, G.A.R. Ferreira & J.C. Zanuncio. 2019.** Bioactivity of ten essential oils on the biological parameters of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) adults. *Industrial Crops and Products*, 127, 11–15.
- Picanço, M.C., L. Bacci, E.M. Silva, E.G.F. Morais, G.A. Silva & N.R. Silva. 2007.** Manejo integrado das pragas do tomateiro no Brasil. In: Silva, D.J.H., Vale, F.X.R. (Ed.). *Tomate: tecnologia de produção*. Viçosa: UFV. p.199-232.
- Pontes, W.J.T., E.R. Lima, E.G. Cunha, P.M.T. Andrade, A.P. Lôbo & R. Barros. 2010.** Physical and chemical cues affect oviposition by *Neoleucinodes elegantalis*. *Physiol. Entomol.* 35: 134-139.

- Rai, M. & M.C. Carpinella. 2006.** Naturally occurring bioactive compounds. Oxford, Elsevier, 514 p.
- Rajendran, S. & V. Sriranjini. 2008.** Plant products as fumigants for stored-product insect control. J. Stored Prod. Res. 44: 126-135.
- Salas, J. 1992.** Integrated pest-insects management program for tomato crops (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Lara State, Venezuela. Acta Hortic. 301: 199-204.
- Silva, J.B.C. & L.B. Giordano. 2006.** Tomate para processamento industrial. Brasília, Embrapa, 168p.
- Souza, C.L.M. 2001.** Influência de aleloquímicos sobre a interação tritrófica entre *Lycopersicon* spp., *Neoleucinodes elegantalis* (Genée) (Lepidoptera: Crambidae) e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Tese de doutorado. – UENF. Rio de Janeiro, 124p.
- Titouhi, F., M. Amri, C. Messaoud, S. Haouel, S. Youssfi, A. Cherif & J.M.B. Jemâa. 2017.** Protective effects of three *Artemisia* essential oils against *Callosobruchus maculatus* and *Bruchus rufimanus* (Coleoptera:Chrysomelidae) and the extended side-effects on their natural enemies. J Stored Prod Res. 72: 11-20.
- Toledo, A.A. 1948.** Contribuição para o estudo da *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée, 1854), praga do tomate. Arq. Inst. Biol. 14: 103-108.
- Witting, B.E., D.B. Orr & H.M. Linker. 2007.** Attraction of insect natural enemies to habitat plantings in North Carolina. J. Entomol. Sci. 42: 439-456.

CAPÍTULO 2

RESPOSTA FUNCIONAL EM INIMIGOS NATURAIS E SUA APLICAÇÃO NO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS¹

Milena L. G. Santana¹, Valéria W.-Teixeira², Carolina A. Guedes¹, Glaucilane S. Cruz¹,
Camila S. Teixeira¹, Álvaro A. C. Teixeira², José W S. Melo³ and Solange M. França⁴.

¹Department of Agronomy-Entomology, Federal Rural
University of Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros,
s/n, 52171-900 Recife, PE, Brazil, ²Department of Morphology and Animal Physiology, Federal
Rural University of Pernambuco, Dom Manoel de Medeiros,
s/n, 52171-900 Recife, PE, Brazil, ³Department of Plant Science – Entomology, Federal
University of Ceará - Campus do Pici, Avenida Mister Hull,
2977, CEP 60356-000 Fortaleza, CE, Brazil. ⁴ Universidade Federal do Piauí, Departamento
Agronomia Teresina-PI, Brazil.

¹Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, C.S. Teixeira, Á.A.C Teixeira, J.W.S. Melo & S.M. França. Resposta funcional em inimigos naturais e sua aplicação no manejo integrado de pragas. Sustentabilidade e meio ambiente: Rumos e estratégias para o futuro. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2021, v., p. 309-318

ABSTRACT - The activity of natural enemies (parasitoids and predators) is considered as one of the agents due to the biotic mortality that reduces insect-pest populations, and its applicability in constant care management programs. The functional response of a parasitoid / predator is a key piece that controls the population dynamics of predator-prey systems. It consists of the rate at which a predator kills its prey at different densities and can, determine, determine the efficiency of a predator in regulating prey populations. For this, a literature review was carried out between March 2021 and May 2021, in which data were collected from existing academic studies, articles in large circulation newspapers and bulletins from companies and public agencies selected through from the database of Scielo, Google Scholar, Science Direct, Pubmed and Capes Periodicals. Thus, it is concluded that, given such importance, a better understanding of the various factors that can interfere with the functional response is necessary, aiming at better results in pest management

KEYWORDS: biological control, parasitism, searching time, handling time.

RESUMO: A atividade de inimigos naturais (parasitóides e predadores) é considerada como um dos agentes significativos de mortalidade biótica que reduz as populações de insetos- pragas, e sua aplicabilidade em programas de manejo tem recebido atenção constante. A resposta funcional de um parasitóide/predador é uma peça chave que controla a dinâmica populacional dos sistemas predador-presa. Consiste na taxa na qual um predador mata suas presas em diferentes densidades e pode, portanto, determinar a eficiência de um predador na regulação das populações de presas. Para isso, foi feita uma revisão de literatura realizada entre os meses de Março a Junho de 2021, no qual foram coletados dados a partir de estudos acadêmicos já existentes, artigos em jornais de grande circulação e boletins de empresas e agências públicas selecionados através do banco de dados do Scielo, Google Acadêmico, Science Direct, Pubmed e Periódicos Capes. Assim, conclui-se que diante de tal importância, é necessária uma melhor compreensão dos diversos fatores que podem interferir na resposta funcional, objetivando melhores resultados no manejo de pragas.

PALAVRAS-CHAVE: Controle biológico; parasitismo; tempo de busca; tempo de manuseio.

Introdução

Os insetos parasitóides e predadores são os principais agentes que contribuem para o controle biológico de insetos pragas, economicamente importantes em ambientes agrícolas e naturais. Esses insetos dependem de uma variedade de estímulos, principalmente visuais, à medida que procuram hospedeiros, alimentos e parceiros em ecossistemas complexos. A eficiência do comportamento de busca de hospedeiro é um determinante crucial no desempenho reprodutivo de parasitóides/predadores fêmeas (Giunti *et al.* 2015).

Uma característica importante nos estudos ecológicos envolvendo parasitóides é determinar os atributos que tornam as espécies como agentes de biocontrole bem-sucedidos, como por exemplo, o seu comportamento individual em resposta ao aumento da densidade de hospedeiros em um determinado intervalo de tempo, comumente conhecido como resposta funcional (Fernández-Arhex & Corley, 2003; Mills & Lacan 2004). A natureza da resposta funcional determina se um parasitóide/predador é capaz de regular a densidade de seu hospedeiro/presa (Montoya *et al.* 2000, Yazdani & Keller 2016).

O estudo da resposta funcional é um dos recursos necessários para a seleção de inimigos naturais para programas de controle biológico (Moezipour *et al.* 2008). Da densidade de presas e predadores como duas variáveis que afetam o número de presas atacadas, surge então, dois componentes de predação, isto é, a resposta funcional e a resposta numérica (Holling 1961).

Os insetos necessitam de uma quantidade mínima de alimento para se manterem, crescer e reproduzir. Assim, quando há um aumento na disponibilidade de presas haverá um aumento no consumo, pois as chances de encontro serão maiores, sendo um tipo de resposta funcional. Por outro lado, uma população de predadores saciada por uma maior disponibilidade de presas terá maior chance de sobreviver e se reproduzir, resultando em um aumento populacional, sendo essa a resposta numérica (Fonseca *et al.* 2000). Ambas respostas, a numérica (uma resposta de

reprodução) e a funcional (uma resposta de predação/parasitismo) determinam a capacidade de regulação da população de pragas de um parasitóide/predador (Van Leteren *et al.* 2016).

Três tipos de resposta funcionais foram sugeridas originalmente por Holling (1959), respostas do tipo I, II, e III, que respectivamente descrevem curvas que são lineares, côncavas aumentando para uma assíntota e sigmóide (Figura 1), quando o número de hospedeiros parasitados por fêmea são plotados contra a densidade do hospedeiro. (Xu *et al.* 2015, Yazdani & Keller 2016).

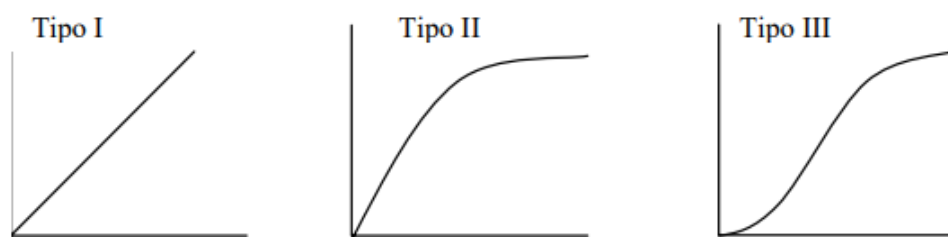


Figura 1: Curvas de Resposta Funcional (Holling 1959)

Entretanto, mesmo sendo o formato da curva de resposta funcional um fator considerável, é insuficiente como um critério para prever o sucesso ou o fracasso de um inimigo natural como agente de biocontrole. Outros fatores como resposta numérica, taxas de crescimento intrínsecas, manchas do hospedeiro, competição e complexidades ambientais (fatores abióticos e bióticos) também têm uma grande influência na eficiência de um predador no manejo de uma população de pragas (Jalali *et al.* 2009).

Os tipos de resposta funcional podem ser explicados pelas combinações de cinco componentes: tempo em que predador e presa ficam expostos; tempo de busca; tempo de manuseio, incluindo identificação, captura e consumo; fome e estímulo do predador para cada presa reconhecida (Tostowaryk 1972).

Holling modelou o tipo II usando a “Equação do Disco” onde, “ N_a ” é o número de hospedeiros atacados, “ a ” taxa de ataque, que relaciona a taxa de encontro com o hospedeiro a N_0 (a densidade inicial do hospedeiro), “ T ” o tempo total de busca disponível e T_h , o tempo de manuseio.

$$N_a = \frac{aTN_0}{1+aT_hN_0}$$

Como a resposta funcional determina a dependência da densidade da resposta de curto prazo de um predador à variação espacial e temporal na densidade da presa, há considerável interesse em fatores que podem afetar a forma desta resposta (Milonas *et al.* 2011).

Entender a relação entre parasitóide e hospedeiro é um objetivo principal na ecologia, e um fator significativo da relação parasitóide-hospedeiro é a taxa de alimentação do parasitóide sobre o hospedeiro (Skalski & Gilliam 2001).

Material e Métodos

Esta pesquisa constitui-se de uma revisão de literatura realizada entre os meses de Março de 2021 a Junho de 2021, em que foram levantados dados a partir de estudos acadêmicos já existentes, artigos em jornais de grande circulação e boletins de empresas e agências públicas. Os artigos científicos foram selecionados através da base de dados do Google acadêmico, Periódico Capes e Scifinder. A busca de dados foi realizada utilizando as terminologias preconizadas pelos descritores na área de ciências agronômicas em inglês, e, além disso, os artigos foram limitados aos anos de 1959 a 2020.

Discussão

TIPOS DE RESPOSTA FUNCIONAL

A resposta funcional é uma característica fundamental na dinâmica parasitóide-hospedeiro e é, um importante determinante da estabilidade do sistema proposto (Mckenzie *et al.* 2012).

No tipo I, o número de hospedeiros/presas mortos aumenta linearmente a um platô, onde a taxa de ataque é constante (independente de densidade), produzindo uma resposta linear até que a saciedade seja alcançada; no tipo II, uma ascensão curvilínea a um platô que então se estabiliza sob a influência do tempo de manuseio ou saciedade e na resposta predador/parasitóide, consistindo em uma desaceleração negativa onde a taxa de ataque diminui gradualmente (dependência de densidade inversa) se referindo ao ato de subjugar, matar e comer uma presa e, talvez limpar e descansar antes de prosseguir para procurar mais presas e por fim a; tipo III, onde ocorre um aumento sigmóide nas presas/hospedeiros atacados, nela a taxa de ataque aumenta e depois diminui gradualmente (dependência da densidade) até atingir um limite superior. Acredita-se que a forma sigmoidal seja o resultado de uma mudança na atividade de busca de predadores conforme a densidade da presa altera (Donnelly & Phillips, 2001, Menon *et al.* 2002, Moezipour *et al.* 2008).

As curvas de resposta funcional podem ser diferenciadas analisando os parâmetros: coeficiente de taxa de ataque e tempo de manipulação (tempo gasto para atacar, matar, subjugar e digerir a presa). O coeficiente da taxa de ataque estima a inclinação do aumento na predação com o aumento da densidade da presa, e o tempo de manipulação ajuda a estimar o limiar de saciedade (Shah & Khan 2013).

As três respostas funcionais mencionadas são baseadas na suposição de que os indivíduos presas agem independentemente uns dos outros. Em particular, eles não cooperam (Geritz & Gyllenberg 2012). A resposta funcional dos insetos parasitóides à densidade do hospedeiro é freqüentemente assumida como sendo do tipo II, com respostas do tipo III ocorrendo

ocasionalmente, sendo menos comum, e o tipo I sendo uma situação improvável (Mills & Lacan 2004).

Um parasitóide com resposta linear (tipo I) não exhibe o potencial teórico de controle do hospedeiro necessário para o controle biológico clássico, mas a presença de uma resposta linear é importante para a interação contínua do hospedeiro e do parasitóide, e podem ser mais comuns na natureza do que foi relatado (Kalyebi *et al.* 2005).

Os parasitóides *Pachycrepoideus vindemiae* (Hymenoptera: Pteromalidae) e *Trichopria drosophilae* (Hymenoptera: Diapriidae), demonstraram resposta funcional linear aos seus hospedeiros *Drosophila suzukii* e *D. melanogaster*, em condições de laboratório utilizadas, onde a resposta funcional de *P. vindemiae* foi limitada por seu suprimento de ovos e tempo (tempo de manuseio do hospedeiro) enquanto *T. drosophilae* foi limitada apenas pelo tempo (Kaçar *et al.* 2017).

Uma resposta funcional do tipo II pode desestabilizar a dinâmica parasitóide-hospedeiro, pois isso implica na mortalidade dependente da densidade inversa do hospedeiro (MILONAS *et al.* 2011).

As respostas funcionais de *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) a diferentes presas demonstrou resposta curvilínea do tipo II em que a maioria dos predadores matou a maioria das presas em baixas densidades e, em seguida, exibiu uma diminuição na taxa de predação em altas densidades (Donnelly & Phillips 2001).

Semelhantemente, *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) em ovos de *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) sob densidades crescentes de ovos foi observado um aumento gradual no número de ovos consumidos e uma tendência de estabilizar em densidades mais altas, que proporcionalmente, o consumo de ovos diminuiu com o aumento da densidade de ovos, indicando uma resposta funcional do tipo II (Mendes *et al.* 2018).

A eficiência do parasitismo em uma resposta funcional do tipo II reduz à medida que o tempo total de manuseio aumenta com a densidade do ovo do hospedeiro, enquanto o tipo III geralmente está relacionado a um aumento na atividade de busca quando as densidades do hospedeiro aumentam em baixas, mas não em altas densidades. (Farrokhi *et al.* 2010).

A resposta funcional dos parasitóides pode mudar de um tipo para outro conforme as condições ambientais mudam. Diferentes fatores abióticos e bióticos podem influenciar a resposta funcional, como temperatura e presas ou espécies hospedeiras, bem como variar de acordo com a densidade, linhagem ou idade do parasitóide e do hospedeiro. Essas mudanças podem ser devido a efeitos no comportamento de forrageamento dos parasitóides (Farrokhi *et al.* 2010, Milanez *et al.* 2018).

É também conhecido que a resposta funcional decorrente de estudos em laboratório pode ter diferenças com as que podem ser medidas em campo. (Montoya *et al.* 2000).

FATORES QUE AFETAM A RESPOSTA FUNCIONAL

A performance de um parasitóide/predador depende de várias características, sendo que a resposta funcional pode ser regulada por uma série de fatores, como planta hospedeira da presa, comportamento alimentar, espécie de presa e predador; e também temperatura, com capacidade de afetar o crescimento, desenvolvimento e comportamento de forrageamento do predador (Van Leteren *et al.* 2016 Islam *et al.* 2020).

O efeito da temperatura na resposta funcional de fêmeas adultas da joaninha predadora *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) sob diferentes densidades do pulgão *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), mostrou uma resposta funcional do tipo II do predador em três temperaturas testadas, variando de 19 °C a 27 °C, demonstrando que *A. bipunctata* exibe altas

taxas de predação em *M. persicae* para uma ampla gama de temperaturas, indicando seu potencial para liberações aumentativas contra este pulgão-praga (Jalali *et al.* 2009).

O parasitóide *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) a ovos de *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes temperaturas (20, 25 e 30 °C) e densidades de ovos (5, 10, 15, 20, 25 e 30 ovos) mostrou resposta funcional do tipo II para todas as temperaturas testadas, apresentando maior eficiência a 30 °C (Milanez *et al.* 2018).

Características da planta hospedeira, como densidade de tricomas, podem alterar os padrões de busca e tempos de permanência de predadores, alterando a eficiência de forrageamento. Por exemplo, o estabelecimento de *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) em tomateiros foi afetado pela pilosidade da planta, fazendo com que *N. californicus* exibisse uma forte resposta numérica e uma baixa resposta funcional. (Cédola *et al.* 2001).

Quando a estrutura do ambiente se torna mais complexa, o sucesso de forrageamento e as taxas de consumo diminuirão subsequentemente à medida que a obtenção de recursos se torna mais difícil (Hoddle, 2003).

O aumento da complexidade ambiental teve efeitos significativos na resposta funcional de *Franklinothrips orizabensis* (Thysanoptera: Aeolothripidae), quando *Scirtothrips perseae* (Thysanoptera: Thripidae) foi apresentado como presa. A resposta funcional do tipo II foi mais pronunciada em ambiente mais complexo. *S. perseae* apresentaram maior mortalidade em arena menos complexa (modelo círculo) e significativamente menos tripes foram mortos na arena mais complexa (modelo floco de neve) (Hoddle, 2003).

Pesticidas também podem interferir nas interações predador-presa, por exemplo, o tipo de resposta funcional e o tempo de manuseio da presa não foram alterados pelos pesticidas abamectina, azadiractina e fenpiroximato em *Neoseiulus baraki* (Acari: Phytoseiidae) em diferentes densidades de *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae). No entanto, a taxa de ataque foi

modificada por abamectina e fenpiroximate, e o pico de consumo foi reduzido por abamectina. Todos permitiram a manutenção do predador no campo, mas a exposição à abamectina e ao fenpiroximate comprometeu o consumo das presas (LIMA et al., 2015).

O pressuposto dos tipos de resposta funcional e seus parâmetros em tratamentos com compostos botânicos, incluindo óleos essenciais e extratos, são também fatores importantes em programas de MIP. Os óleos de *Allium sativum*, *Rosmarinus officinalis*, *Piper nigrum*, *Salvia officinalis*, e *Glycyrrhiza glabra* foram testados para o parasitóide *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) onde, *P. nigrum*, *S. officinalis* e *G. glabra* indicou resposta tipo II, e tipo III em *A. sativum* e *R. officinalis*. Além disso, o óleo essencial de *R. officinalis* e o controle apresentaram os tempos de manuseio mais longo (0,542 h) e mais curto (0,411 h), respectivamente. As maiores (0,047 h⁻¹) e menores (0,033 h⁻¹) taxas de ataque também foram registradas no controle e no óleo essencial de *R. officinalis*, respectivamente, indicando que esses óleos essenciais mudaram o comportamento e as outras atividades de parasitismo de *H. hebetor* (Asadi et al., 2018).

IMPORTÂNCIA DA RESPOSTA FUNCIONAL NO CONTROLE DE PRAGAS

Um objetivo importante dos estudos ecológicos de parasitóides/predadores é determinar os atributos que tornam as espécies agentes de biocontrole bem-sucedidos. O tipo de resposta funcional dada por um parasitóide/predador é de fundamental importância nas interações parasitóide/hospedeiro ou predador/presa, sendo um elemento que determinará sua eficiência no controle de pragas, e possivelmente, indicar o número de agentes necessários para a liberação dentro de programas de controle biológico (Vieira, 1995; Fernández-Arhex & Corley, 2003).

Exemplificando, adultos de *Neoseiulus bicaudus* (Acari: Phytoseiidae) podem ser agentes de controle biológico eficazes para as espécies de *Tetranychus truncatus* (Acari: Tetranychidae),

Tetranychus turkestanii (Acari: Tetranychidae) e *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) que frequentemente coexistem em plantações, onde *N. bicaudus* em todos os estágios de desenvolvimento exibiu uma resposta funcional do tipo II. *N. bicaudus* não exibiu preferência entre adultos de *T. truncatus* e adultos de *T. turkestanii*, independentemente da proporção de presas. E, claramente preferia larvas de *T. tabaci* de primeiro instar a adultos de *T. turkestanii* (Zhang *et al.*, 2017).

Em outro estudo, *Rhynocoris longifrons* (Hemiptera: Reduviidae) pôde preda mais *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) em altas densidades; no entanto, *R. longifrons* também reduziu consideravelmente *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae), *Dysdercus cingulatus* (Hemiptera: Pyrrhocoridae) do algodão, exibindo resposta funcional tipo II, onde seu potencial contra pragas pode ser devido à capacidade do predador em matar os estágios adultos de todas as espécies de presas avaliadas, de modo que poderia ser considerado um candidato em potencial para uso como agente de controle biológico para essas pragas (Sahayaraj *et al.*, 2012).

Em suma, a resposta funcional é um indicador preliminar amplamente aceito, onde um agente de controle biológico será ou não capaz de regular a densidade de sua presa abaixo de um limiar econômico ou ecologicamente relevante.

CONCLUSÃO

As taxas de predação/parasitismo obtidas através de inúmeros estudos para uma gama de densidades de presas/hospedeiros fornecem uma boa compreensão sobre a capacidade de reduzir as densidades de pragas. É somente através da compreensão dessas interações que podemos esperar desenvolver estratégias confiáveis para o controle biológico de pragas. O efeito da disponibilidade de recursos nas interações inter e intraespecíficas fornecerá uma visão melhor e ajudará a alcançar um nível mais alto de supressão do hospedeiro/presa.

Referências

- Asiri, M., H. Rafiee-Dastjerdi, G. Nouri-Ganbalani, B. Naseri & M. Hassanpour. 2018.** The effects of plant essential oils on the functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to its host. *Invertebr. Surviv. J.* 15: 169-182.
- Cédola, C.V., N.E. Sánchez & G.G. Liljesthröm. 2001.** Effect of tomato leaf hairiness on functional and numerical response of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) *Exp. Appl. Acarol.* 25: 819–831.
- Donnelly, B.E. & T.W Phillips. 2001.** Functional Response of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) - Effects of Prey Species and Habitat. *Environ. Entomol.* 30: 617–624.
- Farrokhi, S., A. Ashouri, J. Shirazi, H. Allahvari & M.E Huigens. 2010.** A Comparative Study on the Functional Response of *Wolbachia*-Infected and Uninfected Forms of the Parasitoid Wasp *Trichogramma brassicae*. *J. Insect Sci.*, 10: 1–11.
- Fernández-Arhex, V. & J.C Corley. 2003.** The Functional Response of Parasitoids and its Implications for Biological Control. *Biocontrol Sci. Technol.* 13: 403–413.
- Fonseca, A.R., C.F. Carvalho & B. Souza. 2000.** Resposta funcional de *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). *An Soc Entomol Bras.* 29: 309-317.
- Geritz, S.A.H. & M. Gyllenberg. 2012.** Group defence and the predator's functional response. *J. Math. Biol.* 66: 705–717.
- Giunti, G., A. Canale, R.H. Messing, E. Donati, C. Stefanini, J.P. Michaud & G. Benelli. 2015.** Parasitoid learning: Current knowledge and implications for biological control. *Biol. Control*, 90: 208–219.
- Hoddle, M.S. 2003.** The effect of prey species and environmental complexity on the functional response of *Franklinothrips orizabensis*: a test of the fractal foraging model. *Ecol. Entomol.* 28: 309–318.
- Holling, C.S. 1959.** The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Entomol.* 91: 293–320.
- Holling, C.S. 1961.** Principles of insect predation. *Annu. Rev. Entomol.* 6: 163- 182.
- Islam, Y., F.M. Shah, M.A. Shah, M.M. Khan, M.A. Rasheed, S.U. Rehman, X. Zhou. 2015.** Temperature-Dependent Functional Response of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) on the eggs of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in laboratory. *Insects.* 11: 583.

- Kaçar, G., X.G. Wang, A. Biondi, K.M. Daane. 2017.** Linear functional response by two pupal *Drosophila* parasitoids foraging within single or multiple patch environments. *Plos One*. 12: 1-17.
- Kalyebi, A., W.A. Overholt, F. Schulthess, J.M. Mueke, S.A. Hassan & S. Sithantham. 2005.** Functional response of six indigenous trichogrammatid egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Kenya: influence of temperature and relative humidity. *Biol. Control*. 32: 164–171.
- Lima, D.B., J.W.S. Melo, M.G.C. Gondim, R.N.C. Guedes, J.E.M. Oliveira & A. Pallini. 2015.** Acaricide-impaired functional predation response of the phytoseiid mite *Neoseiulus baraki* to the coconut mite *Aceria guerreronis*. *Ecotoxicology*. 24: 1124–1130.
- Mckenzie, H.W., E.H. Merrill, R.J. Spiteri & M.A. Lewis. 2012.** How linear features alter predator movement and the functional response. *Interface Focus*. 2: 205–216.
- Mendes, J.A., D.B. Lima, E.P.S. Neto, M.G.C. Gondim Jr & J.W.S. Melo. 2018.** Functional response of *Amblyseius largoensis* to *Raoiella indica* eggs is mediated by previous feeding experience. *Syst. Appl. Acarol.* 23: 1907-1914.
- Menon, A., P.W. Flinn & B.A. Dover. 2002.** Influence of temperature on the functional response of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae), a parasitoid of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.* 38: 463–469.
- Milanez, A.M., J.R. Carvalho, V.L.S. Lima & D. Pratissoli. 2018.** Functional response of *Trichogramma pretiosum* on *Trichoplusia ni* eggs at different temperatures and egg densities. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 53: 641–645.
- Mills, N.J. & I. Lacan. 2004.** Ratio dependence in the functional response of insect parasitoids: evidence from *Trichogramma minutum* foraging for eggs in small host patches. *Ecol. Entomol.* 29: 208–216.
- Milonas, P.G., D.C. Kontodimas, A.F. Martinou. 2011.** A predator's functional response: Influence of prey species and size. *Biol Control*. 59: 141–146.
- Moezipour, M., M. Kafil & H. Allahyari. 2008.** Functional response of *Trichogramma brassicae* at different temperatures and relative humidities. *Bull. Insectology*. 61: 245-250.
- Montoya, P., P. Liedo, B. Benrey, J.F. Barrera, J. Cancino & M. Aluja. 2000.** Functional Response and Superparasitism by *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), a Parasitoid of Fruit Flies (Diptera: Tephritidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93: 47–54.
- Sahayaraj, K., S. Kalidas & M. Tomson. 2012.** Stage preference and functional response of *Rhynocoris longifrons* (Stål) (Hemiptera: Reduviidae) on three hemipteran cotton pests. *Braz Arch Biol Technol [online]*. 55: 733-740.

- Shah, M.A. & A.A. Khan. 2013.** Functional response- A function of predator and prey species. The Bioscan. 8: 751-758.
- Skalski, G.T. & J.F. Gilliam. 2001.** Functional responses with predator interference: Viable alternatives to the Holling type II model. Ecology. 82: 3083–3092.
- Tostowaryk, W. 1972.** The effect of prey defense on the functional response of *Podisus modestus* (Hemiptera: Pentatomidae) to densities of the sawflies *Neodiprion swainei* and *N. pratti banksianae* (Hymenoptera: Neodiprionidae). Can. Entomol. 104: .61-69.
- Van Leteren, J., L. Hemerik, J. Lins & V. Bueno. 2016.** Functional responses of three neotropical mirid predators to eggs of *Tuta absoluta* on tomato. Insects. 7: 34.
- Vieira, G.F. 1995.** Resposta funcional e numérica de *Scymnus* (Pullus) *argentinus* (Weise, 1906) (Coleoptera: Coccinellidae) a diferentes densidades do pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae). Dissertação de Mestrado, UFLA, Lavras-MG.
- Xu, H.Y., N.W. Yang, M. Duan & F.H. WAN. 2015.** Functional response, host stage preference and interference of two whitefly parasitoids. Insect Science. 23: 134–144.
- Yazdani, M. & M. Keller. 2016.** The shape of the functional response curve of *Dolichogenidea tasmanica* (Hymenoptera: Braconidae) is affected by recent experience. Biol Control. 97: 63–69.
- Zhang, Y.N., J.Y.Q. Jiang, Y.J. Zhang, Y. Qiu, J.P. Zhang. 2017.** Functional Response and Prey Preference of *Neoseiulus bicaudus* (Mesostigmata: Phytoseiidae) to Three Important Pests in Xinjiang, China. Environ. Entomol. 46: 538–543.

CAPÍTULO 3

SUBLETAL EFFECTS OF SOME ESSENTIAL OILS ON THE NUTRITION AND BIOLOGICAL PARAMETERS OF *Neoleucinodes elegantalis* GUENÉE (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND ITS SELECTIVITY TO *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)¹

Milena L. G. Santana¹, Valéria W.-Teixeira², Carolina A. Guedes¹, Glaucilane S. Cruz¹,
Maria C. N. Ferreira,¹ Kamilla A. Dutra³, Daniela M. A. F. Navarro³, Rafaela S. M. Garcia¹,
Clóvis J. C. L.-Neto², José W S. Melo⁴ and Álvaro A. C. Teixeira²

¹Department of Agronomy-Entomology, Federal Rural University of Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900 Recife, PE, Brazil, ²Department of Morphology and Animal Physiology, Federal Rural University of Pernambuco, Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900 Recife, PE, Brazil, ³Department of Fundamental Chemistry, Federal Rural University of Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, 50670-901 Recife, PE, Brazil, ⁴Department of Plant Science – Entomology, Federal University of Ceará - Campus do Pici, Avenida Mister Hull, 2977, CEP 60356-000 Fortaleza, CE, Brazil

¹Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, M.C.N. Ferreira, K.A. Dutra, D.M.A.F. Navarro, R.S.M. Garcia, C.J.C.L. Neto, J.W.S. Melo & Á.A.C Teixeira. Sublethal effects of some essential oils on the nutrition and biological parameters of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and its selectivity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). International Journal of Tropical Insect Science 42: 3609–3621.

ABSTRACT - Despite advances, few studies have correlated essential oils and tomato fruit borer, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée), a pest of several solanaceae. *Origanum majorana* L. and *Copaifera officinalis* L. stand out for causing changes in the biology and nutrition of some pests. The research aimed to study the correlation between the efficiency of these oils on the *N. elegantalis* management, their effects, and its interference in the biological parameters on the egg parasitoids *Trichogramma pretiosum*. The chemical analysis revealed that the compound in *O. majorana* oil belonged mainly to monoterpene class. While in the *C. officinalis* belonged mainly to the sesquiterpenes. The LC₅₀ were 667.90 and 1169.71 ppm for *O. majorana* and *C. officinalis* oils, respectively. *C. officinalis* affected the biological parameters of *N. elegantalis* negatively, causing lengthening of the larval development and reduction in the pre-pupal and pupal weight. *O. majorana* interfered with biochemical parameters of *N. elegantalis*. The oil of *C. officinalis* was selective in the management of *T. pretiosum*, not interfering with parasitism and the emergence of adults, therefore indicated to the concept of the IPM (Integrated Pest Management), since it only effects on the pest.

KEYWORDS: Biology, essential oils, nutritional components, tomato fruit borer.

EFEITOS SUBLETAIS DE ALGUNS ÓLEOS ESSENCIAIS NA NUTRIÇÃO E
PARÂMETROS BIOLÓGICOS DE *Neoleucinodes elegantalis* (GUENÉE) (LEPIDOPTERA:
CRAMBIDAE) E SUA SELETIVIDADE A *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA:
TRICHOGRAMMATIDAE)

RESUMO – Apesar dos avanços, poucos estudos têm correlacionado os óleos essenciais e a broca-do-tomateiro, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée), praga de diversas solanáceas. *Origanum majorana* L. e *Copaifera officinalis* L. destacam-se por causarem alterações na biologia e nutrição de algumas pragas. A pesquisa teve como objetivo estudar a correlação entre a eficiência desses óleos no manejo de *N. elegantalis*, seus efeitos e sua interferência nos parâmetros biológicos dos parasitóides de ovos *Trichogramma pretiosum*. A análise química revelou que o composto no óleo de *O. majorana* pertence principalmente à classe dos monoterpenos. Enquanto no *C. officinalis* pertence principalmente aos sesquiterpenos. A CL₅₀ foi de 667,90 e 1169,71 ppm para os óleos de *O. majorana* e *C. officinalis*, respectivamente. *C. officinalis* afetou negativamente os parâmetros biológicos de *N. elegantalis*, causando alongamento do desenvolvimento larval e redução do peso pré-pupal e pupal. *O. majorana* interferiu nos parâmetros bioquímicos de *N. elegantalis*. O óleo de *C. officinalis* foi seletivo no manejo de *T. pretiosum*, não interferindo no parasitismo e na emergência de adultos, portanto indicado ao conceito do MIP (Manejo Integrado de Pragas), pois atua apenas sobre a praga.

PALAVRAS-CHAVE: Biologia, óleos essenciais, componentes nutricionais, broca pequena do tomate.

Introduction

Neoleucinodes elegantalis (Guenée) is considered the most devastating pest of the tomato crop (Picanço *et al.* 2007, Diaz *et al.* 2011, EPPO 2015, Silva *et al.* 2017). The difficulty of its control is due to its endophytic habit. The larvae of the first instar penetrate the fruits a few minutes after hatching and remain until they complete the pre-pupal stage, causing damage and losses in production ranging from 50 to 90% (Pontes *et al.* 2010, Montilla *et al.* 2013, Moraes & Foerster 2015). Synthetic insecticides are the main control method against this pest, but their frequent use, increased dosage, and improper application facilitate pest resurgence, leave residues on food, contaminate the environment, and affect natural enemies (Silva *et al.* 2020).

The study of essential oils has grown recently to focus on investigating substances that guarantee effectiveness in the control of pest insects and safety for natural enemies (Guerra *et al.* 2019). Although the mortality factor is an essential characteristic when the objective is to keep a population below the economic level of control, several other changes can be observed when using these substances and they can contribute to population reductions (Asiri *et al.* 2020). The sublethal effects of essential oils on insect pests are diverse and include: feeding deterrence or inhibition, alteration in the rate of development, damage to the intestine, alteration in enzymatic activities, nutritional alteration, morphological changes, impairment of longevity and fecundity, among others (Haddi *et al.* 2020).

Despite several studies with essential oils and lepidopteran pests, some agricultural systems still need improvement, especially in those where pests can develop cryptically (inside the fruits) requiring a perfect adjustment of the application time, as is the case of *N. elegantalis* (Silva *et al.* 2018a). In general, insecticides become ineffective after the penetration of immature fruit, which has led producers to adopt the almost exclusive use of synthetic insecticides, applied according to pre-established schedules (Guedes *et al.* 2016, Silva *et al.* 2017, 2018b). Thus, a product that can

quickly eliminate eggs and immature (newly emerged larvae) is crucial for the management of *N. elegantalis* (Fragoso *et al.* 2021). It is also added that the products available for the control of *N. elegantalis* do not present adulticidal activity (Silva *et al.* 2018b), and are often incompatible with biological control agents.

The importance of studying substances that do not affect natural enemies is due to the need to mitigate the environmental impacts of currently used insecticides (Guedes *et al.* 2016). Among the biological control agents of *N. elegantalis*, stands out the parasitoid *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an excellent egg parasitoid lepidopteran (Witting *et al.* 2007). The widespread use of species of *Trichogramma* as biological control agents is due to their ease of rearing on alternative hosts, highly aggressive parasitism and their wide geographic distribution (Parreira *et al.* 2018a).

The selectivity of the essential oils is just one of their potential advantages also stand out for presenting potential insecticidal action against a wide range of arthropod-pests, presenting rapid degradation and low environmental impact, compatible with precepts of Integrated Pest Management (IPM). Despite the potential for use within the context of the IPM, few plant systems and species have been explored (Purwatiningsih *et al.* 2012, González *et al.* 2013, Poorjavad *et al.* 2014).

Thus, this research aims to study the effects of *Origanum majorana* L and *Copaifera officinalis* L. oils compared to formulated products Azamax[®] and Decis[®] on the biological and nutritional parameters of *N. elegantalis*. It also aims to evaluate the effects of these oils on *T. pretiosum* (parasitism, emergence sex ratio and longevity).

Material and Methods

Insects. Immatures of *N. elegantalis* were captured on infested tomato fruits obtained from commercial crops in Pernambuco State (Camocim de São Félix, 8° 21' 31" S; 35° 45' 43" W and Bezerros, 8° 14' S; 35° 48' W). Infested fruits, were kept in plastic trays covered with paper towels and voile until the caterpillars reached the last larval instar, when they abandoned the fruits, passing the pupal stage on the paper towel. Subsequently, pupae were placed in wooden and organza screened cages (60 × 60 × 60 cm) until the emergence of the adults, who were fed with a 10% sucrose solution. Unripe tomato fruits of about 3 cm in diameter of the Yoshimatsu variety were placed in plastic containers (500 mL) containing water and changed daily, for the oviposition of *N. elegantalis*. The eggs were transferred to organic *Solanum gilo* fruits (obtained from commercial establishments) of about 7 cm in length. The fruits were kept in plastic trays covered with paper towels for about 15 days, until the caterpillars reached the last larval instar, when they abandoned the fruits, passing the pupal stage on the paper towel. The rearing conditions were 26 ± 2 °C, 70 ± 10% relative humidity (RH), and 12:12 h (L:D) photocycle. *T. pretiosum* were obtained from PROMIP Manejo Integrado de Pragas (Piracicaba, SP, Brazil) and reared on eggs of *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) following the methodology described by Parra et al. (2010). The rearing conditions were 25 ± 1 °C, 70 ± 10% relative humidity (RH), and 12:12 h (L:D) photocycle.

Tomato plants. Tomato plants (variety Yoshimatsu) were sown in an experimental area at UFRPE. The tomato seedlings were transplanted when they had four definitive leaves. Cultural practices such as pruning, tying and staking, and fertilization was performed as per crop recommendations.

Essential oils. The essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis* were obtained from Ferquima Ind. and Com. Ltda. (Vargem Grande Paulista, SP, Brazil). The technical information on these

products and their quality parameters (color, purity, odor, density) at 20 °C are described in a technical report on the company website. <<http://ferquima.com.br>>. The insecticides azadirachtin (Azamax[®]) (Grow Plant, Vila Pompeia - São Paulo, Brazil) and deltamethrin (Decis[®]) (Bayer, São Paulo, Brazil) were acquired from the resellers of pesticides in Recife-PE.

Chemical identification of essential oils. The chemical composition analysis of the essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis* was carried out at the Laboratory of Chemical Ecology of Federal University of Pernambuco (UFPE). The chemical composition analysis of the essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis* was carried out at the Laboratory of Chemical Ecology of Federal University of Pernambuco (UFPE). The essential oils were analyzed qualitatively by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC/MS). The process was done using Agilent 5975 C Series GC/MS quadrupole system (Agilent Technologies, Palo Alto, CA) equipped with a DB-5 apolar column (Agilent J & W; 60 m × 0.25 mm, 0.25 µm film thickness). The solution of 1.0 µL of known concentration, containing the essential oil diluted in hexane was injected in a 1:20 split, as well as the solution of the hydrocarbon standards mixture: C9-C34. This hexane solution was composed of commercial standards from Sigma-Aldrich[®] (São Paulo, Brazil). The temperature of the gas chromatograph was held at 60 °C for 3 min, then raised by 2.5 °C/min to reach 240 °C, which was maintained for 10 min. The helium flow was maintained at a constant pressure of 100 kPa. The mass spectrometry interface was set at 200 °C, and the mass spectra were recorded at 70 eV (in EI mode) with a scan rate of 0.5 scan/sec at 20 – 350 m/z. From the retention times of the compounds in the essential oil sample, in the hydrocarbon standard and the combination of the essential oil with the mixture of this standard, the retention index for each component of the oil was calculated according to the Van den Doll and Kratz (1963) equation. The components of essential oils were previously identified by similarity of the retention index values and later confirmed by comparing the respective mass spectra with those available in the GC/MS library:

MassFinder 4, NIST08 and Wiley Registry TM 9th Edition and with those described by Adams (2009). Finally, the peak areas in the chromatograms were integrated to obtain the total ionic signal and its values used to determine the respective relative proportions for each compound.

Ovicidal bioassay. The treatments consisted of diluting *O. majorana* oil in DMSO (Dimethyl Sulfoxide) and diluting *C. officinalis* oil in acetone according to the methodology described by Prajapati et al. (2005). Concentrations 50, 500, 1000, 2000, 5000 and 8000 ppm were obtained for *O. majorana* oil and 10, 150, 500, 2000, 5000 and 8000 ppm for *C. officinalis* oil. The concentrations were reached through preliminary tests aiming to obtain mortality of around 5 and 95% for the establishment of the definitive concentrations. The bioassay consisted of spraying 20 or 50 eggs with *O. majorana* or *C. officinalis* oils respectively. The eggs were placed in Petri dishes, and five repetitions were performed for each treatment. Control treatment eggs received only the solvent solution. The egg non-viability was evaluated with the count of hatched caterpillars after 72 h (the incubation period for the *N. elegantalis* eggs) from the installation of the experiment. For the obtaining of the definitive concentrations, the data were submitted to a probit analysis through the SAS PROC PROBIT program to obtain the LC₅₀ used in the subsequent experiments (SAS Institute 2002).

Effects of the essential oils and formulated products on the biology of *Neoleucinodes elegantalis*. In order to assess the effect of the essential oils and formulated products on the biology of *N. elegantalis*, sublethal bioassays were carried out. Tomato plants with fruits were placed in rearing units and maintained with *N. elegantalis* adults for oviposition. The fruits were collected after 48 h, only 8 eggs were kept per fruit the rest were carefully removed with a fine brush. The places in the fruits where the eggs were deposited were marked with a permanent pen. The fruits were sprayed with the LC₅₀ of the oils and commercial concentrations were used for the formulated products: azadirachtin (AzaMax[®] 0.6 mg/L), and deltamethrin (Decis[®] 12.5 mg/L).

The control was sprayed with distilled water + the oil diluents (DMSO (1.4 μ L) for *O. majorana* and acetone (1.4 μ L) for *C. officinalis*). The number of entrance holes were counted 48, 72 and 96 h after spraying. The count of the number of exit holes per fruit was performed 21 days after spraying. The following biological parameters were evaluated: the period of larval development, pre-pupal weight, pupal weight (24 h) and pupal period (days). The caterpillars and pupae were kept in flat bottom glass tubes (25 $\times$ 85 mm) sealed with plastic film until the emergence of adults. Subsequently, 10 couples were formed with the surviving adults and placed in plastic pots containing fruits and tomato leaves as a substrate for oviposition. Adults were fed with a 10% sucrose solution and kept in a climatized chamber. Eggs were collected daily and placed in 10 cm Petri dishes, containing wet filter paper, according to the methodology described by Eiras and Blackmer (2003), and kept in controlled conditions. The total number of eggs and the number of hatched larvae were counted, with 10 replications per treatment. The number of entrance and exit holes data did not assume normality and homogeneity, even after transformations, and was submitted to the non-parametric Kruskal-Wallis test at 5% significance level. The parameters of larval development, pre-pupal weight, pupal weight, pupal period, number and viability of eggs assumed normality and homogeneity and were subjected to analysis of variance (ANOVA). The means were compared by the Tukey test at 5% of significance (SAS Institute 2002).

Extraction and quantification of total soluble proteins. For these experiments, 48 h adults were used. They were sprayed using the LC_{50} of essential oils and the commercial concentration of the formulated products. Each sample was composed of two adults, and 10 samples were obtained for each treatment, totaling 20 adults/treatment. To determine soluble proteins, the Bradford (1976) method was used. Processing took place 48 h after the beginning of the experiments. The adults were immobilized at a temperature of 4 °C and, subsequently, macerated in sodium phosphate buffer (pH 7.4 and 0.1 M) in the proportion of 2 adults/500 μ L of the buffer. A 500 μ L of the

mixture (adults + buffer) was removed with a pipette and stored in a properly labeled microtubule. All the procedure was carried out at low temperature to avoid oxidation of the samples. They were centrifuged for 3 min at 3,000 rpm. After centrifugation, 100 μ L of each sample was taken and placed in glass tubes for centrifugation with 5 mL of Bradford dye (0.01% Coomassie Blue G-250; 8.5% phosphoric acid and 4.7% ethanol). The tubes were homogenized on a vortex mixer and left for 2 min. Subsequently, a spectrophotometer reading at a wavelength of 595 nm was performed. The male and female data assumed normality and homogeneity and were subjected to ANOVA. The means were compared by the Tukey test at 5% of significance (SAS Institute 2002).

Lipid, total sugar and glycogen analysis. The maceration in sodium phosphate buffer (pH 7.4 and 0.1 M) was performed with 48 h adults in a ratio of two adults/500 μ L of the buffer. Each sample consisted of two adults and for each treatment, 10 samples were obtained, totaling 20 adults/treatment. The content of lipid, total sugar and glycogen were evaluated, using the method by Van Handel (1985a; Handel (1985b), where 200 μ L of the homogenate was added with 200 μ L of sodium sulfate plus 800 μ L of methanol and chloroform (1:1) and centrifuged at 3000 rpm for 3 min. The precipitate was used for the glycogen analysis and the supernatant was transferred to a test tube, where the lipid and sugar were separated. The lipid was analyzed in a spectrophotometer using the phosphoric acid-vanillin method and total sugar and glycogen used the sulfuric acid-anthrone method. The absorbance was read at 625 nm. The lipid data, for male and female, did not assume normality and homogeneity, and was submitted to the nonparametric Kruskal-Wallis test at 5% significance level. The total sugar in females, were transformed into $\sqrt{(x + 0.5)}$ to assume normality and homogeneity, submitted to ANOVA, and the means were submitted to the Tukey test at 5%. In males, it was necessary to use the Kruskal-Wallis nonparametric test at 5% significance. For glycogen in females, the Kruskal-Wallis nonparametric test was also used at 5%

significance, and in males, the data were transformed into $\sqrt{(x + 1)}$, subjected to ANOVA, and the means were submitted to the Tukey test at 5% (SAS Institute 2002).

Effects of the essential oils and formulated products on the biology and parasitism of *T. pretiosum*.

Eggs of *N. elegantalis* were sprayed with LC_{50} of essential oils (667.90 mg mL⁻¹ for *O. majorana* and 1169.71 mg mL⁻¹ for *C. officinalis*) or with the commercial doses of the formulated products. After spraying, 20 eggs were carefully collected and glued to card (1.5 × 7.0 cm) with arabic gum. The card were placed inside flat-bottomed glass tube (2,5 in diameter x 8,5 cm in high), which contained a female parasitoid (0–12 h of age) and was covered with plastic film. Each tube corresponded to one replicate, and 6 replicates were used. Females was allowed to parasitize the eggs for 24 h, after which they were withdrawn and discarded. The tubes were subsequently checked for adult emergence once per day. The following parameters were evaluated: percentage of parasitism, percentage of emergence, adult longevity and sex ratio (RS = emerged females/total emerged parasitoids). The reduction in the parasitism rate (PR) and in emergence of the parasitoids (ER) was determined by comparison with the control and calculated using the formula: RP or RE = $(1 - TR/CR) \times 100$, where PR or ER: average percentage of parasitism or emergency reduction (%); TR: value of parasitism or emergence mean for each treatment; and CR: parasitism or emergence mean observed in the control. After calculating the reduction for both parasitism rate (PR) and emergence of the parasitoids (ER), the essential oils and formulated products were classified as (1) harmless (< 30%); (2) slightly harmful (30–79%); (3) moderately harmful (80–99%); and (4) harmful (> 99%) (Sterk et al. 1999). Data were submitted to the tests to verify the normality of their residuals and the homogeneity of their variances (Kolmogorov and Bartlett, respectively). When the data that met these assumptions, they were submitted to analysis of variance (ANOVA) follow by Tukey test ($P = 0.05$) and when the data did not meet the requirements for ANOVA, the most adequate transformation was used,

and if they still did not present normal residuals and homogeneous variances the data were submitted to non-parametric tests (Kruskal–Wallis test). All analyses were conducted using the SAS software (SAS Institute 2002).

Results

Chemical identification of the essential oils. The gas chromatography-mass spectrometry enabled the identification of 52 components of the essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis* (Table 1). The essential oil of *O. majorana* is predominantly formed by monoterpenes, 97.16% of the oil, and its major constituents are particularly from this class of compounds: terpinen-4-ol (25.97%), E-sabinene hydrate (15.19%), γ -terpinene (13.67%), α -terpinene (8.29%), Z-sabinene hydrate (7.05%) and sabinene (6.07%). In contrast, the essential oil of *C. officinalis* is exclusively rich in sesquiterpenes, in 98.60%, and its major component is E-caryophyllene (53.89%), a common component for both oils analyzed in this study.

Ovicidal bioassay. The mortality data from the concentration-response curves showed χ^2 values (< 9.05) and high P values (> 0.06), indicating the suitability of the Probit model. The LC_{50} were estimated and used in bioassays to assess its effects on the development and egg-laying performance of *N. elegantalis*. The LC_{50} of *O. majorana* was 667.90 mg mL⁻¹ (522.37– 833.00) and *C. officinalis* was 1169.71 mg mL⁻¹ (708.79- 1990.60). Since the confidence intervals overlap, they are not statistically different (Table 2; Fig 1).

Effects of the essential oils and formulated products on the biology of *N. elegantalis*. The essential oils and the formulated products caused a significant reduction in the number of entrance and exit holes of caterpillars in the fruits ($\chi^2 = 28.06$; $P < 0.001$), compared to the control (Table 3). The oils and the formulated products increased the larval development period of *N. elegantalis* when compared to the control (unexposed eggs), except the *O. majorana* oil, which did not differ

from the control. Only the essential oil of *C. officinalis* and the deltamethrin significantly reduced the pre-pupal weight, the oil of *C. officinalis* also caused a reduction in pupal weight. The pupal period did not differ from the control (Table 4). There was no effect of the exposed *N. elegantalis* eggs to oils and the formulated products on the reproduction of their adults (number of eggs and viability of eggs) (Table 5).

Biochemical parameters analysis of *N. elegantalis* adults submitted to essential oils and formulated products. In females, the oil *O. majorana* was the only treatment that changed the total soluble proteins (~ 57% of reduction) (Fig. 2A). The oils and the formulated products increased the lipids (at least 105% increase in relation to the control) (Fig. 2) and glycogen content (at least 307% increase in relation to the control) (Fig. 2C). The treatments did not change the total sugar (Fig. 2D). In males, the oil *C. officinalis* was the only treatment that changed the total soluble proteins (~ 38% of increase) (Fig. 3A). The oil *C. officinalis* increased (~ 84%) and Azamax[®] reduced (~ 25%) the amount of this constituent in relation to the control (Fig. 3B). In the glycogen and total sugar analysis, the treatments *C. officinalis* oil, deltamethrin and azadirachtin increase the amount of these constituents (~ 216, 272 and 135% of increase in relation to the control for glycogen and ~ 147, 296 and 303% of increase in relation to the control for sugar, respectively) (Fig. 3C and 3D).

Effects of the essential oils and formulated products on the biology and parasitism of *T. pretiosum*. The longevity and sex ratio were not affected by the oils or formulated products ($\chi^2 = 0.87$; df = 4; P = 0.9275). The reductions in the parasitism rate (PR) and in emergence of the parasitoids (ER) as well as the classification of toxicity according to the IOBC standards are shown in Table 6. Taking into account both parameters (parasitism rate and parasitoid emergence) only the oil *C. officinalis* was harmless (class 1) to *T. pretiosum*.

Discussion

The results of the present study demonstrated that: (i) essential oils from *O. majorana* and *C. officinalis* differ in their chemical composition and major components; (ii) both essential oils have insecticidal activity against eggs from *N. elegantalis*; (iii) both essential oils (*O. majorana* and *C. officinalis*) when applied in their respective CL₅₀ as the formulated products (azadirachtin and deltamethrin) in their respective recommended doses compromised biological and biochemical parameters of *N. elegantalis*; and (iv) just the essential oil of *C. officinalis* proved to be innocuous to the parasitoid *T. pretiosum* agent of *N. elegantalis*.

Monoterpenes were the major constituents of the essential oil of *O. majorana*, while sesquiterpenes were major constituents of the essential oil of *C. officinalis*. Among the monoterpenes present in the essential oil of *O. majorana*, terpinen-4-ol stands out for representing 97.16% of the monoterpenes present. A contrasting result was obtained by Karaborklu et al. (2011), where linalool was the major component of the essential oil of *O. majorana*. This contrast highlights and reinforces the chemical variability already demonstrated between plants of the same species (Bakkali et al. 2008, Morais 2009, Moraes et al. 2014). It is also noteworthy that Verma et al. (2016) demonstrated that the essential oil composition of *O. majorana* is changed during the post-harvest drying process, and when this is shaded, the constituent terpinen-4-ol can become the majority. Which can explain the composition obtained in this study. Few studies have investigated the chemical composition of oil from *C. officinalis*. A recent review documented the chemical composition of species of the *Copaifera* genus, demonstrating that the major constituents of the volatile fraction are sesquiterpenes, especially caryophyllene, copaene and humulene (Arruda et al. 2019). In the present study, among the sesquiterpenes (major constituents), the E-caryophyllene was highlighted, which represented 98.6% of the sesquiterpenes present in the oil of *C. officinalis*.

The constituents terpinen-4-ol and E-caryophyllene are terpenoids commonly found in essential oils of many plants. Such constituents have insecticidal or repellent activities against a wide range of insects (Kamanula *et al.* 2017, Eljazi *et al.* 2017, Liao *et al.* 2016, 2017, Mbata and Payton 2013, Liu *et al.* 2012). The action of the constituents terpinen-4-ol and E-caryophyllene are still unknown. However, some studies with essential oils where terpinen-4-ol is the major component demonstrate neurotoxic action, acting as acetylcholinesterase inhibitors and/or receptor antagonists of octopamine (Isman 2000, Abbassy *et al.* 2009, Liao *et al.* 2017). Since these constituents were found in the tested oils and represent their major constituents, the insecticidal action of the oils on eggs of *N. elegantalis* was expected.

In addition to lethal effects (mortality), synthetic or biorational insecticides (such as essential oils, for example) can exhibit modes of action that include interruptions in relevant behavior (e.g., feeding, gas exchange, antipredation, among others) (Isman 2000, Haddi *et al.* 2020). These effects included a reduction in the number of inlet and outlet perforations in the fruit, increased duration of the larval period, reduction in prepupae and pupae weight. The reduction in the number of inlet perforations can be explained by the lethal action of oils on newly emerged eggs and larvae or by potential irritability and/or oil repellency behaviors. The increase in the larval development period and reduction in prepupae and pupae weight can be explained by changes related to reduced feeding and/or low conversion of food into biomass for the insect (source). The increase in the duration of the larval phase occurs so that the organism can reach its necessary weight for the instar change (Tanzubil & McCafferry 1990).

Biorational insecticides can also alter the levels of various biochemical components such as lipids, carbohydrates and proteins in the target organism's body, altering vital components, reducing their activity and even leading to death (Medhini *et al.* 2012, Ali & Ibrahim 2018). The amount of total protein was reduced in females after exposure to *O. majorana* essential oil and

increased in males after exposure to *C. officinalis* oil. The reduction of total proteins in insects after exposure to essential oils has been documented by several authors (El-Naggar & Abdel-Fattah 1999, El-Bermawy & Abdel-Fattah 2000, Christian *et al.* 2007, Marei *et al.* 2009, Sayed *et al.* 2011, Ali *et al.* 2017, Medhini *et al.* 2012). Similar results were obtained by Ahmed *et al.* (2022) using clove and ginger oils on 3rd instar larvae of the tomato leafminer, *Tuta absoluta*. Since the amount of protein in the insect's body is related to the rate of biosynthesis and the rate of protein degradation into amino acids (Medhini *et al.* 2012). The protein reduction observed in the present study can be explained, in part, by the increase in breaking down of proteins into amino acids to detoxify the oil's constituents and help the insect recover from the stress caused by the essential oil (Nath *et al.* 1997, Vijayaraghavan & Chitra 2002, Ali *et al.* 2014). Another possibility concerns an antifeed action caused by the oil, leading to less food consumption and, consequently, less protein biosynthesis (Rodríguez & Vendramim 1998). In addition, it is still possible that there are deficiencies in feed conversion, caused by some damage to the epithelium of the digestive tract and/or reallocation of energy reserves to detoxify the toxic substances present in the oil.

The exposure to essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis* as well as to the formulated products azadiractin and deltamethrin led to an increase in lipids, carbohydrates and total sugar in females (although the increase in the latter is not significant). Conflicting results (reduction, increment or no change) have been observed regarding the constitution of the body of insects after exposure to essential oils (Shin *et al.* 2001, Marei *et al.* 2009, Askar *et al.* 2016, Ali & Ibrahim 2018). Stress-induced by toxic xenobiotic substances normally stimulates the catabolism of reserves (lipids, carbohydrates and glycogen) to meet the larvae's energy needs, especially those related to detoxification. However, since these xenobiotic substances can also lead to sublethal effects that can alter relevant behaviors such as feeding, the biochemical changes in insects can vary. According to Ali & Ibrahim (2018) the biochemical changes in the body composition of

insects after exposure to essential oils vary depending on the species of insect, its stage of development and the type of oil tested. Through the results obtained in the present study, it was observed that males and females present different responses.

As for the compatibility between essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis* as well as the formulated products azadiractin and deltamethrin and the parasitoid *T. pretiosum*, the essential oil of *C. officinalis* was selective, having no effect on the parasitism rate, emergence, longevity and sex ratio of the parasitoid. The reduction in the parasitism rate of *T. pretiosum* females caused by the essential oil of *O. majorana* and the formulated products azadirachtin and deltamethrin can be explained by the detection of substances by the females. This occurs because the parasitoids are normally more protected within the host (Gonçalves-Gervazio & Vendramin 2004), however, xenobiotic substances can be absorbed by the host egg and also by immature parasitoids via the tegument or even being ingested by the embryo parasitoid (Parreira *et al.* 2018b).

Despite the low emergency rate, exposure to oil from *O. majorana* and to the formulated products azadiractin and deltamethrin did not prevent immatures from *T. pretiosum* reached adulthood. Similar results were observed for *T. chilonis* (Ishii) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Packiam 2012). Usually, the sublethal effects have been explained by neurotoxic, endocrine or muscular actions of the products used, resulting in a reduced number of adults, longer development time or even reduced longevity and fecundity (Zanuncio *et al.* 2016). The absence of sublethal effects of oil from *C. officinalis* can be explained in part by the predominance of sesquiterpenes in its constitution. Such constituents have usually been explored as clues to attract natural enemies of herbivores in the context of tritrophic interactions (Köllner *et al.* 2008, Chen *et al.* 2009, Fontana *et al.* 2011).

The non-interference of oils and formulated products on the sex ratio of parasitoids suggests that these products acted in the same way in males and females. Changes in sex ratio may be

associated with reduced quality of the host's nutritional resources, ovarian deformations during metamorphosis and death of embryos in insect eggs by chemicals (Parreira *et al.* 2018b, 2019). Our results differ from those found by Zapata *et al.* (2016) who verified that it would not be possible to use the oil of *Laurelia sempervirens* R. et. P. Tul. (Atherospermataceae) in combination with *Encarsia formosa* a (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae) for the control of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae), as the reproduction of the parasitoid was affected at low doses. With regard to predators Campolo *et al.* (2020) evaluated the effect of three citrus oils (lemon, tangerine and sweet orange) on the generalist predator of various tomato pests *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae). These oils had already shown promising potential in the control of *T. absoluta*. However, for the predator the same did not occur, affecting its survival and reproduction.

In conclusion, the essential oils tested showed a toxic effect for *N. elegantalis*. The oil of *C. officinalis* when used in LC₅₀ did not compromise the fitness of *T. pretiosum*, with potential to be used within the context of IPM, especially enabling the integration of chemical and biological control. Also noteworthy is the low impact of essential oils when used to replace conventional chemicals (Silva *et al.* 2020, Haddi *et al.* 2020). However, it is worth noting that further studies involving more complex research on these substances and their possible interactions are necessary to ensure the effectiveness of these oils.

Acknowledgements

This study was funded in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) – Finance Code 001. To DEPA-UFRPE (Department of Agronomy) for the realization of bioassays.

References

- Abbassy, M.A., S.A.M. Abdelgaleil & R.Y.A. Rabie. 2009.** Insecticidal and synergistic effects of *Majorana hortensis* essential oil and some of its major constituents. *Entomol Exp Appl* 131:225–232.
- Adams, R.P. 2009.** Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Allured Publishing Co, Carol Stream, IL, p 804.
- Ahmed, D.M., M.A.M.A. El-Aziz, M.A. El-Deeb, A. Alkhedaide, A.M. El-Tahan, M. Metwally El-Shayed. 2022.** The larvicidal effect of neemazal T/S, clove oil and ginger oil on tomato leafminer, *Tuta absoluta* compared to coragen. *Saudi J Biol Sci* 29:1447–1455.
- Ali, NS, S.S. Ali & A.R. Shakoori. 2014.** Biochemical response of malathion-resistant and susceptible adults of *Rhyzopertha dominica* to the sublethal doses of deltamethrin. *Pak J Zool* 46:853–861.
- Ali, MA, D.S. Mohamed, H. S. El-Sayed & A.M. El Sayed. 2017.** Antifeedant activity and some biochemical effects of garlic and lemon essential oils on *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *J Entomol Zool Stud* 5:1476–1482
- Ali, MA, A.M.A. Ibrahim. 2018.** Castor and camphor essential oils alter hemocyte populations and induce biochemical changes in larvae of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *J Asia Pac Entomol* 21:631–637.
- Arruda, C., J.A.A. Mejía, V.P. Ribeiro, C.H.G. Borges, C.H.G. Martins, R.C.S. Veneziani, S.R. Ambrósio & J.K. Bastos. 2019.** Occurrence, chemical composition, biological activities and analytical methods on *Copaifera* genus - A review. *Biomed Pharmacother* 109:1–20.
- Asiri, B.M.K., S.Q. Al-Ansari, N.O. Edress. 2020.** Evaluation of toxicological effects of some plant oils and diesel oil on some biological aspects of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) larvae. *Life Sci* 9:57–70.
- Askar, A.R. 2016.** Effects of long-term restricted feeding on digestion and energy utilization in Balady vs. Shami goats. *Livest Sci* 185:61–67.
- Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck & M. Idaomar. 2008.** Biological effects of essential oil – A review. *Food Chem Toxicol* 46:446– 475.
- Bradford, M.M. 1976.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72:248–254.
- Campolo, O., I. Puglisi, R.N. Barbagallo, A. Cherif, M. Ricupero, A. Biondi, V. Palmeri, A. Baglieri & L. Zapalà. 2020.** Side effects of two citrus essential oil formulations on a generalist insect predator, plant and soil enzymatic activities. *Chemosphere* 257:127252.

- Chen, F., H. Al-Ahmed, B. Joyce, N. Zhao, T.G. Köllner, J. Degenhardt & C.N. Stewart. 2009.** Within-plant distribution and emission of sesquiterpenes from *Copaifera officinalis*. *Plant Physiol Biochem* 47:1017–1023
- Christian, U., I. Mewis, S. Adhikary, A. Bhattacharyya & A. Goswami. 2007.** Antifeedant activity and toxicity of leaf extracts from *Porteresia coarctata* Takeoka and their effects on the physiology of *Spodoptera litura* (F.). *J Pest Sci* 81:79–84.
- Diaz, A.E., A. Solis & H.L. Brochero. 2011.** Distribución geográfica de *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Rev Colomb Entomol* 37:71–76
- Eiras, A. & J.L. Blackmer. 2003.** Eclosion time and larval behavior of the tomato fruit borer, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Sci Agric* 60:195–197.
- El-Bermawy, S.M. & H.M. Abdel-Fattah. 2000.** Changes in protein electrophoretic pattern of *Tribolium confusum* 4th instar larva after treatment with volatile plant oil. (Vetiver) *J Egypt German Soc Zool* 31:167–182
- Eljazi, J.S., O. Bachrouch, N. Salem, K. Msaada, J. Aouini, M. Hammami, E. Boushah, M. Abderraba, F. Limam & J.M.B. Jemaa. 2017.** Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from coriander fruit against *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, and *Lasioderma serricornis*. *Int J Food Prop* 20:S2833–S2845.
- El-Naggar, S.E.M. & H.M. Abdel-Fattah. 1999.** Effects of gamma radiation and plant oil extract of *Eucalyptus globules* on the cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis*. (Boisd) *Bull Entomol Soc Egypt Econ Ser* 26:59–69.
- EPPO 2015.** *Neoleucinodes elegantalis*. *Bull OEPP/EPPO Bull* 45:9–13.
- Fontana, A., M. Held, C.A. Fantaye, T.C. Turlings, J. Degenhardt & J. Gershenzon. 2011.** Attractiveness of Constitutive and Herbivore- Induced Sesquiterpene Blends of Maize to the Parasitic Wasp *Cotesia marginiventris* (Cresson). *J Chem Ecol* 37:582–591.
- Fragoso, D.F.M., A.C. Túler, D. Pratissoli, J.R. Carvalho, W.R. Valbon, V.T. Queiroz, P.F. Pinheiro, A.V. Costa & R.C.O.F. Bueno. 2021.** Biological activity of plant extracts on the small tomato borer *Neoleucinodes elegantalis*, an important pest in the Neotropical region. *Crop Prot* 145:105606.
- Gonçalves-Gervásio, R.C.R. & J.D. Vendramim. 2004.** Modo de ação de extratos de meliáceas sobre *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Arq Inst Biol* 71:215–220.
- González, J.O.W., R.A. Laumann, S. Silveira, M.C.B. Moraes, M. Borges & A. Ferrero. 2013.** Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoids *Trissolcus basalis*. *Chemosphere* 92:608–615.
- Guedes, R.N.C., G. Smagghe, J.D. Stark & N Desneux. 2016.** Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annu Rev Entomol* 61:43–62.

- Guerra, M.N.M.A., D.S. Silva, O.S. Santos & S. L.B. Santos. 2019.** Teste de repelência de óleos essenciais sobre *Callosobruchus maculatus*. RBAS 9:110–117.
- Haddi, K., L.M. Turchen, L.O.V. Jumbo, R.N.C. Guedes, E.J.G. Pereira, R.W.S. Aguiar & E.E. Oliveira. 2020.** Rethinking biorational insecticides for pest management: unintended effects and consequences. Pest Manag Sci 76:2286–2293.
- Isman, M.B. 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. Crop Prot 19:603–608.
- Kamanula, J.F., S.R. Belmain, D.R. Hall, D.I. Farman, D.J. Goyder, B.M. Mvumi, F.M. Friday & C.S. Philip. 2017.** Chemical variation and insecticidal activity of *Lippia javanica* (Burm. f.) Spreng essential oil against *Sitophilus Zeamais* Motschulsky. Ind Crop Prod 110:75–82.
- Karaborklu, S., A. Ayvaz, S. Yilmaz & M. Akbulut. 2011.** Chemical composition and fumigant toxicity of some essential oils against *Ephestia kuehniella*. J Econ Entomol 104:1212–1219.
- Köllner, T.G., M. Held, C. Lenk, I. Hiltbold, T.C.J. Turlings, J. Gershenzon & J. Degenhardt 2008.** A Maize (E)-Caryophyllene synthase implicated in indirect defense responses against herbivores is not expressed in most American maize varieties. Plant Cell 20:482– 494.
- Liao, M., J.J. Xiao, L.J. Zhou, Y. Liu, X.W. Wu, R.M. Hua, G.R. Wang & H.Q. Cao. 2016.** Insecticidal activity of *Melaleuca alternifolia* essential oil and RNA-seq analysis of *Sitophilus zeamais* transcriptome in response to oil fumigation. PLoS ONE 11:e0167748.
- Liao, M, J.J. Xiao, L.J. Zhou, X. Yao, F. Tang, R.M. Hua, W.X. Wu & H.Q. Cao. 2017.** Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of *Melaleuca alternifolia* essential oil on the *Helicoverpa armigera*. J Appl Entomol 141:721–728.
- Liu, Z.L., N.N. Zhao, C.M. Liu, L. Zhou & S.S. Du. 2012.** Identification of insecticidal constituents of the essential oil of *Curcuma wenyujin* rhizomes against *Liposcelis bostrychophila* Badonnel. Molecules 17:12049–12060.
- Marei, S.S., E.M. Amr & N.Y. Salem. 2009.** Effect of some plants oil on biological, physiological and biochemical aspects of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). J Agric Biol Sci 5:103–107
- Mbata, G.N. & M.E. Payton. 2013.** Effect of monoterpenoids on oviposition and mortality of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) under hermetic conditions. J Stored Prod Res 53:43– 47.
- Medhini, N., Y.G. Divakar & D. Manjulakumari. 2012.** Effect of *Calendula officinalis* extracts on the nutrient components of different tissues of tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius. J Biopest 5:139–144.
- Montilla, A.E.D., M.A. Solis & T. Kondo. 2013.** The tomato fruit borer, *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) an insect pest os neotropical solanaceous

- fruits. In: Pena JE (ed) Potential invasive pests of agriculture crops. CABI, University Florida, USA, pp 137–159.
- Moraes, M.M., T.M. Silva, R.R. Silva, C.S. Ramos & C.A.G. Câmara. 2014.** Circadian variation of essential oil from *Piper marginatum* Jacq. BLACPMA 13:270–277 lil-768853.
- Moraes, C.P. & L.A. Foerster. 2015.** Thermal Requirements, Fertility, and Number of Generations of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). Neotrop Entomol 44:338–344.
- Morais, L.A.S. 2009.** Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. Hort Bras 27:4050–4063.
- Nath, B.S., A. Suresh, B.M. Varma & R.P.S. Kumar. 1997.** Changes in protein metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) in response to organophosphorus insecticides toxicity. Ecotoxicol Environ Saf 36:169–173.
- Packiam, S.M., K. Baskar & S. Ignacimuthu. 2012.** Ovicidal activity of botanical oil formulations against *Helicoverpa armigera* Hubner and *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). Asian Pac J Trop Biomed 2:S1241–S1244
- Parra, J.R.P. 2010.** Mass rearing of egg parasitoids for biological control programs. In: Consoli FL, Parra JRP, Zucchi RA (Eds), Eggs parasitoids in agrosystems with emphasis on *Trichogramma*, p. 267–292
- Parreira, D.S., R. Alcántara-De La Cruz, J.C. Zanuncio, P.G. Lemes, G.S. Rolim, L.R. Barbosa & J.E. Serrão. 2018a.** Essential oils cause detrimental effects on biological parameters of *Trichogramma galloi* immatures. J Pest Sci 91:887–895.
- Parreira, D.S., R. De La Alcántara, G.L.D. Leite, F.S. Ramalho, J.C. Zanuncio & J.E. Serrão 2018b.** Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. Chemosphere 199:670–675.
- Parreira, D.S., R. Alcántara-De La Cruz, F.A.R. Dimaté, L.D. Batista, R.C. Ribeiro, G.A.R. Ferreira & J.C. Zanuncio. 2019.** Bioactivity of ten essential oils on the biological parameters of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) adults. Ind Crops Prod 127:11–15.
- Picanço, M.C., L. Bacci, E.M. Silva, E.G.F. Morais, G.A. Silva & N.R. Silva. 2007.** Manejo integrado das pragas do tomateiro no Brasil. In: Silva DJH, Vale FXR (eds) Tomate: tecnologia de produção. UFV, Viçosa, pp 199–232.
- Pontes, W.J.T., E.R. Lima, E.G. Cunha, P.M.T. Andrade, A.P. Lôbo & R. Barros. 2010.** Physical and chemical cues affect oviposition by *Neoleucinodes elegantalis*. Physiol Entomol 35: 134–139.

- Poorjavad, N., S.H. Goldansaz, H. Dadpour & J. Khajehali. 2014.** Effect of *Ferula assafoetida* essential oil on some biological and behavioral traits of *Trichogramma embryophagum* and *T. evanescens*. *Biocontrol* 59:403–413.
- Prajapati, V., A.K. Tripathi, K.K. Aggarwal & S.P.S. Khanuja. 2005.** Insecticidal, repellent and oviposition-deterrent activity of selected essential oils against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Bioresour Technol* 96: 1749–1757.
- Purwatiningih, N.H. & E. Hassan. 2012.** Efficacy of *Leptospermum petersonii* oil on *Plutella xylostella*, and Its Parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. *J Econ Entomol* 105:1379–1384.
- Rodríguez, C.H. & J.D. Vendramim. 1998.** Uso de índices nutricionales para medir el efecto insectistático de extractos de meliáceas sobre *Spodoptera frugiperda*. *Man Int Plagas* 48:11–18.
- SAS Institute. 2002.** User's guide, version 8.02, TS level 2MO. SAS Institute INC., Cary, NC.
- Sayed, M.R., A. Fayey, M. Bakry, A. Al Hazmi. 2011.** Biochemical and histopathological effect of crude extracts on *Spodoptera littoralis* larvae. *J Evol Biol Res* 3:67–78.
- Shin, B.S., R.N. Choi & C. Lee. 2001.** Effects of cadmium on total lipid content and fatty acids of the greater wax moth. *Galleria melonella* *Korean J Ecol* 24:349–352.
- Silva, É.M., R.S. Silva, N.R. Silva, C.C. Milagres, L. Bacci & M.C. Picanço. 2017.** Assessment of the natural control of *Neoleucinodes elegantalis* in tomato cultivation using ecological life tables. *Biocontrol Sci Technol* 27:525–538.
- Silva, R.S., L.P. Arcanjo, J.R.S. Soares, D.O. Ferreira, J.E. Serrão, J.C. Martins, A.H. Costa & M.C. Picanço. 2018a.** Insecticide toxicity to the borer *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae): developmental and egg-laying effects. *Neotrop Entomol* 47:318–325.
- Silva, R.S., L. Kumar, F. Shabani & M.C. Picanço. 2018b.** An analysis of sensitivity of CLIMEX parameters in mapping species potential distribution and the broad-scale changes observed with minor variations in parameters values: an investigation using open-field *Solanum lycopersicum* and *Neoleucinodes elegantalis*. *Theor Appl Climatol* 132:135–144.
- Silva, I.M., M.A. Soares, V.S. Tavares, A. Santos, J.E. Serrão, A.J.V. Zanuncio, C.F. Wilcken, J.C. Zanuncio & C.S. Sedyama. 2020.** Toxicity of essential oils to *Diaphania hyalinata* (Lepidoptera: Crambidae) and selectivity to its parasitoid *Trichospilus pupivorus* (Hymenoptera: Eulophidae). *J Econ Entomol* 20:1–8.
- Sterk, G., S.A. Hassan, M. Baillod, F. Bakker, F. Bigler, S. Blümel, H. Bogenschütz, E. Boller, B. Bromand, J. Brun, J.N.M. Calis, J. Coremanspelseneer, C. Duso, A. Garrido, A. Grove, U. Heimbach, H. Hokkanen, J. Jacas, G. Lewis, L. Moreth, L. Polgar, L. Roversti, L. Samsøepetersen, B. Sauphanor, L. Schaub, A. Stäubli, J.J. Tuset, A. Vainio, M. Van de Veire, G. Viggiani, E. Viñuela & H. Vogt. 1999.** Results of the seventh joint

pesticide testing programme carried out by the iobc/wprs-working group 'pesticides and beneficial organisms. *Biocontrol* 44:99–117.

Tanzubil, P.B. & A.R. Mc Cafferyar. 1990. Effects of azadirachtin and aqueous neem seed extracts of survival, growth and development of the African armyworm *Spodoptera exempta* *Crop Prot* 9:383–386.

Van Den Doll H. & P.D.J.A. Kratz. 1963. A generalization of the retention index system include linera temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *J Chromatogr A* 11:464–471.

Van Handel, E. 1985a. Rapid determination of total lipidis mosquitoes. *J Am Mosq Control Assoc* 1:302–304

Van Handel, E. 1985b. Rapid determination of glycogen and sugars in mosquitoes. *J Am Mosq Control Assoc* 1:299–301.

Verma, R.S., R.C. Padalia, A. Chauhan, R.K. Verma, L. Rahman & A. Singh. 2016. Changes in the essential oil composition of *Origanum majorana* L. During Post Harvest Drying. *J Essent Oil Bear Pl* 19:1547–1552.

Vijayaraghavan, C & K.C. Chitra. 2002. Total protein and free amino acid content of *Spodoptera litura* (Fab.) due to botanicals and conventional insecticides. *Ind J Entomol* 64:92–95.

Witting, B.E., D.B. Orr & H.M. Linker. 2007. Attraction of insect natural enemies to habitat plantings in North Carolina. *J Entomol Sci* 42:439–456.

Zanuncio, A.J.V., A.G. Carvalho, R.A.P. Damásio, B.S. Oliveira, A.C.O. Carneiro & J.L. Colodette. 2016. Relationship between the anatomy and drying in *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. *Rev Árvore* 40:723–729.

Zapata, N., M. Vargas, E. Latorre, X. Roudergue, R. Ceballos. 2016. The essential oil of *Laurelia sempervirens* is toxic to *Trialeurodes vaporariorum* and *Encarsia Formosa*. *Ind Crops Prod* 84: 418– 422.

Table 1. Chemical identification of essential oils of Marjoram (*O.majorana*) and Copaiba (*C. officinalis*).

N°	Compound	<i>Origanum majorana</i>			<i>Copaifera officinalis</i>	
		RI ^L	RI ^C	%	RI ^C	%
1	α - Thujene	924	924	0.65	-	-
2	α - Pinene	932	930	0.69	-	-
3	Sabinene	969	970	6.07	-	-
4	Myrcene	988	990	1.20	-	-
5	α - Phellandrene	1002	1002	0.38	-	-
6	α - Terpinene	1014	1014	8.29	-	-
7	o- Cymene	1022	1022	2.64	-	-
8	β - Phellandrene	1025	1026	3.85	-	-
9	γ - Terpinene	1054	1057	13.67	-	-
10	Z- Sabinene hydrate	1065	1065	7.05	-	-
11	Terpinolene	1086	1087	2.74	-	-
12	E- Sabinene hydrate	1097	1096	15.19	-	-
13	Linalool	1095	1099	1.17	-	-
14	Z-p- Menth-2-en-1-ol	1118	1120	1.04	-	-
15	E-p- Menth-2-en-1-ol	1136	1138	0.76	-	-
16	Terpinen-4-ol	1174	1176	25.97	-	-
17	α - Terpeneol	1186	1189	3.04	-	-
18	Z-Piperitol	1195	1194	0.50	-	-
19	E-Piperitol	1207	1207	0.32	-	-
20	Linalool acetate	1254	1256	1.94	-	-
22	δ -Elemene	1335	-	-	1337	0.45
23	α -Cubebene	1348	-	-	1350	0.80
24	α -Ylangene	1373	-	-	1371	0.10
25	α -Copaene	1374	-	-	1376	5.34
26	β -Elemene	1389	-	-	1392	1.51
27	Cyperene	1398	-	-	1399	0.36

28	α -Gurjunene	1409	-	-	1410	0.05
29	E- Caryophyllene	1417	1420	2.11	1421	53.89
30	β -Gurjunene	1431	-	-	1429	0.51
31	E- α -Bergamotene	1432	-	-	1436	7.79
32	Aromadendrene	1439	-	-	1444	0.35
33	<epi- β >Santalene	1445	-	-	1448	0.20
34	α -Humulene	1452	-	-	1454	8.73
35	allo-Aromadendrene	1458	-	-	1461	0.74
36	γ -Muurolene	1478	-	-	1477	2.43
37	Germacrene D	1480	-	-	1482	3.01
38	γ -Amorphene	1495	-	-	1498	1.86
39	Bicyclogermacrene	1500	1497	0.74	-	-
40	α -Muurolene	1500	-	-	1500	0.86
41	β -Bisabolene	1505	-	-	1509	2.52
42	γ -Cadinene	1513	-	-	1515	1.33
43	δ -Cadinene	1522	-	-	1524	3.70
44	E-Cadina-1,4-diene	1533	-	-	1533	0.24
45	α -Cadinene	1537	-	-	1538	0.21
46	Caryolan-8-ol	1571	-	-	1571	0.34
47	Caryophyllenoxide	1582	-	-	1584	0.35
48	Junenol	1618	-	-	1620	0.35
49	<1-epi->Cubenol	1627	-	-	1630	0.06
50	Cubenol	1645	-	-	1644	0.14
51	α -Muurolol	1644	-	-	1648	0.16
52	α -Cadinol	1652	-	-	1657	0.22
Monoterpenes				97.16	-	
Sesquiterpenes				2.85	98.60	
Total				100.0	98.60	

IR^L Kratz Retention Index from Literature (Adams, 2009); IR^C Kratz Retention Index Calculated;

% Percentage of the compound in the essential oil.

Table 2. The concentration-mortality curve of *N. elegantalis* eggs treated with the essential oils of *O. majorana* and *C. officinalis*. Temperature: $25,2 \pm 1,4$ °C. RH: $67 \pm 0,7$ % and 12-hour photofase.

Treatments	N ¹	DF ²	Slope $\pm$ SE	LC ₅₀ (mg mL ⁻¹) (CI 95%) ³	(χ^2) ⁴	P ⁵
<i>Origanum majorana</i>	100	4	0.29 ± 0.09	667.90 (522.37 – 833.0)	1.79	0.77
<i>Copaifera officinalis</i>	250	4	0.10 ± 0.03	1169.71 (708.79-1990.60)	9.05	0.06

¹Number of eggs/treatment. ²Degrees of freedom. ³Lethal concentration 50. ⁴Qui- Square. ⁵P- Value.

Table 3. Means of the entrance and exit holes of *N. elegantalis* treated with the essential oils of *C. officinalis* (LC₅₀) and *O. majorana* (LC₅₀), Azadirachtin (recommended commercial dose) and Deltamethrin (recommended commercial dose).

Treatments	Entrance holes	Exit holes
Control	7.73 ± 0.11 a	7.26 ± 0.18 a
<i>Copaifera officinalis</i>	6.66 ± 0.31 bc	5.66 ± 0.23 bc
<i>Origanum majorana</i>	7.06 ± 0.26 bc	5.86 ± 0.25 bc
Azadirachtin	6.93 ± 0.18 c	6.13 ± 0.16 c
Deltamethrin	6.40 ± 0.25 b	5.46 ± 0.19 b

¹Means followed by the same letter in the column do not differ significantly from each other by Kruskal-Wallis at 5% significance level.

Table 4. Biological parameters of *N. elegantalis* treated with essential oils of *C. officinalis* (LC₅₀) and *O. majorana* (LC₅₀), Azadirachtin (recommended commercial dose) and Deltamethrin (recommended commercial dose).

Treatments	Larval Development (days)	Pre-Pupal Weight (g)	Pupal Weight (g)	Pupal period (days)
Control	12.73 ± 0.35 a	0.035 ± 0.008 a	0.026 ± 0.007 ab	8.33 ± 1.54 a
<i>Copaifera officinalis</i>	14.46 ± 0.13 bc	0.025 ± 0.007 b	0.019 ± 0.007 b	10.26 ± 1.79 a
<i>Origanum majorana</i>	13.80 ± 0.52 ab	0.036 ± 0.009 a	0.027 ± 0.006 a	10.00 ± 2.17 a
Azadirachtin	15.46 ± 0.25 c	0.034 ± 0.006 a	0.027 ± 0.007 a	10.26 ± 2.01 a
Deltamethrin	15.46 ± 0.32 c	0.038 ± 0.009 b	0.031 ± 0.006 a	10.13 ± 2.06 a
	F = 11.42; P < 0.001	F = 6.29; P = 0.0002	F = 6.52; P = 0.0002	F = 2.75; P = 0.0346

¹Means followed by the same letter in the column do not differ significantly from each other by Tukey Test at 5% significance level.

Table 5. Average number and viability of *N. elegantalis* eggs treated with the essential oils of *C. officinalis* (LC₅₀) and *O. majorana* (LC₅₀), Azadirachtin (recommended commercial dose) and Deltamethrin (recommended commercial dose).

Treatments	Number of eggs	Viability of eggs
Control	43.00 ± 14.17 a	24.30 ± 10.22 a
<i>Copaifera officinalis</i>	33.18± 6.69 a	14.81 ± 2.97 a
<i>Origanum majorana</i>	35.40 ± 11.97 a	22.80 ± 6.15 a
Azadirachtin	30.50 ± 7.64 a	12.30 ± 3.02 a
Deltamethrin	27.40 ± 5.71 a	10.20 ± 2.19 a
	F = 1.11 P = 0.3966	F = 1.23 P = 0.3130

¹Means followed by the same letter in the column do not differ significantly from each other by Tukey Test at 5% significance level.

Table 6. Biological parameters of *T. pretiosum* treated with *C. officinalis*, *O. majorana*, Azadirachtin and Deltamethrin.

Treatments	Parasitism	Emergency	Longevity	Sex Ratio	Reduced parasitism	Class
Controle	10.2 ± 13.86 a	7.0 ± 11.21 a	7.8 ± 8.83 a	0.51 ± 0.62 a	-	-
<i>C. officinalis</i>	9.6 ± 12.71 a	6.6 ± 7.28 a	6.0 ± 7.52 a	0.52 ± 0.62 a	5.88	1
<i>O. majorana</i>	7.6 ± 9.48 ab	5.8 ± 6.83 b	7.8 ± 9.41 a	0.46 ± 0.63 a	25.5	1
Azadirachtin	3.8 ± 6.18 b	2.4 ± 4.28 b	6.0 ± 8.32 a	0.50 ± 0.64 a	62.74	3
Deltamethrin	4.2 ± 5.81 b	2.6 ± 4.01 b	6.4 ± 8.2 a	0.48 ± 0.60 a	58.82	3
	F=9.75 P=0.0002	$\chi^2=18.658$ DF=4 P>0.0009	F=2.22 P=0.1038	$\chi^2=0.879$ DF=4 P=0.927		

Toxicity index established by IOBC/WPRS (1992), in which: class 1 = not harmful; class 2 = little harmful; class 3 = moderately harmful; class 4 = highly harmful.

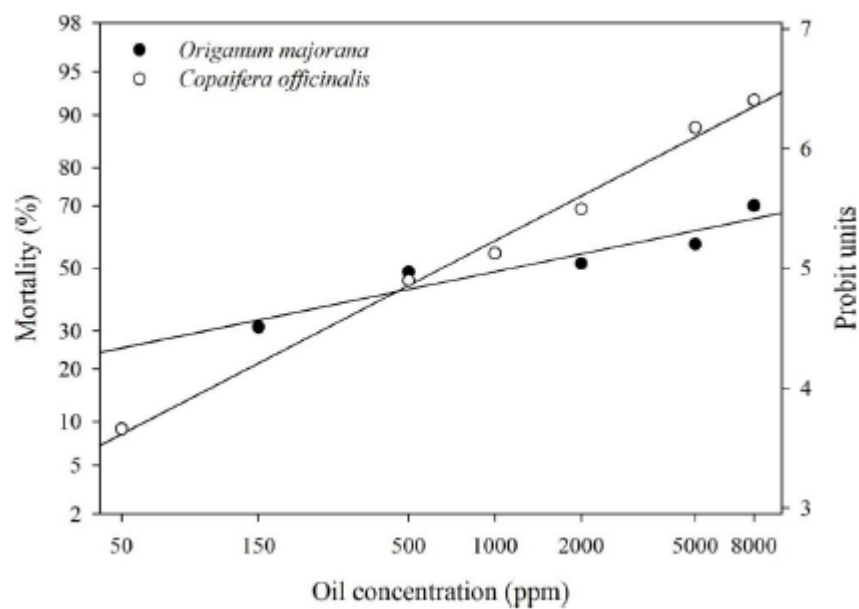


Fig. 1: Concentration-mortality curves (with observed data as symbols and regressions as lines) of *N. elegantalis* for the essential oils *Copaifera officinalis* and *Origanum majorana*.

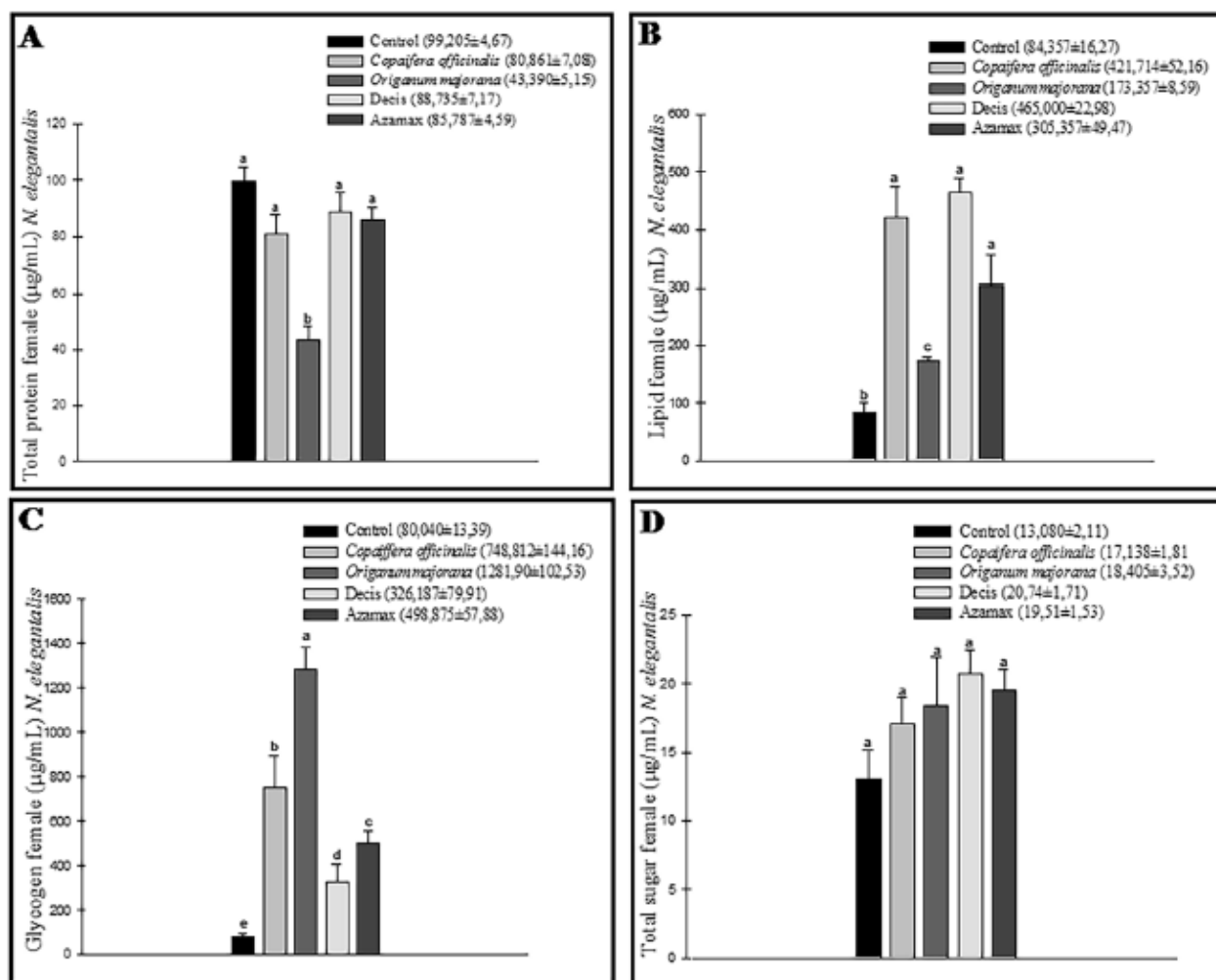


Fig 2 Total protein, lipid, glycogen, and total sugar values of females of *N. elegantalis* submitted to *C. officinalis* (CL₅₀), *O. majorana* (CL₅₀), Decis® (recommended commercial dose), and Azamax® (recommended commercial dose)

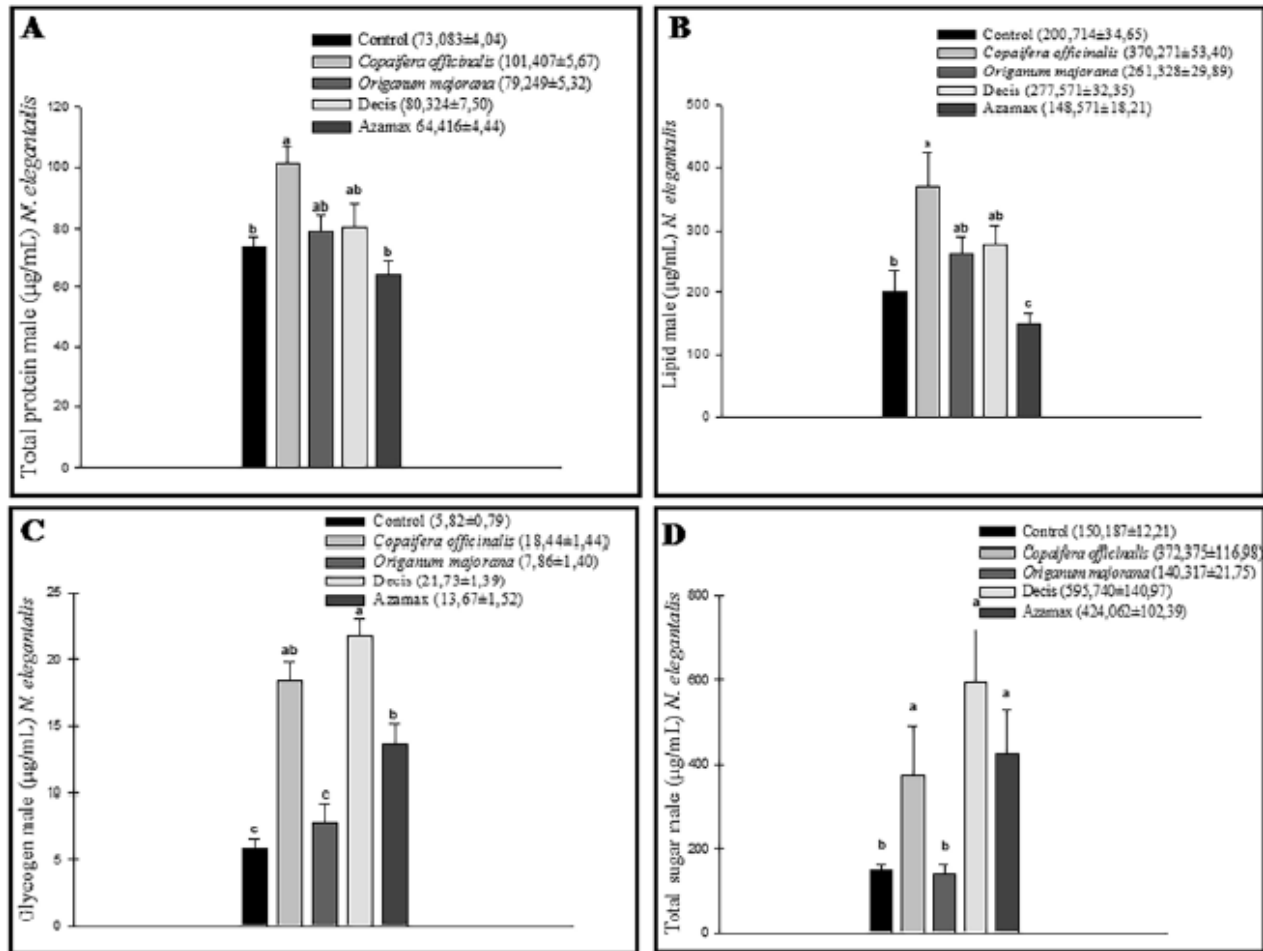


Fig 3 Total protein, lipid, glycogen, and total sugar values of males of *N. elegantalis* submitted to *C. officinalis* (CL₅₀), *O. majorana* (CL₅₀), Decis® (recommended commercial dose), and Azamax® (recommended commercial dose).

CAPÍTULO 4

EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS E INSETICIDAS NA RESPOSTA FUNCIONAL E NUMÉRICA DE *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) EM OVOS DE *Neoleucinodes elegantalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)¹

Milena L. G. Santana¹, Valéria W.-Teixeira², Carolina A. Guedes¹, Glaucilane S. Cruz¹,
Douglas Rafael e Silva Barbosa³, José W S. Melo⁴ and Álvaro A. C. Teixeira²

¹Department of Agronomy-Entomology, Federal Rural
University of Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros,
s/n, 52171-900 Recife, PE, Brazil, ²Department of Morphology and Animal Physiology, Federal
Rural University of Pernambuco, Dom Manoel de Medeiros,
s/n, 52171-900 Recife, PE, Brazil, ³Department of Agronomy – Federal Institute of Education, science and
Technology of Maranhão, S/N, Estr. Puraque - 65400-000, Codó -MA, Brazil.
, ⁴Department of Plant Science – Entomology, Federal
University of Ceará - Campus do Pici, Avenida Mister Hull,
2977, CEP 60356-000 Fortaleza, CE, Brazil

¹Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, D.R.S. Barbosa, J.W.S. Melo & Á.A.C. Teixeira. Efeitos de óleos essenciais na resposta funcional e numérica de *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae). A ser submetido na International Journal of Pest Management.

ABSTRACT: The management of *Neoleucinodes elegantalis* Guenée depends on the use of pesticides, and due to the excessive application of these chemical products, it is necessary to study alternatives to control this pest. Thus, reconciling chemicals and natural enemies is an attractive method for the management of this pest species, and *Trichogramma pretiosum* Riley is an egg parasitoid often used in biological control against lepidopteran pests. This study aimed to evaluate the sublethal effects of *Origanum majorana* L. and *Copaifera officinalis* L. oils and the insecticides azadirachtin and deltamethrin on the functional and numerical response of *T. pretiosum* to different densities (2, 4, 8, 16, 32 and 64) of eggs from *N. elegantalis*. The type of functional and numerical response, search efficiency (a) and handling time (Th) were estimated by the Disc equation. Exposure to oils and insecticides influenced which type of functional response the parasitoid presented in relation to the pest, where azadirachtin had a type I response; *O. majorana*, deltamethrin and control type II and *C. officinalis* type III. Exposure to oils decreased handling time and attack rate in relation to the control; the insecticides, on the other hand, increased handling time and reduced the attack rate. For numerical response, exposure to oils and control, there was an increase in the rate of parasitized eggs in response to a greater supply of hosts. According to the results of this study, *C. officinallis* demonstrates to be more compatible when integrated with *T. pretiosum* in MIP programs, as it presented shorter manipulation time and higher attack rate, among the studied products.

KEYWORDS: egg parasitoids, biological control, attack rate, handling time, sublethal effects

EFEITOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS E INSETICIDAS NA RESPOSTA FUNCIONAL E
NÚMERICA DE *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)
EM OVOS DE *Neoleucinodes elegantalis* (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)

RESUMO – O manejo de *Neoleucinodes elegantalis* Guenée depende do uso de agrotóxicos, e devido à aplicação excessivo desses produtos químicos, faz-se necessário o estudo de alternativas ao controle desta praga. Desse modo, conciliar produtos químicos e inimigos naturais é um método atraente para o manejo dessa espécie de praga, sendo que *Trichogramma pretiosum* Riley é um parasitóide de ovos frequentemente utilizado no controle biológico contra lepidópteros pragas. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos subletais dos óleos de *Origanum majorana* L. e *Copaifera officinallis* L e os inseticidas azadiractina e deltametrina na resposta funcional e numérica de *T. pretiosum* a diferentes densidades (2, 4, 8, 16, 32 e 64) de ovos de *N. elegantalis*. O tipo de resposta funcional e numérica, eficiência de busca (a) e tempo de manuseio (Th) foram estimados pela equação de Disco. A exposição aos óleos e inseticidas influenciaram qual tipo de resposta funcional o parasitoide apresentou em relação à praga, onde azadiractina teve resposta do tipo I; *O. majorana*, deltametrina e controle do tipo II e *C. officinalis* do tipo III. A exposição aos óleos diminuiu o tempo de manipulação e a taxa de ataque em relação ao controle; já os inseticidas, aumentaram o tempo de manipulação e reduziram a taxa de ataque. Para a resposta numérica, a exposição aos óleos e o controle houve um aumento na taxa de ovos parasitados em resposta a maior oferta de hospedeiros. De acordo com os resultados deste estudo, *C. officinallis* demonstra ser mais compatível quando integrado com *T. pretiosum* em programas de MIP, pois apresentou menor tempo de manipulação e maior taxa de ataque, entre os produtos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: parasitoide de ovos, controle biológico, taxa de ataque, tempo de manipulação, efeito subletal.

Introdução

Neoleucinodes elegantalis Guenée é uma praga oligofágica que possui relevante importância econômica nas lavouras por causar danos diretos ao infestar severamente os frutos (Picanço *et al.* 2007, Diaz *et al.* 2011, EPPO 2015). Sua principal tática de controle é o químico, sendo registrados cerca de 131 produtos dos mais variados grupos químicos (piretroides, organofosforados, metilcarbamatos, diamidas, benzoilureia, neonicotinoides, oxadiazinas, entre outros (Badji *et al.* 2003, AGROFIT 2019).

A utilização de parasitóides é uma alternativa viável ao controle de pragas e visa à redução do uso de inseticidas. As espécies do gênero *Trichogramma* são comumente utilizadas e parasitam pragas de lepidópteros na fase de ovos. Sua vantagem está em impedir que seus hospedeiros passem a fase larval e causem injúrias às plantas ou frutos; além de possuir fácil reprodução em hospedeiros alternativos, parasitismo altamente agressivo e ampla distribuição geográfica (Witting *et al.* 2007, Parreira *et al.* 2018).

A espécie *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), está entre os parasitóides mais usados no controle de lepidópteros em vários países por aplicação inundativa em culturas agrícolas economicamente importantes (Parreira *et al.* 2018, Laurentis *et al.* 2019, Queiroz *et al.* 2020, Costa Lima *et al.* 2021).

Um dos aspectos comportamentais importantes que devem ser observados quando se objetiva utilizar inimigos naturais são suas respostas funcionais e numéricas. O estudo da resposta funcional é um dos recursos necessários para a seleção adequada do inimigo natural para programas de controle biológico (Menon *et al.* 2002, Moezipour *et al.* 2008).

Holling (1959, 1961 e 1966) caracterizou três tipos de respostas funcionais. A resposta tipo I, a taxa de ataque é constante (independente de densidade) até que a saciedade seja alcançada. Em tipo II, o número de hospedeiros atacados atinge uma taxa fixa, e a tipo III, onde a taxa de ataque aumenta e depois diminui gradualmente (dependência da densidade) até atingir um limite superior. A resposta numérica é comumente de interesse fundamental, pois é responsável por suprimir a população de pragas e ajudar no cálculo do número de parasitóides necessários para regular a população hospedeira estimada (Parween & Ahmad 2015, Kumar & Kumar 2021).

A interação de diferentes métodos de manejo de pragas como o controle biológico e químico, tem sido recomendada no MIP (Manejo Integrado de Pragas) (Abedi *et al.* 2012; Asadi *et al.* 2018). Contudo, grande parte dos pesticidas podem interferir nas interações parasitóide-hospedeiro ou predador-presa, a exemplo do trabalho apresentado por Lima *et al.* (2015) onde foram utilizados os inseticidas abamectina, azadiractina e fenpiroximato em *Neoseiulus baraki* (Acari: Phytoseiidae) em diferentes densidades de *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae). Os resultados mostraram que a taxa de ataque foi modificada por abamectina e fenpiroximato, e o pico de consumo foi reduzido por abamectina. Todos permitiram a manutenção do predador no campo, mas a exposição à abamectina e ao fenpiroximate comprometeu o consumo das presas.

Óleos essenciais também podem provocar alterações em parâmetros da resposta funcional, a exemplo, óleos de *Allium sativum*, *Rosmarinus officinalis*, *Piper nigrum*, *Salvia officinalis*, e *Glycyrrhiza glabra* que foram testados sobre o parasitóide *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) onde, *P. nigrum*, *S. officinalis* e *G. glabra* indicaram resposta tipo II, e em *A. sativum* e *R. officinalis*, tipo III. Além disso, o óleo essencial de *R. officinalis* e o controle apresentaram os tempos de manuseio mais longo (0,542 h) e mais curto (0,411 h), respectivamente. As maiores (0,047 h⁻¹) e menores (0,033 h⁻¹) taxas de ataque também foram registradas no controle e no óleo essencial de *R. officinalis*, respectivamente, indicando mudanças no comportamento e em outras

atividades de parasitismo de *H. hebetor* (Asadi *et al.* 2018). Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os óleos de *O. majorana* e *C. officinallis* além de azadiractina e deltametrina com *T. pretiosum*, analisando os efeitos desses produtos na resposta funcional e numérica do parasitóide.

Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Fisiologia de Insetos - LAFI do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal - DMFA da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

Obtenção dos parasitoide: O parasitoide de ovos *T. pretiosum* foi obtido comercialmente da empresa TopBio, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil, criado em ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). Obtido na fase de ovo e após a emergência, os parasitóides foram criados em condições de laboratório B.O.D regulada para $25\pm1^{\circ}\text{C}$, $60\pm5\%$ UR e fotoperíodo de 12:12 h, sobre ovos de *N. elegantalis* como hospedeiro para atividades de parasitismo. Solução de mel (10%) foi aplicada como fonte de alimento para os adultos de parasitóides.

Bioensaio: Para investigação dos óleos essenciais e inseticidas em fêmeas jovens de *T. pretiosum*, previamente acasaladas com idade de até 24h, sob ovos de *N. elegantalis*, foram utilizadas as CL_{30} dos óleos de *O. majorana* ($667.90 \text{ mg mL}^{-1}$) e *C. officinalis* ($111.75 \text{ mg mL}^{-1}$) (Santana *et al.* 2022) e a dose de campo recomendada para os inseticidas, azadiractina (0.6 mg/L), e deltametrina (12.5 mg/L). Os ovos foram coletados e transferidos para papel cartolina e colados com goma arábica. Posteriormente, esses ovos foram imersos nas soluções por cinco segundos e deixados para secar em temperatura ambiente por 30 minutos. As densidades de ovos estabelecidas foram 2, 4, 8, 16, 32 e 64 ovos/repetição. Em seguida, fêmeas adultas de *T. pretiosum* foram

identificadas com o auxílio de um estereomicroscópio e individualizadas em tubos de vidro sem a presença do hospedeiro e imediatamente vedadas com parafilme para evitar a fuga dos adultos. Uma gota de mel (10%) foi utilizada para a alimentação das fêmeas. Foram então transferidos para a B.O.D ajustada a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $60\pm 5\%$ UR e fotoperíodo de 12:12 h por 24h. Cada tratamento dos óleos essenciais, inseticidas e o controle (água destilada) foram feitas em vinte repetições, com cada repetição constituída de uma fêmea, totalizando 120 fêmeas/repetição. Após esse período, as fêmeas foram retiradas e o parasitismo (ovos com coloração escura) foi observado após 4 dias com o auxílio de um estereomicroscópio.

Análises dos dados: A equação de disco Holling (1959) referente à resposta funcional de diferentes inimigos naturais foi utilizado neste estudo conforme explicado a seguir: $N_a = aT_tN_0(1 + aT_hN_0)$. Onde: N_a = número de hospedeiros atacados por *T. pretiosum*, N_0 = diferentes densidades de hospedeiro (2, 4, 8, 16, 32 e 64 ovos de *N. elegantalis*), T_t = tempo total do experimento (24 horas), a = taxa de ataque (área de descoberta do hospedeiro) por *T. pretiosum*, T_h = tempo de manipulação de *T. pretiosum* para seu hospedeiro. Os modelos de regressão linear foram aplicados para determinar os tipos de resposta funcional e para estimar a taxa de ataque do parasitoide e o tempo de manuseio sob diferentes tratamentos e controle, respectivamente, utilizando o software SAS (SAS Institute 2002). A resposta numérica foi estimada através de regressões lineares entre o número de descendentes produzidos e o número de hospedeiros ofertados ao parasitoide. A comparação entre as regressões foi realizada através do intervalo de confiança dos coeficientes angulares das regressões.

Resultados

O tratamento com o óleo de *C. officinallis* apresentou resposta do tipo III e azadirachtina proporcionou resposta funcional do tipo I aos parasitoides de *T. pretiosum* em ovos de *N. elegantalis*. Já o óleo essencial de *O. majorana*, o inseticida deltametrina e o controle

proporcionaram aos parasitoides resposta funcional do tipo II, evidenciada pelo valor negativo do coeficiente linear e o de probabilidade significativo (Tabela 1).

O número de hospedeiros parasitados para *C. officinalis*, *O. majorana* e controle aumentou conforme o aumento da densidade de hospedeiros. Para o gráfico das proporções médias observadas para *C. officinalis* inicialmente aumenta e depois diminui e em *O. majorana* há uma diminuição conforme um aumento da densidade. Para azadiractina e deltametrina o número médio de ovos parasitados e a proporção de hospedeiros parasitados apresentaram os menores valores em todas as densidades. (Figura 1 A e B)

O tempo de manipulação do hospedeiro foi estimado em 1,344 h e taxa de ataque em 0,00684 para o controle. O óleo essencial de *O. majorana* proporcionou tempo de manipulação de 1,5588 h e taxa de ataque de 0,0148. Já para o óleo essencial de *C. officinalis* o tempo de manipulação foi de 0,3622 h e taxa de ataque estimada em 0,0132 (Figura 2). Quanto aos inseticidas utilizados, azadirachtina proporcionou tempo de manipulação de 28,7119 h e taxa de ataque de 0,000823 e deltametrina tempo de manipulação de 48,2927 h e taxa de ataque de 0,00124 (Figura 2).

Independente da exposição aos óleos o número de descendentes produzidos aumentou conforme o aumento da oferta de hospedeiros. Para todos os tratamentos, o número de descendentes produzidos ajustou-se ao modelo linear de regressão, onde pelo menos 84% das variações observadas são explicadas pelo modelo (Figura 3).

Discussão

Os resultados do presente estudo mostraram que a exposição aos óleos essenciais e inseticidas diferiu no tipo de resposta funcional. Estudos indicaram que respostas do tipo II e III

são mais frequentes entre os parasitóides (Paes *et al.* 2018; Rostami *et al.* 2018; Ranjbar *et al.* 2020, Saber *et al.* 2020).

Na resposta tipo I, o parasitismo aumenta linearmente com o aumento da densidade das mesmas. A resposta funcional tipo II identificada, sugere que os parasitóides *T. pretiosum* aumentaram sua taxa de parasitismo quando a densidade de hospedeiros aumentou, até que atingissem a capacidade reprodutiva máxima (Fernández-Arhex & Corley 2003, Jarrahi & Safavi 2016, Paes *et al.* 2018) portanto, acontece uma redução fisiológica na taxa de busca ao longo do tempo à medida que os ovos são sucessivamente esgotados (Mills & Lacon 2004).

T. brassicae (Hymenoptera: Trichogrammatidae) expostos aos inseticidas, fipronil e diazinon revelaram uma resposta funcional tipo II no controle e fipronil, e tipo III para diazinon (Saber *et al.* 2020). Dois inseticidas botânicos, Dayabon® e Palizin®, foram avaliados na resposta funcional de *Lysiphlebus fabarum* (Hymenoptera: Braconidae) e os resultados revelaram a resposta funcional do tipo II em todos os experimentos, inclusive no controle (Jam 2018); esses mesmos inseticidas botânicos, também foram avaliados para o parasitoide *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae), onde Palizin® apresentou resposta tipo II e Dayabon® tipo III (Asadi *et al.* 2020).

Supõe-se que os parasitóides que apresentam uma resposta funcional do tipo III têm melhor oportunidades para regular o seu hospedeiro do que parasitóides tipo II (Ghorbani *et al.* 2019), entretanto, a resposta funcional seja uma das características consideradas relacionadas ao sucesso parasitóide, apenas a forma das curvas dos tipos de resposta funcional não pode ser atribuída ao desempenho dos parasitóides no controle biológico, outros aspectos como, tempo e taxa de liberação, qualidade e quantidade de parasitóides, condições climáticas devem ser consideradas (Rostami *et al.* 2018).

A resposta funcional se baseia em dois aspectos importantes, incluindo eficiência de busca (a) e tempo de manipulação (Th). A taxa desses parâmetros e o tipo de resposta funcional em predadores e parasitóides são influenciados por diferentes fatores (Farrokhi *et al.* 2010; Milanez *et al.* 2018). Uma delas são as concentrações subletais de produtos químicos utilizados para o controle de insetos pragas. Neste estudo, *O. majorana* e *C. officinallis* mostraram efeitos subletais nos parâmetros de resposta funcional de *T. pretiosum*. As vespas expostas aos óleos tiveram maior e menor tempo de manipulação, para *O. majorana* e *C. officinallis*, respectivamente, em relação ao controle. Nos inseticidas azadirachtina e deltametrina houve aumento no tempo de manipulação e a taxa de ataque foi menor para ambos os inseticidas utilizados, quando comparados ao controle.

A redução no tempo de manipulação ocasiona um aumento nas taxas de oviposição devido à exposição aos óleos, em comparação ao controle. O tempo de manipulação inclui o tempo para encontrar o hospedeiro, oviposição, descanso e tempo para ingestão de água ou seiva. Em contrapartida, um aumento no tempo de manipulação de *T. pretiosum* no controle e inseticidas pode ser devido ao prolongamento de cada um dos itens mencionados, e consequentemente, baixas taxas de parasitismo. (Sule *et al.* 2014, Jam & Saber, 2018). Segundo Jarrahi & Safavi (2016), azadiractina não teve efeito adverso significativo nos parâmetros de resposta funcional (a e Th) no parasitoide *H. hebetor*, enquanto deltametrina e fenvalerato diminuíram significativamente o tempo de manipulação de *H. hebetor*.

A taxa de ataque, que representa a eficiência de procura do hospedeiro, em azadiractina foi o menor em todos os tratamentos, indicando que este importante parâmetro foi diminuído pelo inseticida testado, o que é um aspecto negativo, podendo ser suficiente para comprometer o potencial de parasitismo, já que este parâmetro considera a proporção de ataques bem sucedidos durante a busca (Oliveira *et al.* 2006).

O menor tempo de manuseio e a alta eficiência de busca registrados para *C. officinallis* pode ser considerado um bom resultado. Além disso, tempos de manuseio curtos e alta eficiência de busca levam a um ótimo forrageamento de parasitóides e estabilidade populacional entre parasitóides e hospedeiros (Paes *et al.* 2018).

A resposta funcional dos parasitóides à densidade populacional do hospedeiro também é baseada na reação aos caimônios do hospedeiro (Reznik & Umarova 1991). Em ambiente natural, os insetos são atraídos por odores, que são geralmente, misturas de produtos químicos. Nessas misturas, existem compostos que são considerados componentes-chave e em algumas ocasiões podem provocar atração (Zhu *et al.* 2016). À medida que o número de ovos aumenta, a concentração de caimônios aumenta e conseqüentemente, a porcentagem de fêmeas que parasitam (Reznik & Umarova 1991).

Neste estudo, a manipulação dos ovos para separá-los de acordo com cada densidade, pode ter influenciado no baixo parasitismo, a presença de escamas do corpo do hospedeiro deixados sobre os ovos, emitem compostos voláteis, que influenciam na atratividade e comportamento do parasitoide. Os compostos voláteis de substâncias acumuladas sobre ou próximo aos ovos durante a oviposição ou para fixá-los ao substrato, podem atuar na atração à curta distância (Carneiro *et al.* 2006).

Os óleos testados em concentrações subletais, podem ter desencadeado uma resposta olfativa, auxiliando os parasitoides no processo de localização do hospedeiro, reduzindo o tempo de manipulação, diferenciado-se, assim, dos demais tratamentos.

Sabe-se que algumas espécies de plantas (por exemplo, tomate) liberam naturalmente compostos específicos, como sesquiterpenos, que influenciam significativamente a atração de espécies de *Trichogramma*, que utiliza pistas químicas como estratégia de busca para aumentar o parasitismo em ovos (Rani *et al.* 2017, Gontijo *et al.* 2019, Souza *et al.* 2021). Os óleos *C.*

officinalis e *O. majorana* são constituídos majoritariamente por sesquiterpenos e monoterpenos, respectivamente (Vera & Chane-Ming, 1999, Arruda *et al.* 2019, Santana *et al.* 2022). É possível que esses produtos químicos combinados ao ovo possam auxiliar para a localização do parasitóide aos ovos, contudo, tal afirmação exigiria mais estudos.

Adicionalmente, na resposta numérica uma população com uma grande disponibilidade de hospedeiros terá maior chance de sobreviver e se reproduzir com sucesso, o que ocasionará em aumento populacional (Solomon 1949). Entre alguns aspectos, o aumento na taxa de ovos parasitados no tratamento com os óleos, como resposta à maior oferta de hospedeiros, sugere que o parasitóide tem potencial de regulação populacional da praga (Godfray 1994). Quanto a exposição aos inseticidas é sugerido que esse parasitóide não poderia regular a praga em altas densidades; sendo uma característica do tipo da resposta funcional encontrado para azadiractina (Tipo I) onde a taxa de parasitismo é mantida constante independentemente da densidade de hospedeiros (Chen *et al.* 2008).

Estudos sobre os efeitos de óleos essenciais e inseticidas na resposta funcional e numérica de *T. pretiosum* são uma ferramenta útil para a previsão do sucesso deste em programas de MIP. Nossos resultados sugerem que dentre os óleos e inseticidas testados, o óleo de *C. officinalis* em concentrações subletais foi mais promissor por aumentar a taxa de ataque e reduzir o tempo de manipulação, contribuindo para um melhor desempenho de *T. pretiosum*, não demonstrando efeitos adversos, podendo ser recomendado para uso simultâneo ao parasitóide.

Acknowledgments

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. Ao DEPA-UFRPE (Departamento de Agronomia) pela realização dos bioensaios.

References

- Abedi, Z., M. Saber, G. Gharekhani, A. Mehrvar & V. Mahdavi. 2012.** Effects of azadirachtin, cypermethrin, methoxyfenozide and pyridalil on functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *J. Plant Prot. Res.* 52: 353-358.
- Adams. R.P. 2009.** Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Carol Stream, IL: Allured Publishing Co, 804 p.
- AGROFIT. 2019.** Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>.
- Arruda, C., J.A.A. Mejía, V.P. Ribeiro, C.H.G. Borges, C.H.G. Martins, R.C.S. Veneziani & J.K. Bastos. 2019.** Occurrence, chemical composition, biological activities and analytical methods on *Copaifera* genus—A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy Biomed. Pharmacother.* 109, 1–20.
- Asadi, M., H. Rafiee-Dastjerdi, G. Nouri-Ganbalani, B. Naseri, M. Hassanpour. 2018.** The effects of plant essential oils on the functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to its host. *Invertebrate surviv. j.* 15: 169-182.
- Asadi, M., G. Nouri-Ganbalani, H. Rafiee-Dastjerdi, M. Hassanpour & B. Naseri. 2020.** Comparative study about the sublethal effects of chemical and botanical insecticides on the functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae) to larvae of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae). *Int. J. Pest Manag.* 1–9.
- Badji, C.A., A.E. Eiras, A. Cabrera & K. Jaffe. 2003.** Avaliação do feromônio sexual de *Neoleucinodes elegantalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae). *Neotrop. Entomol.* 32: 221-229.
- Carneiro, T.R., O.A. Fernandes & I. Cruz. 2006.** Resposta olfativa de *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) a voláteis emitidos por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomotropica.* 21: 153-159.
- Chen, R.-X., F. Zhang, W.-G. Huangfu, H.-Y. Yao, J.-B. Zhou & U. Kuhlmann. 2008.** Reproductive attributes of the eulophid *Oomyzus sokolowskii*, a biological control agent of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol Sci. Technol.* 8:753-765.
- Costa-Lima, T.C.A., A.T.P. Torris & A. Finotti. 2021.** Biology and Population Dynamics of the American Vine Moth and the Potential Biocontrol with *Trichogramma pretiosum*. *Neotrop. Entomol.* 50: 470–475.

- Diaz, A.E., A. Solis & H.L. Brocheiro. 2011.** Distribución geográfica de *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. Rev. Colom. Entomol. 37: 71-76.
- EPPO. 2015.** *Neoleucinodes elegantalis*. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin. 45, 9–13.
- Farrokhi, S., A. Ashouri, J. Shirazi, H. Allahvari & M.E.A Huigens. 2010.** Comparative Study on the Functional Response of *Wolbachia*-Infected and Uninfected Forms of the Parasitoid Wasp *Trichogramma brassicae*. J. Insect Sci, 10: 1–11.
- Fernández-arhex, V. & J.C Corley. 2003.** The functional response of parasitoids and its implications for biological control. Biocontrol Sci. Technol. 13: 403-413.
- Godfray, H.C.J. 1994.** Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology. Princeton: Princeton University, 473p.
- Ghorbani, R., A.A. Seraj, H. Allahyari & S. Farrokhi. 2019.** Functional response of *Trichogramma evanescens* parasitizing tomato leaf miner, *Tuta absoluta* on three tomato varieties. J. Agr. Sci. Tech. 21: 117-127.
- Gontijo, L., P. Cascone, M. Giorgini, M. Michelozzi, H.S. Rodrigues, G. Spiezia & E. Guerrieri, 2019.** Relative importance of host and plant semiochemicals in the foraging behavior of *Trichogramma achaeae*, an egg parasitoid of *Tuta absoluta*. J. Pest Sci. doi:10.1007/s10340-019-01091-y.
- Holling, C.S. 1959.** Some characteristics of simplotypes of predation and parasitism. Canadian Entomol. 91: 385-398.
- Holling, C.S. 1961.** Principles of insect predation. Annu. Rev. Entomol. 6: 163-183.
- Holling, C.S. 1966.** The functional response of invertebrate predators to prey density. Mem. Entomol. Soci. Can. 48:1-86.
- Jam, N. A. 2018.** Effect of botanical insecticides, Dayabon® and Palizin® against *Aphis fabae* Scopoli (Hem.: Aphididae) and functional response of its parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hym.: Braconidae). J Plant Prot Res. 7: 13-28.
- Jam, N. A.; M. Saber. 2018.** Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the functional response of the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum*. Entomol. Gen. 38: 173–190.
- Jarrahi, A. & S.A. Safavi. 2016.** Parasitism rate of *Habrobracon hebetor* to *Ephestia kuehniella* larvae: Residual effect of deltamethrin, fenvalerate and azadirachtin. J. Insect Behav. 29: 548–556.
- Kumar, N., N. Kumar. 2021.** Numerical Response of *Campoletis chloridae* Uchida (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of *Heliothis armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). J. sci. temper. 12: 31-34.

- Laurentis, V.L., D.G. Ramalho, N.A. Santos, V.F.P. Carvalho, A.M. Vacari, S.A. Bortoli & B.G. Dami. 2019.** Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Sci. Rep, 9(1).
- Lima, D.B., J.W.S. Melo, M.G.C. Gondim, R.N.C. Guedes, J.E.M. Oliveira & A. Pallini. 2015.** Acaricide-impaired functional predation response of the phytoseiid mite *Neoseiulus baraki* to the coconut mite *Aceria guerreronis*. Ecotoxicology 24: 1124–1130.
- Menon, A., P.W. Flinn & B.A. Dover. 2002.** Influence of temperature on the functional response of *Anisoptero maluscalandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae), a parasitoid of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). J. Stored Prod. Res. 38: 463–469.
- Milanez, A.M.; J.R. Carvalho, V.L.S. Lima & D. Pratissoli. 2018.** Functional response of *Trichogramma pretiosum* on *Trichoplusiani* eggs at different temperatures and egg densities. Pesqui. Agropecu. Bras. 53: 641–645.
- Mills, N.J. & I. Lacan. 2004.** Ratio dependence in the functional response of insect parasitoids: evidence from *Trichogramma minutum* foraging for eggs in small host patches. Ecol. Entomol., 29: 208–216.
- Moezipour, M., M. Kafil & H. Allahyari. 2008.** Functional response of *Trichogramma brassicae* at different temperatures and relative humidities. Bull. Insectology. 61: 245-250.
- Oliveira, J.E.M., S.A. Bortoli & I.V. Guedes. 2006.** Resposta funcional de *Orius insidiosus* (Say, 1832) a diferentes densidades de *Aphis gossypii* Glover, 1877. Rev. Biol. Ciênc. Terra. 6: 63-72.
- Paes, J.P.P., V.L.S. Lima, J.R. Carvalho & D. Pratissoli. 2018.** Functional response of two egg parasitoids of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) genre on *Duponchelia fovealis* Zeller (Lepidoptera: Crambidae) eggs. JEAI, 20: 1-7.
- Parreira, D. S., R. Alcántara-de la Cruz, G.L.D. Leite, F.S. Ramalho, J.C. Zanuncio & J.E. Serrão. 2018.** Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. Chemosphere, 199: 670–675.
- Parween, N. & E. Ahmad. 2015.** Numerical response of *Lipolexis oregmae* (Hymenoptera: Aphidiinae) against *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae). Eur. Sci. J. 11: 277-286.
- Picanço, M.C., L. Bacci, E.M. Silva, E.G.F. Morais, G.A. Silva & N.R. Silva. 2007.** Manejo integrado das pragas do tomateiro no Brasil. p.199-232. In: Silva, D.J.H., Vale, F.X.R. (Ed.). Tomate: tecnologia de produção. Viçosa: UFV.
- Queiroz, A.P., C.O. Costa, B.M. Favetti, G.V. Silva & A.F. Bueno. 2020.** Effects of parasitoid and host age on the parasitism of *Trichogramma pretiosum* on eggs of *Anticarsia gemmatilis*. Rev Bras Entomol. 64(2):e2019105.

- Rani, P.U., P. Sambangi, & K. Sandhyarani. 2017.** Impact of plant phenolics as semiochemicals on the performance of *Trichogramma chilonis* Ishii. *J Insect Behav*, 30: 16–31.
- Ranjbar, F., S. Reitz, M.A. Jalali, M. Ziaaddini & H. Izadi. 2018.** Lethal and Sublethal Effects of Two Commercial Insecticides on Egg Parasitoids (Hymenoptera: Scelionidae) of Green Stink Bugs (Hem: Pentatomidae). *J. Econ. Entomol.* 114: 33–39.
- Reznik, S.Y. & T.Y. Umarova. 1991.** Host population density influence on host acceptance in *Trichogramma*. *Entomol. exp. appl.* 58: 49-54.
- Rostami, F., N. Zandi-Sohani, F. Yarahmadi, L. Ramezan & K.A. Charsoghi. 2018.** Side-effects of azadirakhtin (NeemAzal) and flubendiamide (Takumi) on functional response of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *J. Crop Prot.* 7: 283-291.
- Saber, M., M. Ghorbani, N. Vaez & A. Armak. 2020.** Effects of diazinon and fipronil on functional response of *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hym.; Trichogrammatidae) in the laboratory conditions. *J. Crop Prot.* 9: 275-283.
- Santana, M.L.G., V.W. Teixeira, C.A. Guedes, G.S. Cruz, M.C.N. Ferreira, K.A. Dutra, D.M.A.F Navarro, R.S.M. Garcia, C.J.C.L. Neto, J.W.S. Melo & Á.A.C Teixeira. 2022.** Sublethal effects of some essential oils on the nutrition and biological parameters of *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) and its selectivity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *International Journal of Tropical Insect Science* 42: 3609–3621
- SAS Institute 2002.** The SAS System for Windows. SAS Institute, Cary, NC.
- Solomon, M.E. 1949.** The natural control of animal populations. *J. Anim. Ecol.* 18: 1- 35.
- Sousa, T.C.S., N.A. Leite, J. Sant’Ana. 2021.** Responses of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to Rice and Corn Plants, Fed and Oviposited by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotrop. Entomol.*, 50: 697–705.
- Sule, H., R. Muhamad, D. Omar & A.K.W. Hee. 2014.** Parasitism rate, host stage preference and functional response of *Tamarixia radiata* on *Diaphorina citri*. *Int. J. Agric. Biol.* 16: 783–788.
- Van Den Doll H & P.D.J.A. Kratz. 1963.** A generalization of the retention index system include linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *J Chromatogr A* 11: 464-471.
- Witting, B.E., D.B. Orr & H.M. Linker. 2007.** Attraction of insect natural enemies to habitat plantings in North Carolina. *J. Entomol. Sci.* 42: 439-456.

Zhu, G., L. Pan, Y. Zhao, X. Zhang, F. Wang, Y. Yu & M. Li. 2016. Chemical investigations of volatile kairomones produced by *Hyphantria cunea* (Drury), a host of the parasitoid *Chouioiacunea* Yang. Bull. Entomol. Res. 107(02), 234–240.

Tabela 1. Equação de disco de Holling e tipo de resposta funcional de *T. pretiosum* parasitando *N. elegantalis*.

Tratamentos	Equação de disco de Holling	χ^2	GL	P	Coeficiente linear da regressão	
					¹ L (P)	RF ²
Controle	$y = \frac{\exp [(-0,00015x^3) + (0.0147x^2) - (0.337x) - 0,78]}{1 + \exp [(-0,00015x^3) + (0.0147x^2) - (0.337x) - 0,78]}$	922.59	116	<0,0001	-0,337 (<0,0001)	II
<i>O. majorana</i>	$y = \frac{\exp [-(0.0128x) - 0,92]}{1 + \exp [-(0.0128x) - 0,92]}$	1043.33	117	<0,0001	-0,0128 (<0,0001)	II
<i>C. officinalis</i>	$y = \frac{\exp [-(0,0004x^2) + (0.0330x) - 1,43]}{1 + \exp [-(0,0004x^2) + (0.0330x) - 1,43]}$	1119.42	117	<0.0001	0,0330 (0,0039)	III
Azadirachtina	$y = \frac{\exp [-(0.0159x) - 3,86]}{1 + \exp [-(0.0159x) - 3,86]}$	105.37	118	0.7910	-0,0159 (0,0564)	I
Deltametrina	$y = \frac{\exp [-(0.0223x) - 3,72]}{1 + \exp [-(0.0223x) - 3,72]}$	108.26	118	0.7286	-0,0223 (0,0119)	II

¹Coeficiente linear e probabilidade (P); ²Resposta funcional. * χ^2 Qui quadrado; GL Grau de Liberdade; P probabilidade.

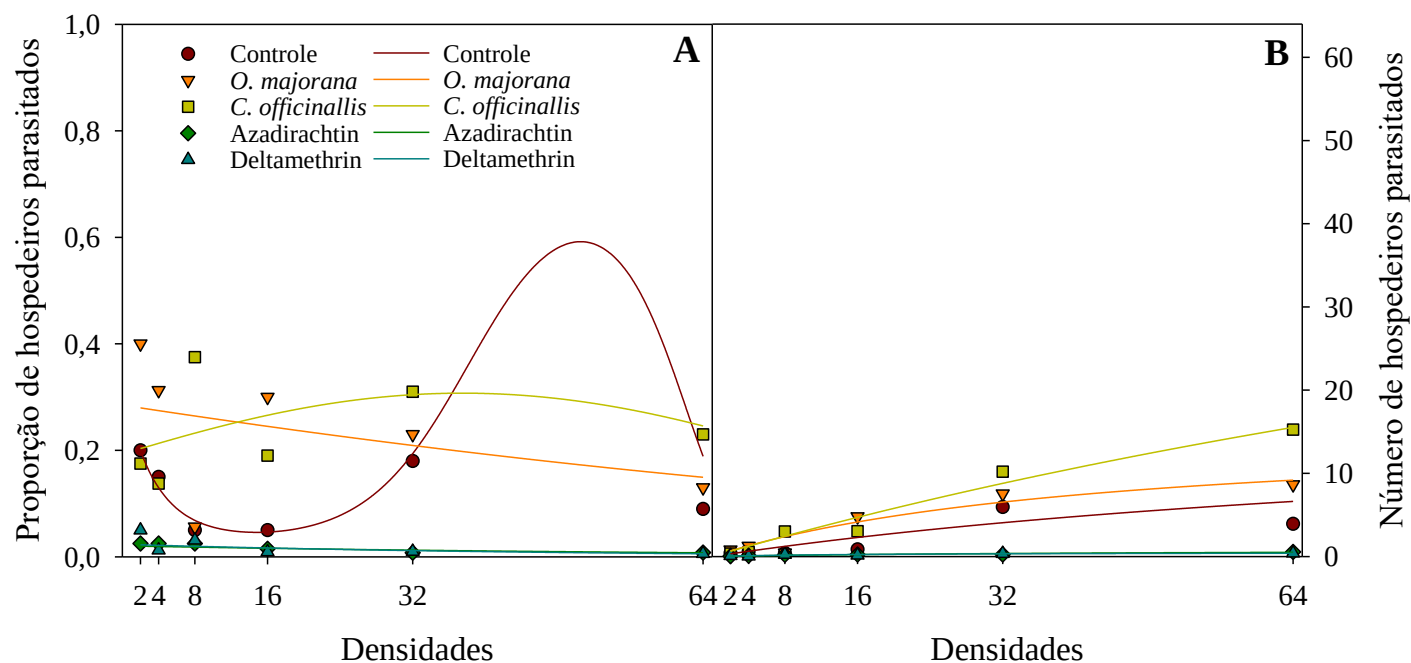


Figura 1. Curvas de resposta funcional de *T. pretiosum* parasitando densidades crescentes de ovos de *N. elegantalis* após exposição a dois óleos essenciais e dois inseticidas (A) e proporções de parasitismo de ovos pelo parasitoide (B). As linhas representam os valores estimados pela resposta funcional a partir da equação de disco de Holling.

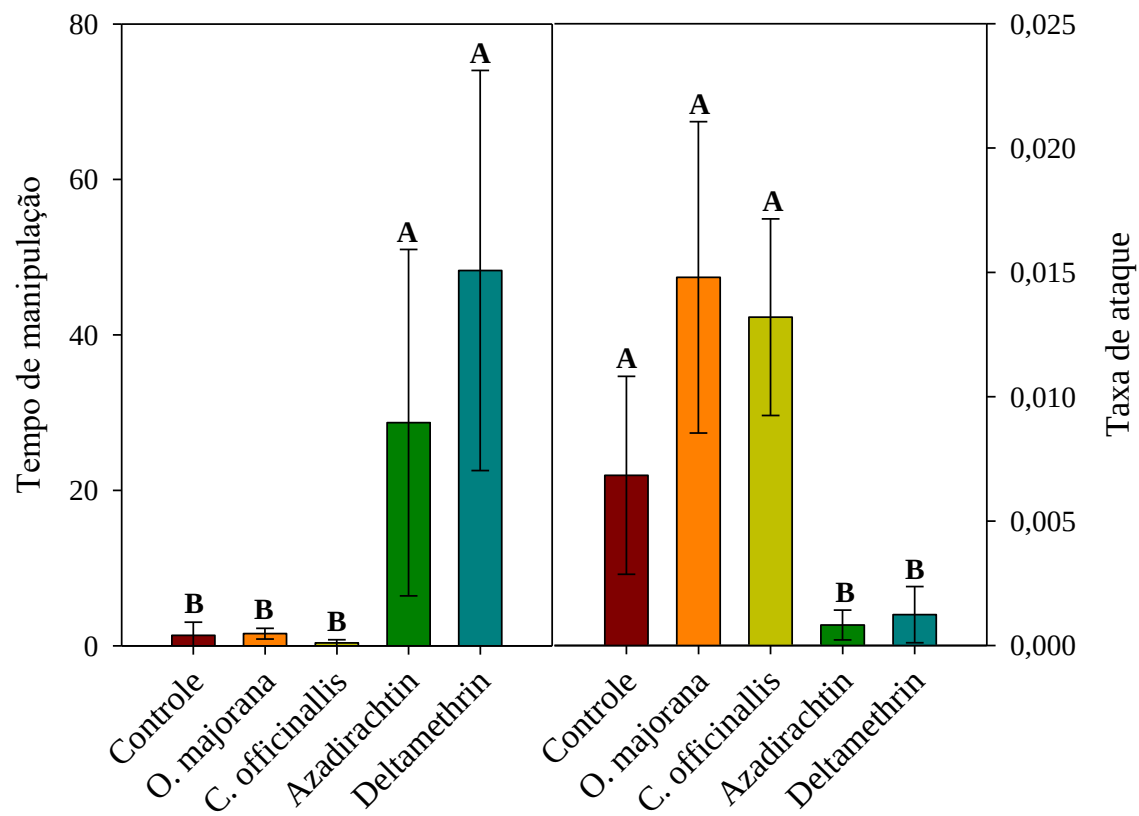


Figura 2. Taxa de ataque (em unidade de hospedeiros parasitados pelo parasitoide por unidade de tempo de busca) e tempo de manipulação (tempo médio para parasitismo dos hospedeiros).

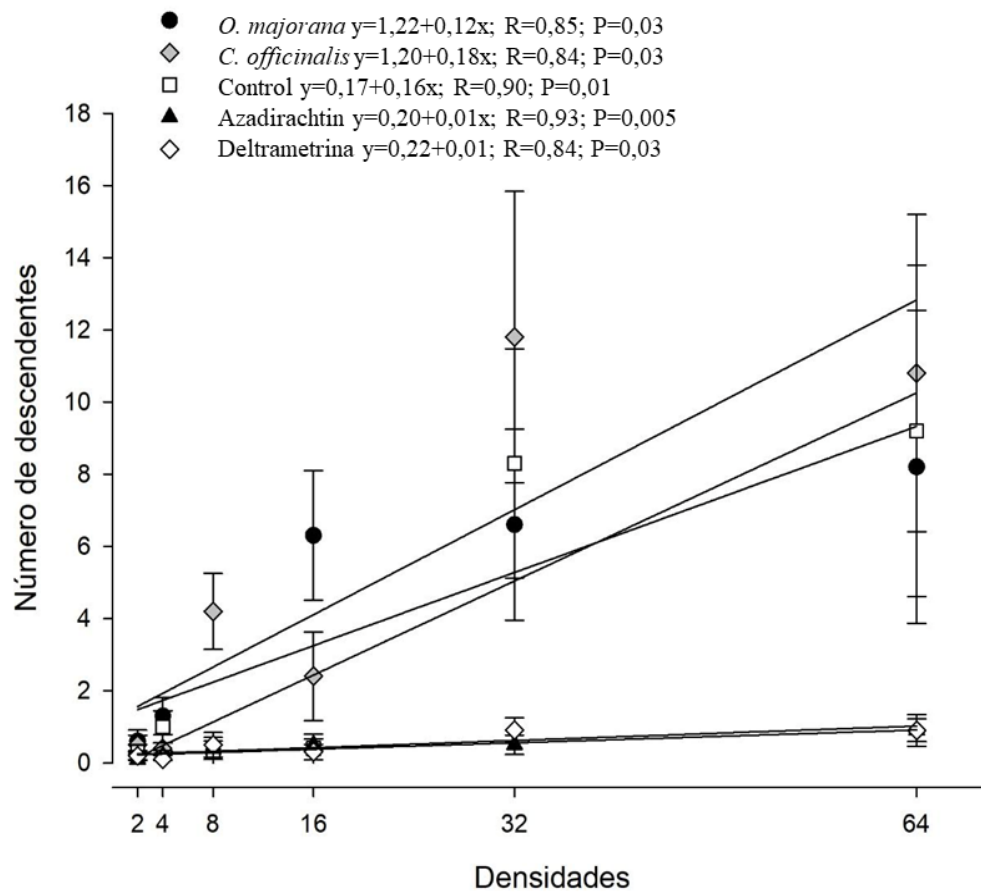


Figura 3: Número médio de ovos parasitados por fêmeas de *T. pretiosum* expostas a aos óleos e inseticidas. Relação calculada por análise de regressão usando um modelo linear.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conciliar métodos de controle químicos e biológicos no Manejo Integrado de Pragas pode ser uma tarefa bastante desafiadora, visto a uma possível incompatibilidade entre eles.

Neste trabalho, observamos a influência dos óleos *O. majorana* e *C. officinalis* e também da azadiractina e deltametrina, no controle da praga do tomate *N. elegantalis*, e também no seu inimigo natural, o parasitoide de ovos *T. pretiosum*. Os óleos apresentaram efeitos subletais, alterando parâmetros biológicos e bioquímicos importantes em *N. elegantalis*, além do que o óleo de *C. officinalis* apresentou maior seletividade para *T. pretiosum*.

O conhecimento das respostas funcionais e numéricas é básico para qualquer investigação das relações parasitoide-hospedeiros e elementos-chave na seleção de parasitoides para o controle biológico. Os óleos estudados apresentaram tempo de manipulação e taxa de ataque mais baixas em comparação aos inseticidas, sendo que *C. officinalis*, evidencia maior compatibilidade quando integrado ao parasitoide, no manejo da praga.

A utilização desse óleo, objeto desse estudo, visa uma alternativa de controle promissora que poderá ser aproveitada no controle dessa praga.