

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL
Elizangela Souza Pereira Costa

TOXICIDADE DO IMIDACLOPRIDO, TIAMETOXAM E DELTAMETRINA A
Palmistichus elaeisis (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

Diamantina
2020

Elizangela Souza Pereira Costa

TOXICIDADE DO IMIDACLOPRIDO, TIAMETOXAM E DELTAMETRINA A
Palmistichus elaeisis (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Alvarenga Soares
Coorientador: Dr. Ronnie Von dos Santos Veloso

Diamantina
2020

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C837t Costa, Elizangela Souza Pereira
Toxicidade do imidacloprido, tiametoxam e deltametrina a
Palmistichus elaeisis (Hymenoptera: Eulophidae) / Elizangela Souza
Pereira Costa , 2020.
59 p.: il.

Orientador: Marcus Alvarenga Soares

Tese (Doutorado– Programa de Pós Graduação em Produção
Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri,
Diamantina, 2020.

1. Controle biológico. 2. Controle químico. 3. Parasitoides e
toxicidade. I. Soares, Marcus Alvarenga. II. Título. III. Universidade
Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 633

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Viviane Pedrosa – CRB6/2641



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

ELIZANGELA SOUZA PEREIRA COSTA

Toxicidade do imidacloprido, tiametoxam e deltametrina a *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae)

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em **Produção Vegetal** da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, **nível de Doutorado**, como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Produção Vegetal**.

Orientador: Prof. **Marcus Alvarenga Soares**

Co-orientador: **Ronnie Von dos Santos Veloso**

Data de aprovação 11/setembro/2020.

Prof. Marcus Alvarenga Soares - (UFVJM)

Profa. Conceição Aparecida dos Santos - (UFVJM)

Ronnie Von dos Santos Veloso - (UFVJM)

Prof. Sebastião Lourenço de Assis Júnior - (UFVJM)

Profa. Estela Rosana Durães Vieira - (IFAM)



Documento assinado eletronicamente por **Marcus Alvarenga Soares, Servidor**, em 28/09/2020, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sebastião Lourenço de Assis Júnior, Servidor**, em 28/09/2020, às 10:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ronnie Von dos Santos Veloso, Usuário Externo**, em 28/09/2020, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Estela Rosana Duraes Vieira, Usuário Externo**, em 29/09/2020, às 09:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Conceição Aparecida dos Santos, Servidor**, em 01/10/2020, às 15:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufvjm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0179559** e o código CRC **27F4CB04**.

DEDICO
A minha família,
Pelo apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa.

Agradeço a Deus por guiar meu caminho.

Aos meus pais, Maria e Luiz pelo amor e apoio, em especial a minha mãe, a minha maior incentivadora.

Ao meu esposo, Jhonny, pelo companheirismo, parceria, amor, paciência e disposição para me ajudar em tudo.

Aos meus irmãos, Fábio, Júnior e em especial a Elizabeth (Júlia, Miguel e Sérgio), pelo apoio e bons conselhos.

Ao meu orientador, Marcus Alvarenga, por todo o conhecimento, paciência, incentivo, orientação, ensinamentos valiosos e carinho ao longo desses nove anos de convivência.

Ao meu coorientador, Ronnie Veloso, pelas contribuições, ensinamentos, orientação, paciência para sanar minhas inúmeras dúvidas e ajuda nas análises.

A minha segunda família (Nildéia, Sr. João e Paloma) por todo o amor e carinho.

A minha cunhada, irmã, parceira e amiga, Jéssica, pelo amor, ajuda nos momentos difíceis, pelos conselhos e boas risadas.

Ao meus doguinho e Ted, pelo amor, carinho e me proporcionar minha alegria todos os dias.

Aos meus amigos do laboratório de Controle Biológico, pela amizade, companheirismo e ajuda durante esses anos de trabalho. Em especial a Zaira, pelo carinho, boas conversas e ajuda no desenvolvimento dos trabalhos no laboratório.

A Raiane, Cléber e José Carlos pela ajuda no desenvolvimento dos experimentos e pela amizade.

Aos colegas do DCBio, Samuel, Bosco e a professora Conceição por proporcionar o aprendizado na área da histologia e me recepcionar com muito carinho e ajuda nos trabalhos lá desenvolvidos.

Aos colegas do NEMIP, pelos momentos de aprendizado e descontração.

Ao programa de Pós-graduação em Produção Vegetal e aos professores, pelos ensinamentos.

A banca, por aceitar o convite.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, incentivo e carinho ao longo desses anos.

RESUMO

Elizangela Souza Pereira Costa. **TOXICIDADE DO IMIDACLOPRIDO, TIAMETOXAM E DELTAMETRINA A *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**. 2020. 59p. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

O uso indiscriminado de inseticidas químicos para controlar insetos pragas na agricultura e no setor florestal pode afetar, negativamente, populações de inimigos naturais, por isso inseticidas seletivos devem ser priorizados em programas de manejo integrado de pragas. Parasitoides são importantes inimigos naturais que ajudam a manter o equilíbrio nos agroecossistemas e atuam no controle de insetos pragas. Inseticidas químicos devem ser tóxicos para a praga e inócuos para o agente de controle biológico para que a associação do controle químico e biológico seja bem-sucedida. O objetivo do trabalho foi avaliar a toxicidade aguda do imidacloprido, tiametoxam e deltametrina e os efeitos sobre a biologia do endoparasitoide *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) em três gerações. A toxicidade aguda para *P. elaeisis* foi determinada pela estimativa da CL_{50} por meio de ensaios de dose-resposta por 48h de exposição. Os efeitos sobre a capacidade de parasitismo e a taxa de emergência para *P. elaeisis* após a exposição a CL_{10} e CL_{50} de inseticidas neonicotinoides e piretroide foram avaliadas. Pupas de *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae) usadas como hospedeiros alternativos foram contaminadas com inseticidas e ofertadas a *P. elaeisis*. Os parâmetros biológicos como a capacidade de parasitismo, emergência, razão sexual, duração do ciclo biológico e a sobrevivência foram avaliados por três gerações. Os três inseticidas foram tóxicos a *P. elaeisis*, ocasionando aumento da mortalidade proporcionalmente ao aumento das concentrações. O parasitismo e emergência de *P. elaeisis* não foram reduzidos quando fêmeas foram contaminadas por contato com o imidacloprido e o tiametoxam, mas com a deltametrina não houve indivíduos emergidos. A capacidade de parasitismo por *P. elaeisis* não foi afetada, mas a taxa de emergência foi significativamente reduzida. A razão sexual e o ciclo biológico foram significativamente afetados, com aumento do número de dias para completar o ciclo biológico. O risco de morte foi alto para todos os três inseticidas e efeitos subletais podem ser observados até a terceira geração.

Palavras-chave: Controle biológico, controle químico, parasitoides e toxicidade

ABSTRACT

Elizangela Souza Pereira Costa. **TOXICITY OF IMIDACLOPRID, THIAMETHOXAM AND DELTAMETHRIN TO *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**. 2020. 59p. (Thesis – (Doctor in Vegetable Production) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valley, 2020.

Indiscriminate use of chemical insecticides to control insect pests in the agricultural and forestry sector, can negatively affect natural enemies populations, thereby selective insecticides should be prioritized in integrated pest management programs. Parasitoids are important natural enemies that contribute positively to maintain ecological balance in the agroecosystem particularly in the control of insect pests. Chemical insecticides must be toxic to the pest and harmless to the biological control agent to successful association of chemical and biological control. The objective of this work was to evaluate the acute toxicity of imidacloprid, thiamethoxam and deltamethrin, and the effects on the biology of the endoparasitoid *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) throughout three generations. The acute toxicity for *P. elaeisis* was determined by the CL₅₀ estimative from dose-response bioassay for 48 hours of exposure. The effects on parasitism capacity and emergence rate of *P. elaeisis* after CL₁₀ and CL₅₀ exposure to neonicotinoids insecticides and pyrethroid were evaluated. Pupae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae) used as an alternative host were contaminated with insecticides and offered to *P. elaeisis*. The biological parameters such as parasitism capacity, emergence rate, sex ratio, duration of the biological cycle and survival were evaluate throughout three generations. The three insecticides were toxic to *P. elaeisis*, causing an increase in mortality with increasing level of exposure. Parasitism and emergence were not reduced when they were contaminated by contact with imidacloprid and thiamethoxam, but with deltamethrin there were no emergencies. *P. elaeisis* parasitism capacity was not reduced on the other hand emergence rate was significantly reduced. Insecticide exposure The sex ratio and the biological cycle was significantly affected, with increase in the number of days to complete the biological cycle. The risk of death was high for all three insecticides and sublethal effects can be observed up to the third generation of *P. elaeisis*.

Keywords: Biological control, chemical control, parasitoids and toxicity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva dose-resposta para determinação da toxicidade aguda do imidacloprido (a) tiametoxam (b) e deltametrina (c) em fêmeas de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) após 48h de exposição a diferentes concentrações.26

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1: Concentrações letais (CL ₁₀ e CL ₅₀) imidacloprido, tiametoxam e deltametrina estimadas para matar 50% da população de <i>Palmistichus elaeisis</i> (Hymenoptera: Eulophidae) após 48h de exposição.....	25
Tabela 2 - Média ± (EP) do parasitismo, emergência e razão sexual de <i>Palmistichus elaeisis</i> (Hymenoptera: Eulophidae), submetidos às CL ₁₀ e CL ₅₀ de imidacloprido, tiametoxam e deltametrina.....	27

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Porcentagem de parasitismo, emergência, razão sexual (RS) e Ciclo Biológico (CB) (Média ± EP) de <i>Palmistichus elaeisis</i> (Hymenoptera: Eulophidae) da geração F1, F2 e F3. Apenas a geração parental foi submetida às diferentes concentrações de imidacloprido (mg/mL).	41
Tabela 2 - Análise de regressão univariada de Cox, com razão de risco e intervalo de confiança de 95% para fêmeas adultas de <i>Palmistichus elaeisis</i> , expostas a concentrações de imidacloprido (mg /mL).....	43
Tabela 3 - Porcentagem de parasitismo, emergência, razão sexual (RS) e Ciclo Biológico (CB) (Média ± EP) de <i>Palmistichus elaeisis</i> (Hymenoptera: Eulophidae) da geração F1, F2 e F3. Apenas a geração parental foi submetida às diferentes concentrações de tiametoxam (mg/mL).	44
Tabela 4 - Análise de regressão univariada de Cox, com razão de risco e intervalo de confiança de 95% para fêmeas adultas de <i>Palmistichus elaeisis</i> , expostas a concentrações de tiametoxam (mg/mL).	46
Tabela 5 - Porcentagem de parasitismo, emergência, razão sexual (RS) e Ciclo Biológico (CB) (Média ± EP) de <i>Palmistichus elaeisis</i> (Hymenoptera: Eulophidae) da geração F1, F2 e F3. Apenas a geração parental foi submetida às diferentes concentrações de deltametrina (mg/mL).	47
Tabela 6 - Análise de regressão univariada de Cox, com razão de risco e intervalo de confiança de 95% para fêmeas adultas de <i>Palmistichus elaeisis</i> , expostas a concentrações de deltametrina (mg/mL).	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPITULO I	21
TOXICIDADE DE INSETICIDAS PARA O PARASITOIDE <i>Palmistichus elaeisis</i> (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)	21
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	23
2.1 Insetos.....	23
2.2 Inseticidas	23
2.3 Bioensaio I - Teste de toxicidade aguda.....	24
2.4 Bioensaio II - Teste de toxicidade com CL ₁₀ e CL ₅₀	24
2.5 Análise estatística	25
3 RESULTADOS	25
3.1 Toxicidade aguda.....	25
3.2 Bioensaio II - Teste de toxicidade CL ₁₀ e CL ₅₀	26
4 DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
CAPÍTULO II.....	37
INSETICIDAS SINTÉTICOS PODEM AFETAR ATÉ TRÊS GERAÇÕES DE <i>Palmistichus elaeisis</i> (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)?.....	37
1 INTRODUÇÃO	38
2 MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1 Insetos.....	39
2.2 Inseticidas	39
2.3 Teste de toxicidade	40
2.4 Análise estatística	41
3 RESULTADOS	41
4 DISCUSSÃO	49
5 CONCLUSÕES.....	54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
CONSIDERAÇÕES GERAIS	60

1 INTRODUÇÃO GERAL

Diversas espécies de parasitoides eulofídeos são importantes agentes de controle natural de inúmeras pragas de importância agrícola e florestal (PRATISSOLI *et al.*, 2005). *Palmistichus elaeisis* é um endoparasitoide pertencente à subfamília Tetrastichinae nativo da região Neotropical (DELVARE; LASALLE, 1993). É uma espécie generalista e controla pupas de Lepidoptera e Coleoptera (PEREIRA *et al.*, 2017; ZANUNCIO *et al.*, 2008) com registros nas espécies *Thyrintina arnobia* (Stoll) (Lepidoptera: Geometridae), *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) (PEREIRA *et al.*, 2008), *Sarsina violascens* Herrich-Schaeffer (Lepidoptera: Lymantriidae), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), *Heliothis virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) (BITTENCOURT; BERTI FILHO, 1999), *Eupseudosoma involuta* (Sepp) (Lepidoptera: Arctiidae), *Euselasia eucerus* (Hewitson) (Lepidoptera: Riodinidae), *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (BITTENCOURT; BERTI FILHO, 2004) e *T. molitor* (ZANUNCIO *et al.*, 2008). A reprodução de *P. elaeisis* pode ser sexuada ou partenogenética (telítoca), o acasalamento ocorre imediatamente após a emergência dos adultos e a progênie tem predominância de fêmeas (PASTORI *et al.*, 2012). *Palmistichus elaeisis* possui hábito gregário, são idiobiontes (BITTENCOURT; BERTI FILHO, 1999), e os adultos de vida livre se alimentam de pólen e néctar floral (CAMILO *et al.*, 2016). Essa espécie é eficiente como agente de controle biológico em áreas florestais e agrícolas (BARBOSA *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2008).

O monocultivo é uma prática muito utilizada e que está associada à redução da heterogeneidade ambiental e como consequência, aumento do ataque de insetos herbívoros. O método mais frequente de controlar insetos pragas na maioria dos setores agrícolas e florestais é através da aplicação de inseticidas sintéticos. Entretanto, os efeitos colaterais dos inseticidas não seletivos representam um risco para organismos não alvos (PARSAEYAN *et al.*, 2020). O uso indiscriminado de inseticidas pode ocasionar efeitos diretos (letais) e indiretos (subletais) nesses organismos. Os efeitos subletais são alterações em indivíduos que sobrevivem à exposição a um inseticida sofrem (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). As alterações incluem possíveis modificações nas características reprodutivas (fecundidade, fertilidade e razão sexual), comportamentais (buscar e localizar hospedeiro e parceiros sexuais, capacidade de parasitismo e oviposição) e no desenvolvimento dos inimigos naturais (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007; RICUPERO *et al.*, 2020).

Programas de manejo integrado de pragas (MIP) enfatizam o uso combinado de métodos biológicos, culturais, físicos e químicos (TIMPRASERT; DATTA; RANAMUKHAARACHCHI, 2014) para reduzir as populações de pragas abaixo do nível de dano econômico em vez da erradicação (SHARMA; MOORTHY; KRISHNAMOORTHY, 2009). O controle biológico é uma técnica mais específica, não apresenta risco de desenvolvimento de resistência em insetos pragas e reduz os danos a espécies não alvos, embora seu sucesso dependa principalmente da proteção dos inimigos naturais (RUSCH *et al.*, 2010). O MIP é uma maneira econômica, eficiente e ambientalmente sustentável de controlar insetos pragas (TIMPRASERT; DATTA; RANAMUKHAARACHCHI, 2014), sendo mais promissor em longo prazo (SOARES *et al.*, 2007, 2009).

Inseticidas neonicotinoides e piretroides são registrados para o controle de diversas espécies de pragas no Brasil (AGROFIT, 2020) como moscas-brancas, pulgões, cigarrinhas, tripses, coleópteros, himenópteros e lepidópteros (LI *et al.*, 2018). O imidacloprido e o tiametoxam são usados em aplicação foliar, tratamento de solo e sementes. Atuam nos receptores nicotínicos sinápticos da acetilcolina no sistema nervoso central dos insetos. A especificidade para o receptor de insetos o torna mais seletivo a mamíferos, sua aplicação em doses muito baixas e a flexibilidade em sua aplicação reduzem a exposição direta a organismos não alvos no meio ambiente (TOMIZAWA; CASIDA, 2005). No entanto, algumas pesquisas questionam a segurança desses compostos e demonstram que eles nem sempre são seletivos e podem ser tóxicos para organismos não alvos como parasitoides e polinizadores (CLOYD; BETHKE, 2011; CHRISTEN *et al.*, 2018). A deltametrina é um piretroide sintético do tipo II que possui um grupo α -ciano. A ação desse inseticida depende de sua capacidade de se ligar e interromper os canais de sódio dependentes de voltagem da membrana dos insetos. São moléculas de amplo espectro de ação e atuam por contato e ingestão e possui baixa toxicidade a mamíferos, quando comparado aos inseticidas mais antigos (SODERLUND, 2012).

Nos programas de MIP, o inseticida deve ser tóxico para as espécies alvos de pragas e, inofensivo para os inimigos naturais como os parasitoides. Nesse contexto, uma avaliação dos riscos de inseticidas em agentes de controle biológico é importante para o desenvolvimento de estratégias eficazes de MIP. Os inseticidas testados foram escolhidos por serem amplamente utilizados em vários cultivos nos quais *P. elaeisis* é encontrado. Existem duas gerações de neonicotinoides que se distinguem entre si pelo fato dos de primeira geração possuírem um grupo cloropiridinil enquanto que os de segunda possuem um clorotiazolidil. Existem poucos estudos de toxicologia e seletividade desses inseticidas a parasitoides na literatura. Devido à importância do parasitoide *P. elaeisis* em programas de manejo integrado de pragas (MIP) e o

uso excessivo de inseticidas piretroides e neonicotinoídeos, estudos para avaliar os impactos desses produtos nos parâmetros biológicos desse parasitoide são importantes.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar a toxicidade do imidacloprido, tiametoxam e da deltametrina ao endoparasitoide *Palmistichus elaeisis*.

2.2 Específicos

- Avaliar a toxicidade aguda dos três inseticidas a *P. elaeisis*.

- Estimar a CL₁₀ e CL₅₀ para todos os inseticidas a *P. elaeisis*.

- Avaliar os efeitos de concentrações subletais dos inseticidas na taxa de parasitismo, emergência, razão sexual, duração ciclo biológico e sobrevivência em três gerações de *P. elaeisis*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- BARBOSA, R. H. *et al.* Foraging activity of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) at various densities on pupae of the *Eucalyptus* defoliator *Thyriniteina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae). **Florida Entomologist**, v. 99, n. 4, p. 686–690, 2016.
- BITTENCOURT, M. A. L.; BERTI FILHO, E. Preferência de *Palmistichus elaeisis* por pupas de diferentes lepidópteros praga. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, p. 1281–1283, 1999.
- BITTENCOURT, M. A. L.; BERTI FILHO, E. Desenvolvimento dos estágios imaturos de *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) em pupas de Lepidoptera. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 1, p. 65–68, 2004.
- CAMILO, S. S. *et al.* Do floral resources in *Eucalyptus* plantations affect fitness parameters of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae)? **Phytoparasitica**, v. 44, n. 5, p. 651–659, 2016.
- CHRISTEN, V. *et al.* Global transcriptomic effects of environmentally relevant concentrations of the neonicotinoids clothianidin, imidacloprid, and thiamethoxam in the brain of honey bees (*Apis mellifera*). **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 13, p. 7534–7544, 2018.
- CLOYD, R. A.; BETHKE, J. A. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interiorscape environments. **Pest Management Science**, v. 67, n. 1, p. 3–9.
- DELVARE, G.; LASALLE, J. A new genus of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) from the Neotropical Region, with the description of a new species parasitic on key pests of oil palm. **Journal of Natural History**, v. 27, n. 2, p. 435–444, 1993.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual review of entomology**, v. 52, p. 81–106, 2007.
- LI, Y. F. *et al.* Systemic control efficacy of neonicotinoids seeds dressing on English grain aphid (Hemiptera: Aphididae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 1, p. 430–435, 2018.
- PARSAEYAN, E. *et al.* Side effects of chlorantraniliprole, phosalone and spinosad on the egg parasitoid, *Trichogramma brassicae*. **Ecotoxicology**, v. 29, p. 1052–1061, 2020.
- PASTORI, P. L. *et al.* Densidade de fêmeas de *Palmistichus elaeisis* Delvare & Lasalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae) para sua reprodução em pupas de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.79, n.4, p. 525-532, 2012.
- PEREIRA, F. F. *et al.* Species of Lepidoptera defoliators of eucalyptus as new host for the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 2, p. 259–262, 2008.

PEREIRA, K. *et al.* Superparasitism, immune response and optimum progeny yield in the gregarious parasitoid *Palmistichus elaeisis*. **Pest management science**, v. 73, n. 6, p. 1101–1109, 2017.

PRATISSOLI, D. *et al.* Capacidade de dispersão de *Trichogramma* em tomateiro estaqueado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 613–616, 2005.

RICUPERO, M. *et al.* Target and non-target impact of systemic insecticides on a polyphagous aphid pest and its parasitoid. **Chemosphere**, v. 247, p. 125728, 2020.

RUSCH, A. *et al.* Chapter six - Biological Control of Insect Pests in Agroecosystems: Effects of Crop Management, Farming Systems, and Seminatural Habitats at the Landscape Scale: A Review. In: SPARKS, D. L. (Ed.). *Advances in Agronomy*. [s.l.] Academic Press, 2010. v. 109p. 219–259.

SHARMA, D.; MOORTHY, P.; KRISHNAMOORTHY, A. Comparative study of pesticide residue pattern in vegetables grown using IPM and non-IPM practices. **Journal Horticultural Sciences**, v. 4, p. 191–194, 2009.

SOARES, M. A. *et al.* Note: Flight capacity, parasitism and emergence of five *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) species from forest areas in Brazil. **Phytoparasitica**, v. 35, n. 3, p. 314, 2007.

SOARES, M. A. *et al.* Does *Thyrintaina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae) use different defense behaviours against predators? **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 116, n. 1, p. 30–33, 2009.

SODERLUND, D. M. Molecular mechanisms of pyrethroid insecticide neurotoxicity: recent advances. **Archives of toxicology**, v. 86, n. 2, p. 165–181, 2012.

TIMPRASERT, S.; DATTA, A.; RANAMUKHAARACHCHI, S. L. Factors determining adoption of integrated pest management by vegetable growers in Nakhon Ratchasima Province, Thailand. **Crop Protection**, v. 62, p. 32–39, 2014.

TOMIZAWA, M.; CASIDA, J. E. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 45, p. 247–268, 2005.

ZANUNCIO, J. *et al.* *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae), a new alternative host to rear the pupae parasitoid *Palmistichus elaeisis* Delvare & Lasalle (Hymenoptera: Eulophidae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 62, p. 64–66, 2008.

CAPITULO I

TOXICIDADE DE INSETICIDAS PARA O PARASITOIDE *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)

RESUMO

Elizangela Souza Pereira Costa. **TOXICIDADE DE INSETICIDAS PARA O PARASITOIDE *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**. 2020. 59p. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

Palmistichus elaeisis é um endoparasitoide de pupas de lepidóptera e coleóptera que possui elevado potencial para uso no controle de insetos pragas. O objetivo do trabalho foi avaliar a toxicidade do imidacloprido, tiametoxam e deltametrina para *P. elaeisis*. Para o bioensaio I, vinte fêmeas foram colocadas por 48h em um frasco de vidro (tipo penicilina) contaminado. Diferentes concentrações dos três inseticidas foram utilizadas, com quatro repetições para obter as curvas dose-resposta e estimar a CL₁₀ e CL₅₀. Para o bioensaio II, cem fêmeas foram expostas em frasco de vidro (penicilina) contaminado com as CL₁₀ e CL₅₀ de cada inseticida por 24h. Fêmeas de *P. elaeisis* que sobreviveram foram transferidas para tubos de ensaio e uma pupa sadia de *T. molitor* foi exposta ao parasitismo por 48h (6 fêmeas / 1 pupa), com 10 repetições. As fêmeas de *P. elaeisis* apresentaram elevada mortalidade após o contato com as concentrações de todos os inseticidas. As CL₁₀ e CL₅₀ para cada inseticida foram estimadas em 0,003580 e 0,008648 mg/mL para o imidacloprido, 0,001155 e 0,002369 mg/mL para tiametoxam e para a deltametrina 0,020202 e 0,087848 µl/mL. No bioensaio II, os inseticidas não afetaram o parasitismo. A emergência e a razão sexual também não foram afetadas negativamente pelo imidacloprido e tiametoxam. No entanto, com deltametrina não houve emergência de indivíduos em nenhuma das concentrações testadas. O imidacloprido e tiametoxam podem ser tóxicos e causar altas taxas de mortalidade a *P. elaeisis*. O parasitismo, emergência e razão sexual de fêmeas contaminadas com CL₁₀ e CL₅₀ por 24h de imidacloprido, tiametoxam não foi reduzido. A deltametrina não reduziu o parasitismo de *P. elaeisis*, mas não houve indivíduos emergidos em nenhuma das concentrações testadas.

Palavras-chave: Controle biológico, controle químico, neonicotinoides e piretroide

ABSTRACT

Elizangela Souza Pereira Costa. **TOXICITY OF INSECTICIDES TO PARASITOIDE *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**. 2020. 59p. (Thesis – (Doctor in Vegetable Production) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valley, 2020.

Palmistichus elaeisis is an endoparasitoid of pupae of lepidopteran and coleopteran that has high potential for use in the control of insect pests. The objective of the work was to evaluate the toxicity of imidacloprid, thiamethoxam and deltamethrin in *P. elaeisis*. For bioassay I, twenty females were placed for 48 hours in a contaminated glass bottle (penicillin type). Different concentrations of the three insecticides were used, with 4 repetitions to obtain the dose-response curves and estimate the CL₁₀ and CL₅₀. For bioassay II, one hundred females were exposed in a glass bottle (penicillin) contaminated with the CL₁₀ and CL₅₀ of each insecticide for 24 hours. Surviving *P. elaeisis* females were transferred to test tubes and a healthy *T. molitor* pupa was exposed to parasitism for 48 hours (6 females / 1 pupa), with 10 repetitions. *P. elaeisis* females showed high mortality after contact with the concentrations of all insecticides. The CL₁₀ and CL₅₀ for each insecticide were estimated 0.003580 and 0.008648 mg/mL for imidacloprid, 0.001155 and 0.002369 mg/mL for thiamethoxam and for deltamethrin 0.020202 and 0.087848 µl/mL. In bioassay II, insecticides did not affect parasitism. Emergence and sex ratio were also not negatively affected by imidacloprid and thiamethoxam. However, with deltamethrin there was no emergence of individuals in any of the tested concentrations. Imidacloprid and thiamethoxam can be toxic and cause high mortality rates to *P. elaeisis*. The parasitism, emergence and sex ratio of females contaminated with CL₁₀ and CL₅₀ for 24 hours of imidacloprid, thiamethoxam was not reduced. Deltamethrin did not reduce the parasitism of *P. elaeisis*, but there were no emergencies in any of the tested concentrations.

Keywords: Biological control, chemical control, neonicotinoids and pyrethroid

1 INTRODUÇÃO

Palmistichus elaeisis Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) é um endoparasitoide gregário e nativo da região Neotropical (DELVARE; LASALLE, 1993). Possui hábito polífago e as fêmeas ovipositam em pupas, onde após a emergência, as larvas se alimentam dos tecidos e órgãos do hospedeiro (SOARES *et al.*, 2009). *Palmistichus elaeisis* parasita e se desenvolve naturalmente em pupas de lepidópteros de importância econômica, como *Thyrinteina arnobia* (Stoll) (Geometridae) (BARBOSA *et al.*, 2016), *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Noctuidae) (PEREIRA *et al.*, 2008), *Sarsina violascens* Herrich-Schaeffer (Lymantriidae), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Crambidae), *Heliothis virescens* (Fabricius) e *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Noctuidae) (BITTENCOURT; BERTI FILHO, 2004). O hospedeiro alternativo *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae) pode ser utilizado para criar esse inimigo natural em laboratório (ZANUNCIO *et al.*, 2008). Esse parasitoide possui grande potencial para uso no controle biológico e pode ser liberado em áreas florestais e agrícolas (BARBOSA *et al.*, 2016; BITTENCOURT; BERTI FILHO, 2004).

Novas estratégias de controle de pragas se concentram em reduzir o uso de inseticidas químicos e buscam a compatibilidade com agentes de controle (BAKER; GREEN; LOKER, 2020). O controle biológico aliado ao uso de inseticidas seletivos pode minimizar os efeitos tóxicos dessas moléculas (PRABHAKER *et al.*, 2007). A baixa toxicidade de inseticidas para organismos não alvos é um componente importante para um manejo integrado (RICUPERO *et al.*, 2020). Parasitoides podem ser expostos a inseticidas diretamente, durante a pulverização, e indiretamente pela hemolinfa contaminada do hospedeiro (ADDISON; BARKER, 2006). A exposição a inseticidas não resulta necessariamente na morte do inimigo natural, mas pode levar a efeitos subletais em sua fisiologia e biologia (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

Inseticidas piretroides e neonicotinoides são amplamente usados na agricultura e silvicultura no controle de insetos pragas (AGROFIT, 2020). A deltametrina é utilizada no controle de lepidópteros desfolhadores, possui amplo espectro de ação e atuam por contato e ingestão mantendo abertos os canais de sódio das membranas dos neurônios dos insetos (YOUSSEF *et al.*, 2004). Devido a suas características, essa molécula inseticida pode ser tóxica para organismos não alvos. O parasitismo e emergência de *P. elaeisis* foram reduzidos quando este inimigo natural ficou em contato com pupas de *T. molitor* contaminadas com concentrações de deltametrina (PEREIRA-COSTA *et al.*, 2020). O imidacloprido e tiametoxam são inseticidas sistêmicos, usados em aplicação foliar, solo ou tratamento de sementes. Atuam no controle de

insetos sugadores e mastigadores como a *Leptocybe invasa* Fisher & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae). Os neonicotinoides agem como agonistas dos receptores nicotínicos da acetilcolina (nAChRs), no sistema nervoso central dos insetos (LI *et al.*, 2018). Esses inseticidas podem ser tóxicos para organismos não alvos como parasitoides e polinizadores (CLOYD; BETHKE, 2011; CHRISTEN *et al.*, 2018).

Efeitos tóxicos das moléculas de imidacloprido e tiametoxam para o *P. elaeisis* não são conhecidos na literatura. Este é o primeiro trabalho a estudar os efeitos desses inseticidas a esse parasitoide. Existem duas gerações de neonicotinoides que se distinguem entre si pelo fato dos de primeira geração possuírem um grupo cloropiridinil heterocíclico enquanto que os de segunda possuírem um clorotiazolidil heterocíclico. Essa mudança na estrutura aumentou consideravelmente a toxicidade inseticida (MATSUDA *et al.*, 2001).

O objetivo do trabalho foi determinar a toxicidade aguda provocada pelo imidacloprido, tiametoxam e deltametrina sobre fêmeas adultas de *P. elaeisis* por meio de ensaios toxicológicos de dose-resposta e efeitos sobre o parasitismo, emergência e razão sexual.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Insetos

Os indivíduos do parasitoide *P. elaeisis* e do hospedeiro *T. molitor*, foram obtidos das criações do Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). *Palmistichus elaeisis* foi mantido a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas em potes plásticos de 500 mL e alimentados com mel (PEREIRA *et al.*, 2008). Para a manutenção da progênie, a cada três dias, foram ofertadas pupas de *T. molitor* para as fêmeas de *P. elaeisis*. O hospedeiro alternativo, *T. molitor*, foi utilizado por possuir boa capacidade nutricional para promover o desenvolvimento de *P. elaeisis* e baixo custo de criação (ZANUNCIO *et al.*, 2008), sendo um bom modelo para estudos toxicológicos (MENEZES *et al.*, 2012). O *T. molitor* foi mantido a temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ em bandejas plásticas (29 x 23 x 11 cm), com farelo de trigo integral (97%), levedura de cerveja (3%) e fatias de chuchu como fonte de alimento e umidade (ANDRADE *et al.*, 2012).

2.2 Inseticidas

Os inseticidas utilizados foram, Evidence[®] 700 WG (imidacloprido - Bayer), Actara[®] 250 WG (tiametoxam - Syngenta) registrados no Brasil para o controle da vespa-da-galha e o Decis[®] 25 CE (deltametrina, 25 g/l CE – Bayer) para lagartas desfolhadoras no eucalipto.

2.3 Bioensaio I - Teste de toxicidade aguda

Fêmeas adultas de *P. elaeisis* com menos de 48h de idade foram separadas e alimentadas com mel, 24h antes da exposição às concentrações dos três inseticidas. As concentrações foram estabelecidas com base em testes preliminares usando uma série de diluições de 10, 100 e 1000 vezes e estabelecendo a faixa de concentração que ocasionou a mortalidade de 10% a 90% de *P. elaeisis*. As concentrações testadas foram 0,0000; 0,0010; 0,0025; 0,0050; 0,0100; 0,0150; 0,0250 e 0,0350 mg/mL para o imidacloprido, 0,0000, 0,0006; 0,0015; 0,0024; 0,0030; 0,0045; 0,0060; 0,0090; 0,0120; 0,0150 e 0,0180 mg/mL para o tiametoxam e de 0,0000; 0,03200; 0,0480 0,0640; 0,0960; 0,1280; 0,1600; 0,1920; 0,2240; 0,2560 e 0,2880 µL/mL para a deltametrina. O grupo controle foi tratado apenas com água destilada. Alíquotas de 100 µL de solução com as concentrações dos inseticidas foram pipetadas e espalhadas por todo interior de frascos de vidro tipo penicilina com volume de 13 mL (58 mm de altura e 27 mm de diâmetro). Após 24h, com a completa secagem do produto, vinte fêmeas de *P. elaeisis* foram introduzidas em cada vidro e permaneceram expostas ao tratamento por 48h. Após esse período, as fêmeas foram transferidas para potes plásticos de 175 mL e os parasitoides mortos e vivos foram contados, para se determinar a relação dose-resposta e estimar a CL₁₀ e CL₅₀. Indivíduos que permaneciam paralisados, quando manipulados, foram considerados mortos e os que se movimentavam como vivos (VELOSO *et al.*, 2013).

O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições, tendo a unidade amostral, um frasco de vidro com a concentração do respectivo tratamento e vinte fêmeas adultas do parasitoide. No total foram utilizadas 2.400 fêmeas de *P. elaeisis*.

2.4 Bioensaio II - Teste de toxicidade com CL₁₀ e CL₅₀

Fêmeas adultas de *P. elaeisis* com menos de 48h de idade foram separadas e alimentadas com mel, 24h antes da exposição ao imidacloprido, tiametoxam e deltametrina. Vinte fêmeas foram introduzidas em vidros tipo penicilina (metodologia bioensaio I) contaminados com alíquotas de 100 µL de solução da CL₁₀ e CL₅₀ dos três inseticidas por 24h com cinco repetições. Após esse período, seis fêmeas de *P. elaeisis* que sobreviveram a exposição foram transferidas para tubos de ensaio. Em cada tubo foi ofertado uma pupa sadia de *T. molitor* com menos de 24h de vida, com dez repetições (1 pupa / 6 fêmeas) por 48h. Após o parasitismo, as pupas foram transferidas para potes plásticos de 175 mL até a emergência dos adultos. O parasitismo foi determinado a partir da mudança de coloração das pupas, sendo aquelas com coloração amarronzada, consideradas parasitadas. O número de indivíduos emergidos foram contabilizados e a razão sexual calculada.

2.5 Análise estatística

As relações dose-resposta (CL_{10} e CL_{50}) foram estimadas pelo modelo logaritmo logístico (RITZ *et al.*, 2015). O parasitismo foi avaliado pelo Teste de Wilcoxon a 5% de significância. Dados de emergência e razão sexual foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo Teste F a 5% de significância.

3 RESULTADOS

3.1 Toxicidade aguda

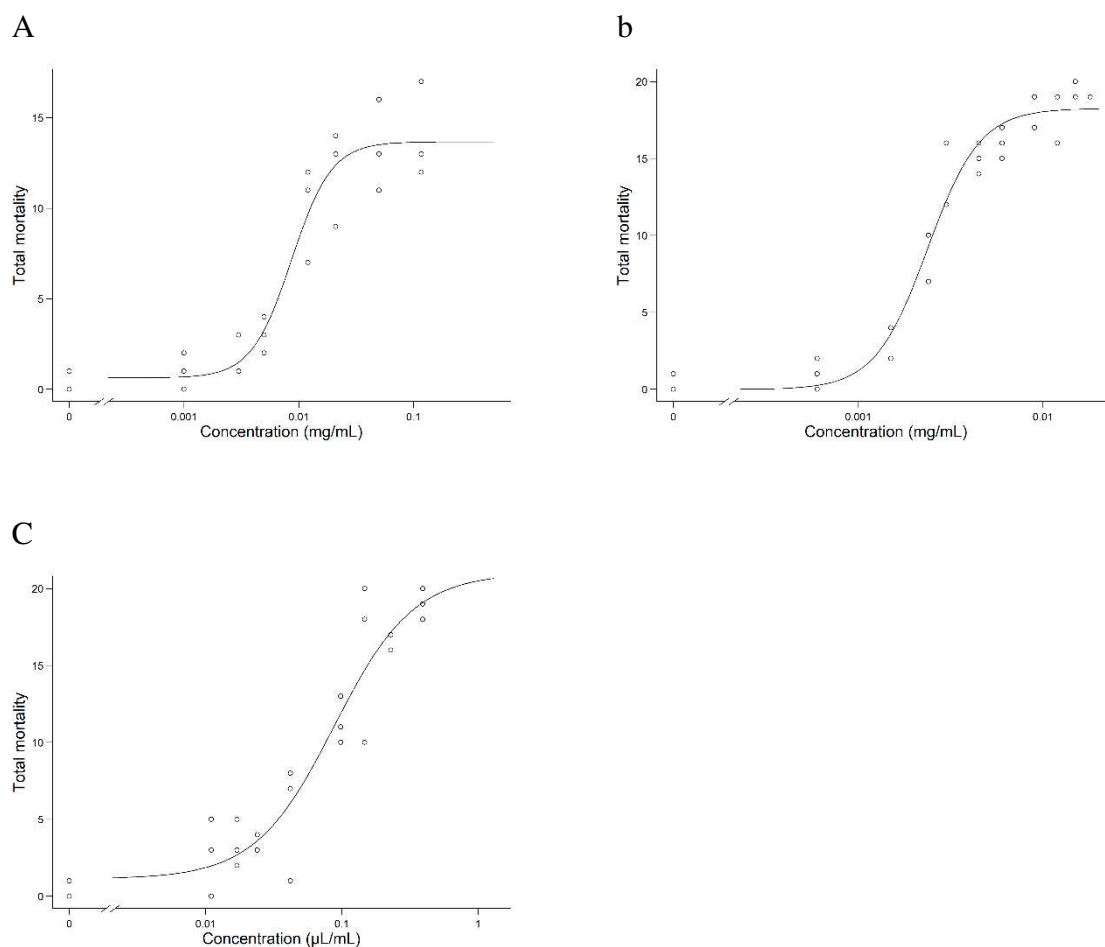
As concentrações letais (CL_{10} e CL_{50}) estimadas para matar 10 e 50% da população de *P. elaeisis* após 48h de exposição ao imidacloprido, tiametoxam e a deltametrina foram estimadas (**Tabela 1**). A relação concentração-mortalidade foi ajustada aos dados observados para todos os inseticidas testados, portanto, as condições experimentais forneceram estimativas confiáveis de CL_{50} . A mortalidade em todos os grupos controle foi inferior a 5%. A acentuada inclinação da curva indica a alta vulnerabilidade de *P. elaeisis* em relação às mudanças nos níveis de concentração para todos os inseticidas testados (**Figura 1** a, b e c).

Tabela 1: Concentrações letais (CL_{10} e CL_{50}) imidacloprido, tiametoxam e deltametrina estimadas para matar 50% da população de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) após 48h de exposição

Inseticidas	CL_{10}	CL_{50}
Imidacloprido	0.003580 mg/mL	0.008648 mg/mL
Tiametoxam	0.001155 mg/mL	0.002369 mg/mL
Deltametrina	0.020202 μ l/mL	0.087848 μ l/mL

Fonte: Elaborado pelos autores (a).

Figura 1 - Curva dose-resposta para determinação da toxicidade aguda do imidacloprido (a) tiametoxam (b) e deltametrina (c) em fêmeas de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) após 48h de exposição a diferentes concentrações.



Fonte: Elaborada pelos autores (a).

3.2 Bioensaio II - Teste de toxicidade CL₁₀ e CL₅₀

Palmistichus elaeisis apresentou altas taxas de parasitismo quando expostos a CL₁₀ e CL₅₀ dos três inseticidas testados, sem diferença estatística significativa. Para a emergência e razão sexual não houve diferença significativa em nenhum dos neonicotinoides testados. No tratamento com deltametrina não houve emergência de indivíduos adultos, em nenhuma das concentrações (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Média \pm (EP) do parasitismo, emergência e razão sexual de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae), expostos às CL₁₀ e CL₅₀ de imidacloprido, tiametoxam e deltametrina (mg/mL) por 24h.

Parâmetros reprodutivos	Controle	Imidacloprido		Tiametoxam		Deltametrina	
		CL ₁₀	CL ₅₀	CL ₁₀	CL ₅₀	CL ₁₀	CL ₅₀
Parasitismo (%)	100 ^{ns}	100 ^{ns}	100 ^{ns}	100 ^{ns}	90 ^{ns}	80 ^{ns}	60 ^{ns}
Emergência	110,30 \pm 20,45 ^{ns}	92,70 \pm 16,69 ^{ns}	100,70 \pm 18,25 ^{ns}	77,80 \pm 19,95 ^{ns}	54,10 \pm 18,30 ^{ns}	-	-
Razão sexual	0,92 \pm 0,03 ^{ns}	0,94 \pm 0,01 ^{ns}	0,90 \pm 0,02 ^{ns}	0,90 \pm 0,03 ^{ns}	0,88 \pm 0,03 ^{ns}	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Parasitismo ns – Wilcoxon 0,5%

Emergência ns – Anova teste F 0,5%

Razão sexual – idem anterior

4 DISCUSSÃO

Efeitos provocados pelo contato direto com inseticidas podem ser a mortalidade do organismo ou efeitos subletais a longo prazo (RICUPERO *et al.*, 2020). Inseticidas químicos que controlam insetos alvos também podem matar indiscriminadamente inimigos naturais, pois, suas características fisiológicas e metabólicas podem os tornar mais suscetíveis a substâncias tóxicas do que seus hospedeiros (BACCI *et al.*, 2007).

O imidacloprido foi tóxico para fêmeas adultas de *P. elaeisis*, a mortalidade foi proporcional ao aumento das concentrações. A CL₅₀ estimada foi muito menor que a dose recomendada pelo fabricante (5,5 mg/mL). Efeitos do imidacloprido em *P. elaeisis* são semelhantes ao relatado para outros parasitoides como *Trichogramma sp.* (CHENG *et al.*, 2018), *Encarsia inaron* (Walker) (Hymenoptera: Aphelinidae) (SOHRABI *et al.*, 2012), e *Eretmocerus mundus* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae) (SOHRABI *et al.*, 2013). Isso reforça a importância de estudos sobre a toxicidade desse inseticida a inimigos naturais. Além da mortalidade, outros efeitos ocorrem na capacidade de buscar e localizar hospedeiros, no sistema olfativo e comportamental em parasitoides (TAPPERT *et al.*, 2017; KANG *et al.*, 2018).

O tiametoxam foi tóxico para fêmeas adultas de *P. elaeisis* com aumento da concentração desse inseticida. A CL₅₀ foi muito menor do que a dose recomendada pelo fabricante (0,003 mg/mL). A susceptibilidade ao tiametoxam pode variar entre espécies de parasitoides (RICUPERO *et al.*, 2020) em adultos de *Aphidius gifuensis* (Ashmead)

(Hymenoptera: Braconidae) a mortalidade foi acima de 80% (OHTA; TAKEDA, 2015). O tamanho corporal pode influenciar na sensibilidade a inseticidas. Parasitoides, em geral, possuem menor tamanho corporal, quando comparadas à insetos predadores. Com maior tamanho do corpo, a área específica diminui e, conseqüentemente, há menos exposição aos inseticidas (PICANÇO *et al.*, 1997). *Palmistichus elaeisis* é um micro-himenóptero, as fêmeas apresentam média de tamanho corporal de $2,40 \pm 0,01$ mm (CAMILO *et al.*, 2016), com ocorrência registrada em vários cultivos, sendo muito susceptíveis a serem contaminadas com inseticidas.

A deltametrina foi tóxica a fêmeas adultas de *P. elaeisis*, com elevada taxa de mortalidade após a exposição a concentrações desse inseticida. A CL_{50} foi muito menor do que a dose recomendada pelo fabricante ($0,033$ mg i.a $/L^{-1}$). Parasitoides passam uma proporção significativa de sua vida adulta em busca de hospedeiros, estando susceptíveis à contaminação por inseticidas (CLOYD; BETHKE, 2011). A deltametrina foi letal para diferentes parasitoides, causando mortalidade acima de 90% em adultos de *Trichogramma* sp. (FONTES *et al.*, 2018; GARCIA; PEREIRA; OLIVEIRA, 2009; KSENTINI; JARDAK; ZEGHAL, 2010; SABER *et al.*, 2005) e *Copidosoma truncatellum* (Dalman) (Hymenoptera: Encyrtidae) (RAMOS *et al.*, 2018). No entanto, esse inseticida não influenciou a fase pré-pupa da *Trichogramma cordubensis* Vargas & Cabello (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (GARCIA *et al.*, 2006). É esperado que vespas adultas sejam mais sensíveis a inseticidas, pois, os estágios imaturos estão protegidos dentro do seu hospedeiro (PAZINI *et al.*, 2017).

A exposição a concentrações subletais de inseticidas e em períodos curtos podem ter efeitos negativos sutis sobre parâmetros biológicos como a capacidade em parasitar hospedeiros (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Durante o forrageamento, parasitoides podem ser expostos a inseticidas, a exposição aguda pode se tornar crônica após idas frequentes a locais contaminados (POQUET; VIDAU; ALAUX, 2016). É esperado que a deltametrina seja mais tóxica do que os neonicotinoides ao *P. elaeisis* devido a suas características não seletivas e ter um amplo espectro de ação (RAMOS *et al.*, 2018).

O imidacloprido e o tiametoxam não afetaram negativamente o parasitismo, a emergência e a razão sexual de *P. elaeisis* após a sua exposição as concentrações (CL_{10} e CL_{50}). Os neonicotinoides agem por contato e ingestão, mas altos níveis de toxicidade são observados quando esses inseticidas são ingeridos. Isso ocorre devido à moderada capacidade de penetração no tegumento dos artrópodes (TOMIZAWA; CASIDA, 2005). No entanto, alguns neonicotinoides são muito persistentes e como consequência pode ocorrer maior exposição a

insetos benéficos (GOULSON, 2013) e um efeito sinérgico dessa molécula com outros inseticidas, não pode ser descartado.

A deltametrina foi extremamente tóxica a *P. elaeisis* e não houve emergência de parasitoides em nenhuma das concentrações (CL₁₀ e CL₅₀), o que demonstra a elevada toxicidade dessa molécula. A emergência é crucial para manter uma alta população de parasitoides, efeitos adversos nesse parâmetro biológico podem comprometer a eficácia desse inimigo natural como agente de controle biológico. A emergência de *T. cordubensis* também foi reduzida após o contato com a deltametrina (VIEIRA; OLIVEIRA; GARCIA, 2001). *Palmistichus elaeisis* após parasitar pupas de *T. molitor* contaminadas com deltametrina apresentaram uma taxa de emergência de 5% (PEREIRA- COSTA *et al.*, 2020). O sucesso de um agente de biocontrole depende não apenas do número de inimigos naturais liberados, mas também de sua qualidade (STILING; CORNELISSEN, 2005). A preservação desses insetos benéficos no ambiente é um fator chave para o sucesso do controle biológico em um programa de manejo de pragas.

O sucesso reprodutivo pode estar relacionado a proporções inadequadas de parasitoides dentro do hospedeiro. Possivelmente como as fêmeas de *P. elaeisis* estavam contaminadas com resíduos de deltametrina, as toxinas injetadas, número e a qualidade dos ovos depositados não foram suficientes para reduzir a resposta imune do hospedeiro (ANDRADE *et al.*, 2012) e não possuíam qualidade adequada para desenvolvimento. O uso regular da deltametrina pode impedir o estabelecimento e a produtividade de *P. elaeisis* e, possivelmente, terá um impacto negativo sobre vários outros inimigos naturais.

A alta toxicidade aguda do piretroide em relação aos neonicotinoides pode estar associada ao modo de ação desses dois grupos de inseticidas. A deltametrina age basicamente por contato, devido à sua alta lipofilicidade e afinidade com a composição química da cutícula, induzindo despolarização rápida das células nervosas dos sistemas nervoso central e periférico (DONG *et al.*, 2014). A exposição de *P. elaeisis* a concentrações de inseticidas permite determinar a compatibilidade química e biológica. Indivíduos que sobrevivem a exposição de inseticidas podem ser afetados de maneira sutil ou severa, sendo manifestadas em alterações biológicas individuais, comportamentais e/ou em sua prole (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Não foi possível comparar a sensibilidade de *P. elaeisis* a outros trabalhos com neonicotinoides, pois ainda não há dados disponíveis na literatura testando a toxicidade desses inseticidas nesse parasitoide.

5 CONCLUSÕES

O imidacloprido, tiametoxam e a deltametrina foram tóxicos a *P. elaeisis* após o contato direto por 48h com concentrações desses inseticidas. A medida que aumentaram as doses houve aumento da mortalidade de fêmeas desse parasitoide. O parasitismo não foi afetado, negativamente, pelos inseticidas testados. A emergência e razão sexual do imidacloprido e tiametoxam foram semelhantes, sem efeitos negativos. No entanto, para a deltametrina, não houve emergência de parasitoides.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISON, P. J.; BARKER, G. M. Effect of various pesticides on the non-target species *Microctonus hyperodae*, a biological control agent of *Listronotus bonariensis*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 119, n. 1, p. 71–79, 2006.
- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- ANDRADE, G. S. *et al.* Oogenesis pattern and type of ovariole of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 767–774, 2012.
- BACCI, L. *et al.* Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. **Pest Management Science**, v. 63, n. 7, p. 699–706, 2007.
- BAKER, B. P.; GREEN, T. A.; LOKER, A. J. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. **Biological Control**, v. 140, p. 104095, 2020.
- BARBOSA, R. H. *et al.* Foraging activity of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) at various densities on pupae of the *Eucalyptus* defoliator *Thyrintea arnobia* (Lepidoptera: Geometridae). **Florida Entomologist**, v. 99, n. 4, p. 686–690, 2016.
- BITTENCOURT, M. A. L.; BERTI FILHO, E. Desenvolvimento dos estágios imaturos de *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera, Eulophidae) em pupas de Lepidoptera. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 1, p. 65–68, 2004.
- CAMILO, S. S. *et al.* Do floral resources in *Eucalyptus* plantations affect fitness parameters of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae)? **Phytoparasitica**, v. 44, n. 5, p. 651–659, 2016.
- CHENG, S. *et al.* Comparative susceptibility of thirteen selected pesticides to three different insect egg parasitoid *Trichogramma* species. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 166, p. 86–91, 2018.
- CHRISTEN, V. *et al.* Global transcriptomic effects of environmentally relevant concentrations of the neonicotinoids clothianidin, imidacloprid, and thiamethoxam in the brain of honey bees (*Apis mellifera*). **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 13, p. 7534–7544, 2018.
- CLOYD, R. A.; BETHKE, J. A. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interiorscape environments. **Pest Management Science**, v. 67, n. 1, p. 3–9, 2011.
- DELVARE, G.; LASALLE, J. A new genus of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) from the Neotropical Region, with the description of a new species parasitic on key pests of oil palm. **Journal of Natural History**, v. 27, n. 2, p. 435–444, 1993.
- DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J.-M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual review of entomology**, v. 52, p. 81–106, 2007.

DONG, K. *et al.* Molecular biology of insect sodium channels and pyrethroid resistance. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 50, p. 1–17, 2014.

FONTES, J. *et al.* Lethal and sublethal effects of various pesticides on *Trichogramma achaeae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 3, p. 1219–1226, 2018.

GARCIA, P. *et al.* Effects of deltamethrin on the reproduction of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 16, n. 7, p. 699–708, 2006.

GARCIA, P. V.; PEREIRA, N.; OLIVEIRA, L. M. Side-effects of organic and synthetic pesticides on cold-stored diapausing prepupae of *Trichogramma cordubensis*. **BioControl**, v. 54, n. 3, p. 451–458, 2009.

GOULSON, D. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 4, p. 977–987, 2013.

KANG, Z.-W. *et al.* Effect of sublethal doses of imidacloprid on the biological performance of aphid endoparasitoid *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Aphidiidae) and influence on its related gene expression. **Frontiers in physiology**, v. 9, p. 1729, 2018.

KSENTINI, I.; JARDAK, TAIEB; ZEGHAL, N. *Bacillus thuringiensis*, deltamethrin and spinosad side-effects on three *Trichogramma* species. **Bulletin of Insectology**, v. 63, 2010.

LI, Y.-F. *et al.* Systemic control efficacy of neonicotinoids seeds dressing on English grain aphid (Hemiptera: Aphididae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 1, p. 430–435, 2018.

MATSUDA, K. *et al.* Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. **Trends in Pharmacological Sciences**, v. 22, n. 11, p. 573–580, 2001.

MENEZES, C. W. G. DE *et al.* Reproductive and toxicological impacts of herbicides used in Eucalyptus culture in Brazil on the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Weed Research**, v. 52, n. 6, p. 520–525, 2012.

OHTA, I.; TAKEDA, M. Acute toxicities of 42 pesticides used for green peppers to an aphid parasitoid, *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae), in adult and mummy stages. **Applied Entomology and Zoology**, v. 50, n. 2, p. 207–212, 2015.

PAZINI, J. DE B. *et al.* Side-effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae). **Ecotoxicology**, v. 26, n. 6, p. 782–791, 2017.

PEREIRA-COSTA, E. S. *et al.* Selectivity of deltamethrin doses on *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 12395, 2020.

PEREIRA, F. F. *et al.* Species of Lepidoptera defoliators of eucalyptus as new host for the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 2, p. 259–262, 2008.

PICANÇO, M. *et al.* Seletividade de inseticidas a *Podisus nigrispinus* predador de *Ascia monuste orseis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 369–372, 1997.

POQUET, Y.; VIDAU, C.; ALAUX, C. Modulation of pesticide response in honeybees. **Apidologie**, v. 47, n. 3, p. 412–426, 2016.

PRABHAKER, N. *et al.* Toxicity of seven foliar insecticides to four insect parasitoids attacking Citrus and Cotton pests. **Journal of Economic Entomology**, v. 100, n. 4, p. 1053–1061, 2007.

RAMOS, R. S. *et al.* Investigation of the lethal and behavioral effects of commercial insecticides on the parasitoid wasp *Copidosoma truncatellum*. **Chemosphere**, v. 191, p. 770–778, 2018.

RICUPERO, M. *et al.* Target and non-target impact of systemic insecticides on a polyphagous aphid pest and its parasitoid. **Chemosphere**, v. 247, p. 125728, 2020.

RITZ, C. *et al.* Dose-response analysis using R. **PloS one**, v. 10, n. 12, p. e0146021, 2015.

SABER, M. *et al.* Lethal and sublethal effects of fenitrothion and deltamethrin residues on the egg parasitoid *Trissolcus grandis* (Hymenoptera: Scelionidae). **Journal of economic entomology**, v. 98, n. 1, p. 35–40, 2005.

SOARES, M. *et al.* Superparasitismo de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) y comportamiento de defensa de dos hospederos. **Revista colombiana de entomología**, v. 35, p. 62–65, 2009.

SOHRABI, F. *et al.* Lethal and sublethal effects of buprofezin and imidacloprid on the whitefly parasitoid *Encarsia inaron* (Hymenoptera: Aphelinidae). **Crop Protection**, v. 32, p. 83–89, 2012.

SOHRABI, F. *et al.* Lethal and sublethal effects of imidacloprid and buprofezin on the sweetpotato whitefly parasitoid *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae). **Crop Protection**, v. 45, p. 98–103, 2013.

STILING, P.; CORNELISSEN, T. What makes a successful biocontrol agent? A meta-analysis of biological control agent performance. **Biological Control**, v. 34, n. 3, p. 236–246, 2005.

TAPPERT, L. *et al.* Sublethal doses of imidacloprid disrupt sexual communication and host finding in a parasitoid wasp. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 42756, 2017.

TOMIZAWA, M.; CASIDA, J. E. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 45, p. 247–268, 2005.

VELOSO, R. *et al.* Does cypermethrin affect enzyme activity, respiration rate and walking behavior of the maize weevil (*Sitophilus zeamais*)? **Insect Science**, v. 20, n. 3, p. 358–366, 2013.

VIEIRA, A.; OLIVEIRA, L.; GARCIA, P. Effects of conventional pesticides on the preimaginal developmental stages and on adults of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 11, n. 4, p. 527–534, 2001.

YOUSSEF, A. I. *et al.* The side-effects of plant protection products used in olive cultivation on the hymenopterous egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* Marchal. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 9–10, p. 593–599, 2004.

ZANUNCIO, J. C. *et al.* *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae), a new alternative host to rear the pupae parasitoid *Palmistichus elaeisis* Delvare & Lasalle (Hymenoptera: Eulophidae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 62, p. 64–66, 2008.

CAPÍTULO II

**INSETICIDAS SINTÉTICOS PODEM AFETAR ATÉ TRÊS GERAÇÕES DE
Palmistichus elaeisis (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)?**

RESUMO

Elizangela Souza Pereira Costa. **INSETICIDAS SINTÉTICOS PODEM AFETAR ATÉ TRÊS GERAÇÕES DE *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)?** 2020. 59p. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

Palmistichus elaeisis é um endoparasitoide de pupas que possui ocorrência natural em espécies de lepidópteros desfolhadores. Efeitos do imidacloprido, tiametoxam e da deltametrina foram avaliados sobre parâmetros biológicos de *P. elaeisis* em três gerações. Fêmeas de *P. elaeisis* (seis) foram colocadas em tubos de ensaio contendo uma pupa de *T. molitor* contaminada com diferentes concentrações desses inseticidas por 48h. Após esse período, as pupas foram transferidas para potes plásticos até a emergência dos adultos. O parasitismo, emergência, razão sexual, duração do ciclo biológico e a sobrevivência foram avaliados por três gerações. Exceto pelo parasitismo, todos os demais parâmetros biológicos foram afetados. A emergência foi reduzida após a exposição aos três inseticidas, para o imidacloprido foi observado efeitos significativos por três gerações. A razão sexual e a duração do ciclo biológico foram alteradas, entre as gerações, para todos os inseticidas. O risco de morte foi alto em quase todas as gerações de *P. elaeisis*, após a exposição ao imidacloprido, tiametoxam e deltametrina. Os inseticidas foram tóxicos a *P. elaeisis* e os efeitos foram observados por três gerações, exceto para a sobrevivência do parasitoide quando exposta a deltametrina.

Palavras-chave: neonicotinoides, parasitoides, piretroides e toxicidade.

ABSTRACT

Elizangela Souza Pereira Costa. **INSECTICIDES SYNTHETIC CAN AFFECT UP TO THREE GENERATIONS OF *Palmistichus elaeisis* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)?** 2020. 59p. (Thesis – (Doctor in Vegetable Production) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valley, 2020.

Palmistichus elaeisis is a pupae endoparasitoid that is naturally occurring in defoliating lepidopteran species. Effects of imidacloprid, thiamethoxam and deltamethrin were analyzed on biological parameters of *P. elaeisis* in three generations. *P. elaeisis* females (six) were placed in test tubes containing a *T. molitor* pupa contaminated with different insecticide machines for 48 hours. After this period, pupae were transferred to plastic pots until the adults emerged. Parasitism, emergence, sex ratio, duration of the biological cycle and survival were obtained for three generations. Except for parasitism, all other biological parameters were affected. The emergence was reduced after exposure to the three insecticides, for the imidacloprid was observed obtained for three generations. The sex ratio and the duration of the biological cycle have been changed, between generations, for all insecticides. The risk of death was high in almost all generations of *P. elaeisis*, after exposure to imidacloprid, thiamethoxam and deltamethrin. The insecticides were toxic to *P. elaeisis* and the effects have been observed for three generations, except for a deltamethrin.

Keywords: neonicotinoids, parasitoids, pyrethroids and toxicity

1 INTRODUÇÃO

Palmistichus elaeisis é um endoparasitoide generalista e gregário de pupas de Lepidoptera e Coleoptera (PEREIRA *et al.*, 2017; ZANUNCIO *et al.*, 2008) nativo da região neotropical (DELVARE; LASALLE, 1993). Este parasitoide tem ocorrência nas famílias Arctiidae (DELVARE; LASALLE, 1993), Riodinidae, Noctuidae (ANDRADE *et al.*, 2012), Crambidae (BITTENCOURT; BERTI FILHO, 2004), Lymantriidae, Bombycidae (PEREIRA *et al.*, 2009), Geometridae (PEREIRA *et al.*, 2008) e Tenebrionidae (ZANUNCIO *et al.*, 2008). *Palmistichus elaeisis* apresenta elevada capacidade reprodutiva (descendentes/pupa), e o número da progênie varia com o tamanho da espécie hospedeira (ZACHÉ; ZACHÉ; WILCKEN, 2012). Esse parasitoide apresenta elevada razão sexual, ciclo de vida curto (± 22 dias) e altas taxas de parasitismo, geralmente superior a 90% (PEREIRA *et al.*, 2009; PASTORI *et al.*, 2012). Sendo promissor para uso no controle biológico no setor florestal e agrícola (PASTORI *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2008b; ZACHÉ; ZACHÉ; WILCKEN, 2012).

O uso de inseticidas é uma técnica relativamente barata e eficaz de controlar insetos pragas, mas apresenta problemas ecológicos ao afetar organismos não alvos (PISA *et al.*, 2014). A associação do controle químico e biológico de pragas tem sido utilizada como um meio de reduzir a aplicação de inseticidas (COLLIER; VAN STEENWYK, 2004). Muitos inseticidas são neurotoxinas que além do efeito letal, ocasionam efeitos subletais, com implicações no sistema sensorial dos insetos. Essas toxinas podem impedir a capacidade de obter informações do ambiente e comprometer o *fitness*, reduzindo a longevidade, fecundidade, capacidade de buscar/parasitar hospedeiros e localizar parceiros sexuais (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007).

A seleção de um inseticida deve se basear tanto em sua eficácia contra uma praga alvo quanto na segurança para inimigos naturais. Por isso, inseticidas seletivos a esses organismos devem ser priorizados. A seletividade de um inseticida pode estar associada à baixa taxa de penetração no corpo do inimigo natural (BUENO *et al.*, 2017), às alterações no sítio de ação e à alta taxa de metabolização do inseticida (RIX; AYYANATH; CHRISTOPHER CUTLER, 2016). A contaminação de parasitoides adultos pode ocorrer pelo contato direto com gotículas de inseticidas durante a pulverização ou indiretamente pelos resíduos tóxicos nas plantas, hospedeiro e pólen/néctar floral contaminados (LONGLEY; JEPSON, 1996; KRISCHIK; LANDMARK; HEIMPEL, 2007).

O imidacloprido e tiametoxam são amplamente utilizadas em todo o mundo, tem como alvo os receptores nicotínicos de acetilcolina nas membranas pós-sinápticas das junções de células nervosas. O sucesso econômico dos neonicotinoides se deve à sua alta efetividade e toxicidade relativamente baixa para mamíferos (MATSUDA *et al.*, 2001). A deltametrina é um piretroide muito utilizado para o controle de insetos pragas na agricultura e silvicultura, é uma molécula neurotóxica de amplo espectro de ação, e atua mantendo aberto os canais de sódio da membrana dos neurônios dos insetos (DONG *et al.*, 2014).

Em estudos ecotoxicológicos uma determinada dose/concentração de um inseticida pode não induzir um efeito severo no organismo, mas uma gama de respostas que podem variar em intensidade dependendo de outros fatores (POQUET; VIDAU; ALAUX, 2016) como ambientais e fisiológicos (ANTIGO *et al.*, 2013). A resposta ao inseticida pode não ser surpreendente, mas pode gerar comprometimento do *fitness*. O efeito no organismo depende da interação entre o composto tóxico e o alvo (POQUET; VIDAU; ALAUX, 2016). Efeitos subletais causados por inseticidas devem ser investigados, pois os inseticidas também podem causar efeitos transgeracionais e afetar estágios de desenvolvimento de inimigos naturais que nunca foram diretamente expostos. O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos de concentrações subletais de imidacloprido, tiametoxam e deltametrina em parâmetros biológicos de três gerações de *P. elaeisis*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Insetos

A colônia do parasitoide *P. elaeisis* e do hospedeiro *T. molitor*, foram estabelecidas no LCBI da UFVJM. *Palmistichus elaeisis* foi mantido a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas em potes plásticos de 500 mL e alimentados com mel. Para a manutenção da progênie a cada três dias foram ofertadas pupas de *T. molitor* para as fêmeas de *P. elaeisis*. O hospedeiro alternativo, *T. molitor*, foi utilizado por possuir boa capacidade nutricional para promover o desenvolvimento de *P. elaeisis* e baixo custo de criação (ZANUNCIO *et al.*, 2008), sendo um bom modelo para estudos toxicológicos (MENEZES *et al.*, 2012). O *T. molitor* foi mantido a temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ em bandejas plásticas (29 x 23 x 11 cm) com farelo de trigo integral (97%), levedura de cerveja (3%) e fatias de chuchu como fonte de alimento e umidade (ANDRADE *et al.*, 2012).

2.2 Inseticidas

Os inseticidas utilizados foram, Evidence® 700 WG (imidacloprido - Bayer), Actara® 250 WG (tiametoxam - Syngenta) são registrados no Brasil para o controle da vespa-da-galha e Decis® 25 CE (deltametrina, 25 g/l CE – Bayer) para lagartas desfolhadoras no eucalipto.

2.3 Teste de toxicidade

As concentrações foram estabelecidas com base em um teste preliminar, o intuito do teste era que não provocasse morte, tanto do hospedeiro quanto da fêmea de *P. elaeisis*, de maneira que as respostas pudessem ser observadas.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos constituídos pelo controle (água destilada) e concentrações com 0,0000; 0,0350; 0,1400; 0,2100; 0,2800 e 5,2500 mg /mL de imidacloprido, com 0,0000; 0,0150; 0,0225; 0,0325; 0,0425; 0,0500; 0,0650; 0,0800 e 0,7500 mg /mL de tiametoxam e 0,0000; 0,1000; 0,1200; 0,1400; 0,1700; 0,2200 e 0,2400 µL /mL de deltametrina com 10 repetições.

Cada parcela foi composta por uma pupa do *T. molitor*, com idade inferior à 24h e peso médio de 0,104 g, exposta à água no controle ou às concentrações dos inseticidas pelo método de imersão (número 007 do *Insecticide Resistance Action Committee* - IRAC) por dois segundos (IRAC, 2010). Fêmeas deste parasitoide foram sexadas pelas características morfológicas de abdômen (DELVARE; LASALLE, 1993) com 48h de vida e individualizadas em tubos de ensaio (14 x 2,2 cm) tampados com algodão e uma gota de mel para alimentação. Foram utilizadas seis fêmeas para cada repetição e cada pupa foi exposta ao parasitismo por *P. elaeisis* durante 48h (MENEZES *et al.*, 2014). A sobrevivência das seis fêmeas de *P. elaeisis* foi avaliada diariamente, após as 48h de parasitismo, durante 30 dias. Em seguida, as pupas foram transferidas para potes plásticos de 175 mL até a emergência dos adultos.

Após completar o ciclo biológico, seis fêmeas recém-emergidas (geração F1) foram colocadas em um tubo de ensaio com uma gota de mel e uma pupa de *T. molitor* sadia com menos de 24h de idade por 48h para ocorrer o parasitismo. Após este período, as pupas foram transferidas para potes plásticos de 175 mL, até a emergência da geração F2, na qual foi realizado o mesmo procedimento da F1, até obter-se os indivíduos da F3. As fêmeas de *P. elaeisis*, permaneceram em todas as gerações nos tubos de ensaio para as avaliações.

O parasitismo foi determinado a partir da mudança de coloração das pupas, sendo aquelas com coloração amarronzada, consideradas parasitadas. A sobrevivência foi obtida, diariamente, pela mortalidade das fêmeas. Emergência e razão sexual foram obtidas pela contagem do número de fêmeas e machos emergido por pupa de *T. molitor*. O ciclo biológico (ovo-adulto) foi obtido pelo intervalo entre a data de parasitismo e emergência da nova geração do parasitoide.

2.4 Análise estatística

O parasitismo, emergência, razão sexual e ciclo biológico foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. A probabilidade de sobrevivência das fêmeas de *P. elaeisis* foi analisada pelo modelo de regressão univariada de Cox, pelo teste de Wald. As análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2020; THERNEAU; GRAMBSCH, 2000; RITZ *et al.*, 2015).

3 RESULTADOS

O parasitismo por fêmeas de *P. elaeisis* foi semelhante ao controle nas concentrações testadas de imidacloprido em todas as gerações. A taxa de parasitismo foi de 70 a 100% na geração parental e F2, 90 a 100% na F3 e de 40 a 90% na F1 (**Tabela 1**).

Tabela 1 - Porcentagem de parasitismo, emergência, razão sexual (RS) e Ciclo Biológico (CB) (Média \pm EP) de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) da geração F1, F2 e F3. Apenas a geração parental foi submetida às diferentes concentrações de imidacloprido (mg/mL).

Parâmetros reprodutivos	Imidacloprido					
	0,0000	0,0350	0,1400	0,2100	0,2800	5,2500
Geração Parental						
Parasitismo (%)	100	100	90	70	80	70
Geração F1						
Emergência	77,40 \pm 11,53a	58,60 \pm 15,04a	29,50 \pm 11,76ab	31,40 \pm 13,36ab	32,10 \pm 13,28ab	0,20 \pm 0,20b
RS ¹	0,87 \pm 0,02	0,82 \pm 0,06	0,88 \pm 0,03	0,92 \pm 0,03	0,86 \pm 0,05	1
CB ²	22,55 \pm 0,63	22,29 \pm 0,36	23,33 \pm 0,33	22,25 \pm 0,63	25,00 \pm 1,21	33
Parasitismo (%)	90	90	70	50	40	-
Geração F2						
Emergência	131,00 \pm 16,85a	92,80 \pm 12,89ab	51,30 \pm 19,36b	24,00 \pm 16,17c	14,90 \pm 6,44c	
RS ¹	0,74 \pm 0,05	0,82 \pm 0,05	0,83 \pm 0,07	0,91 \pm 0,07	0,88 \pm 0,03	
CB ²	20,56 \pm 0,24b	21,22 \pm 0,43b	21,00 \pm 0,77b	21,67 \pm 0,33b	25,00 \pm 1,22a	
Parasitismo (%)	100	100	80	70	70	-
Geração F3						
Emergência	82,80 \pm 5,21ab	115,40 \pm 9,55a	77,00 \pm 16,94ab	41,20 \pm 11,82b	53,10 \pm 12,99b	
RS ¹	0,91 \pm 0,02a	0,86 \pm 0,02ab	0,77 \pm 0,05b	0,90 \pm 0,02ab	0,89 \pm 0,03ab	
CB ²	22,80 \pm 0,44	20,70 \pm 0,26	19,67 \pm 2,48	22,71 \pm 0,64	22,86 \pm 0,76	
Parasitismo (%)	100	90	90	90	90	-

Fonte: Elaborada pelos autores (a)

¹ Médias não significativas pelo Teste de Tukey (p < 0,05)

² Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem pelo Teste de Tukey (p < 0,05).

A emergência de *P. elaeisis* em pupas de *T. molitor* contaminadas com 5,2500 mg i.a /mL de imidacloprido na geração F1 ($F = 5.0054$; $P < 0.5$) foi reduzida drasticamente. Na geração F2 ($F = 10.510$; $P < 0.0001$) a emergência foi reduzida proporcionalmente ao aumento das concentrações de imidacloprido, com 0,1400; 0,2100; 0,2800 mg /mL). Na F3 ($F = 5.803$; $P < 0.01$) a emergência foi reduzida com concentrações de 0,2100 e 0,2800 mg /mL e não houve emergidos com 5,2500 mg /ml (**Tabela 1**).

A razão sexual de *P. elaeisis*, foi maior que 0,74 em todas as gerações e semelhante entre os tratamentos nas gerações F1 e F2 (**Tabela 1**). Na F3, a razão sexual foi menor com 0,1400 mg i.a /ml. A duração do ciclo biológico de *P. elaeisis*, foi semelhante entre os tratamentos nas gerações F1 e F3 e maior que o controle com 0,2800 mg /mL na geração F2 (**Tabela 1**).

Em praticamente todas as concentrações de imidacloprido entre a geração parental e a F2, o inseticida aumentou o risco de morte das fêmeas de *P. elaeisis*, mas não na F3. O maior risco para a geração parental foi com 0,2100 e 5,2500 mg /mL, para a F1 com 0,0350 e 0,1400 mg /mL e F2 com 0,0350 e 0,2800 mg /mL (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Análise de regressão univariada de Cox, com razão de risco e intervalo de confiança de 95% para fêmeas adultas de *Palmistichus elaeisis*, expostas a concentrações de imidacloprido (mg /mL).

Evidencia (imidacloprido)	N	Nº de eventos	RR	I.C. 95%	Teste de Wald	G.L.	p-valor
Geração Parental	360	350			75,95	5	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0350	60		1,5	1,01-2,1			<0,05*
0,1400	60		1,3	0,87-1,8			0,23 ^{ns}
0,2100	60		3,5	2,38-5,1			<0,001***
0,2800	60		1,8	1,26-2,6			<0,01**
5,2500	60		3,6	2,48-5,2			<0,001***
Geração F1	360	360			45,45	5	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0350	60		3,2	2,2-4,7			<0,001***
0,1400	60		3,0	2,0-4,4			<0,001***
0,2100	60		1,6	1,1-2,4			<0,01**
0,2800	60		1,9	1,3-2,7			<0,001***
5,2500	60		1,9	1,3-2,7			<0,001***
Geração F2	300	264			7,13	4	<0,05*
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0350	60		1,5	1,02-2,2			<0,05*
0,1400	60		1,4	0,95-2,0			0,086 ^{ns}
0,2100	60		1,2	0,79-1,7			0,438 ^{ns}
0,2800	60		1,5	1,06-2,3			<0,05*
Geração F3	300	246			12,98	4	<0,01**
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0350	60		0,75	0,51-1,10			0,144 ^{ns}
0,1400	60		0,53	0,35-0,80			<0,01**
0,2100	60		0,91	0,63-1,32			0,613 ^{ns}
0,2800	60		0,62	0,41-0,92			<0,05*

Fonte: Elaborado pelos autores (a)

RR: Razão de Risco; IC: Intervalo de Confiança
Teste Wald

O parasitismo por fêmeas de *P. elaeisis* foi semelhante ao controle nas concentrações de tiametoxam em todas as gerações. A taxa de parasitismo foi de 60 a 100% na geração parental, 90 a 100% na F1 e F2 e de 70 a 90% na geração F3 (Tabela 2).

O número de indivíduos emergidos de *P. elaeisis* por pupa de *T. molitor* na geração F1 foi drasticamente reduzido com 0,7500 mg /mL e os demais tratamentos semelhantes ao controle. Na F3 ($F=3.7470$; $P<0.05$), o n ° de emergidos foi maior que o controle com 0,0225 mg /mL (**Tabela 3**).

Tabela 3 - Porcentagem de parasitismo, emergência, razão sexual (RS) e Ciclo Biológico (CB) (Média \pm EP) de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) da geração F1, F2 e F3. Apenas a geração parental foi submetida às diferentes concentrações de tiametoxam (mg/mL).

Parâmetros reprodutivos	Tiametoxam								
	0,0000	0,0150	0,0225	0,0325	0,0425	0,0500	0,0650	0,0800	0,7500
	Geração Parental								
Parasitismo (%)	100	70	70	100	70	80	80	90	60
	Geração F1								
Emergência	77,4 \pm 11,53a	36,80 \pm 16,95a	47,00 \pm 12,00a	63,80 \pm 11,95a	57,10 \pm 14,29a	65,40 \pm 17,29a	43,60 \pm 14,45a	75,30 \pm 11,62a	0,30 \pm 0,3b
RS ¹	0,87 \pm 0,01	0,85 \pm 0,02	0,88 \pm 0,01	0,87 \pm 0,02	0,90 \pm 0,01	0,86 \pm 0,00	0,90 \pm 0,03	0,88 \pm 0,02	1
CB ²	22,55 \pm 0,62	23,75 \pm 0,75	24,14 \pm 0,79	24,80 \pm 0,67	25,14 \pm 1,05	23,42 \pm 0,42	24,28 \pm 0,28	23,88 \pm 0,42	28
Parasitismo (%)	90	100	90	90	100	90	90	90	-
	Geração F2								
Emergência	131,00 \pm 16,84	124,50 \pm 13,11	92,00 \pm 16,24	113,60 \pm 16,04	130,60 \pm 11,40	85,00 \pm 17,43	92,10 \pm 20,25	69,50 \pm 13,20	-
RS ¹	0,74 \pm 0,04	0,72 \pm 0,06	0,82 \pm 0,04	0,60 \pm 0,06	0,75 \pm 0,07	0,80 \pm 0,06	0,77 \pm 0,04	0,85 \pm 0,02	-
CB ²	20,55 \pm 0,24b	21,70 \pm 0,39ab	21,77 \pm 1,17ab	20,55 \pm 0,29b	21,70 \pm 0,21ab	22,33 \pm 0,79ab	23,77 \pm 1,11a	22,77 \pm 0,54 ab	-
Parasitismo (%)	100	90	100	100	100	90	90	100	-
	Geração F3								
Emergência	82,80 \pm 5,21b	79,50 \pm 15,81b	142,50 \pm 17,04ab	149,00 \pm 11,36a	81,00 \pm 16,71b	97,33 \pm 14,40ab	105,33 \pm 10,94ab	85,90 \pm 19,40ab	-
RS ¹	0,91 \pm 0,02	0,90 \pm 0,02	0,84 \pm 0,02	0,85 \pm 0,03	0,87 \pm 0,02	0,83 \pm 0,04	0,91 \pm 0,02	0,94 \pm 0,01	-
CB ²	22,80 \pm 0,44a	22,44 \pm 0,33ab	20,20 \pm 0,13c	20,60 \pm 0,22b	22,77 \pm 0,87ab	21,88 \pm 0,80ab	21,66 \pm 0,44ab	22,20 \pm 0,44ab	-
Parasitismo (%)	100	100	100	90	90	100	100	70	-

Fonte: Elaborado pelos autores (a)

¹ Médias não significativas pelo Teste de Tukey (p < 0,05)

² Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem pelo Teste de Tukey (p < 0,05)

A razão sexual de *P. elaeisis*, foi semelhante entre os tratamentos nas três gerações (**Tabela 3**). A duração do ciclo biológico de *P. elaeisis*, foi diferente entre os tratamentos nas gerações F2 ($F= 2.4396$; $P<0.05$) e F3 ($F=3.7584$; $P<0.05$). O ciclo foi maior na F2 com 0,0225; 0,0325 mg /mL de tiametoxam e menor na F3 com 0,0325 e 0,0425 mg /mL (**Tabela 3**).

Em praticamente todas as concentrações de tiametoxam o inseticida aumentou o risco de morte das fêmeas de *P. elaeisis*, exceto na geração F1 (**Tabela 4**). Na geração parental, as fêmeas que ficaram em contato com o inseticida com 0,7500 mg /mL apresentaram elevado risco de morte de 7,3 I.C (4,97-10,8) ($<0,001$). Na F1, a razão de risco foi inferior ao controle em todas as concentrações. No entanto, para as gerações F2 e F3, em todas as concentrações de tiametoxam aumentaram o risco de morte para *P. elaeisis* com valores acima de 2,0 (**Tabela 4**).

Tabela 4 - Análise de regressão univariada de Cox, com razão de risco e intervalo de confiança de 95% para fêmeas adultas de *Palmistichus elaeisis*, expostas a concentrações de tiametoxam (mg/mL).

Actara (tiametoxam)	N	Nº de eventos	RR	I.C. 95%	Teste de Wald	G.L.	p-valor
Geração Parental	540	527			143,7	8	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0150	60		2,6	1,79-3,8			<0,001***
0,0225	60		3,5	2,38-5,0			<0,001***
0,0325	60		1,9	1,31-2,7			<0,001***
0,0425	60		2,0	1,39-2,9			<0,001***
0,0500	60		2,7	1,87-3,9			<0,001***
0,0650	60		1,4	0,95-2,0			0,097 ^{ns}
0,0800	60		1,4	0,95-2,0			0,089 ^{ns}
0,7500	60		7,3	4,97-10,8			<0,001***
Geração F1	480	437			63,68	7	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0150	60		0,49	0,34-0,72			<0,001***
0,0225	60		0,81	0,56-1,16			0,246 ^{ns}
0,0325	60		0,86	0,60-1,24			0,429 ^{ns}
0,0425	60		0,68	0,47-0,98			<0,05*
0,0500	60		0,51	0,35-0,74			<0,001***
0,0650	60		0,29	0,19-0,42			<0,001***
0,0800	60		0,38	0,26-0,55			<0,001***
Geração F2	480	471			99,92	7	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,0150	60		2,6	1,8-3,8			<0,001***
0,0225	60		3,6	2,5-5,3			<0,001***
0,0325	60		6,8	4,6-10,0			<0,001***
0,0425	60		2,9	2,0-4,3			<0,001***
0,0500	60		3,6	2,4-5,2			<0,001***
0,0650	60		2,4	1,7-3,6			<0,001***
0,0800	60		2,9	2,0-4,2			<0,001***
Geração F3	480	478			68,67	7	<0,001***
Controle	60			(Referência)			
0,0150	60		2,3	1,5-3,3			<0,001***
0,0225	60		4,5	3,0-6,8			<0,001***
0,0325	60		3,9	2,6-5,8			<0,001***
0,0425	60		2,8	1,9-4,1			<0,001***
0,0500	60		3,2	2,2-4,7			<0,001***
0,0650	60		3,5	2,4-5,3			<0,001***
0,0800	60		3,4	2,3-5,0			<0,001***

Fonte: Elaborado pelos autores (a)

RR: Razão de Risco; I.C: Intervalo de Confiança

Teste Wald

O parasitismo por fêmeas de *P. elaeisis* foi semelhante ao controle nas concentrações testadas de deltametrina em todas as gerações. A taxa de parasitismo foi de 60 a 100% na geração parental e F3 e 80 a 100% na F1 e F2 (**Tabela 5**).

O número de indivíduos emergidos de *P. elaeisis* por pupa de *T. molitor* na geração F1 ($F= 7.8243$; $P< 0.0001$) foi menor que o controle nas concentrações 0,0500 e 0,0600 mg i.a /mL. Na F3 ($F= 3.6047$; $P< 0.01$), a emergência com 0,0300 e 0,0600 mg i.a /mL foi reduzida (**Tabela 5**).

Tabela 5 - Porcentagem de parasitismo, emergência, razão sexual (RS) e Ciclo Biológico (CB) (Média \pm EP) de *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) da geração F1, F2 e F3. Apenas a geração parental foi submetida às diferentes concentrações de deltametrina ($\mu\text{L}/\text{mL}$).

Parâmetros reprodutivos	Deltametrina						
	0,0000	0,1000	0,1200	0,1400	0,1700	0,2200	0,2400
Geração Parental							
Paras. (%)	100	60	80	90	90	80	80
Geração F1							
Emergência	146,00a	37,70b	55,80b	77,90ab	96,80ab	27,50c	20,50c
RS ¹	0,77 \pm 0,03	0,89 \pm 0,03	0,84 \pm 0,08	0,92 \pm 0,01	0,87 \pm 0,03	0,86 \pm 0,04	0,85 \pm 0,07
CB ²	20,80 \pm 0,46	23,20 \pm 1,46	21,00 \pm 0,25	21,44 \pm 0,29	21,22 \pm 0,27	22,25 \pm 1,03	20,50 \pm 0,28
Paras. (%)	90	100	90	90	90	90	90
Geração F2							
Emergência	74,10 \pm 13,95	111,70 \pm 16,99	77,00 \pm 16,88	71,90 \pm 16,13	86,60 \pm 18,87	140,20 \pm 13,16	101,60 \pm 17,21
RS ¹	0,96 \pm 0,01a	0,87 \pm 0,04ab	0,95 \pm 0,01a	0,94 \pm 0,01a	0,90 \pm 0,02ab	0,82 \pm 0,02b	0,92 \pm 0,02a
CB ²	25,44 \pm 0,86a	22,00 \pm 0,39b	22,37 \pm 0,59bc	24,11 \pm 0,88b	22,00 \pm 0,37bc	21,30 \pm 0,21c	21,88 \pm 0,45bc
Paras. (%)	90	90	90	100	90	90	80
Geração F3							
Emergência	142,40 \pm 22,48a	60,40 \pm 15,20b	114,30 \pm 17,51ab	75,60 \pm 12,29ab	80,10 \pm 13,45ab	86,40 \pm 12,02ab	56,20 \pm 17,49b
RS ¹	0,78 \pm 0,09	0,95 \pm 0,02	0,90 \pm 0,01	0,89 \pm 0,01	0,93 \pm 0,01	0,90 \pm 0,01	0,94 \pm 0,02
CB ²	21,00 \pm 0,33	21,71 \pm 0,28	21,11 \pm 0,30	22,60 \pm 0,87	23,22 \pm 0,68	22,44 \pm 0,37	21,33 \pm 0,91
Paras. (%)	100	60	90	80	80	80	100

Fonte: Elaborada pelos autores (a)

¹ Médias não significativas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$)

² Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

A razão sexual de *P. elaeisis*, foi menor com 0,2200 $\mu\text{L}/\text{mL}$ na geração F2 ($F= 4.4577$; $P< 0.01$) (**Tabela 5**). A duração do ciclo biológico de *P. elaeisis*, foi semelhante entre os tratamentos na F1 e F3 e menor na F2 ($F= 6.5604$; $P< 0.0001$) com 0,2200 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (**Tabela 5**).

As concentrações de deltametrina aumentaram o risco de morte para fêmeas de *P. elaeisis* nas gerações parental, F1 e F2, mas não em F3. Na F1, a razão de risco foi superior ao controle com concentrações acima de 0,1400 $\mu\text{L}/\text{mL}$ e na F2, com 0,1400 e 0,2200 $\mu\text{L}/\text{mL}$. Na geração F3, não foram observados efeitos significativos em *P. elaeisis* (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Análise de regressão univariada de Cox, com razão de risco e intervalo de confiança de 95% para fêmeas adultas de *Palmistichus elaeisis*, expostas a concentrações de deltametrina ($\mu\text{L}/\text{mL}$).

Decis (deltametrina)	N	Nº de eventos	RR	I.C. 95%	Teste de Wald	G.L.	p-valor
Geração Parental	420	420			47,04	6	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,1000	60		0,97	0,68-1,4			0,866 ^{ns}
0,1200	60		1,21	0,85-1,7			0,292 ^{ns}
0,1400	60		1,66	1,15-2,4			<0,01**
0,1700	60		1,47	1,02-2,1			<0,05*
0,2200	60		2,06	1,43-3,0			<0,001***
0,2400	60		2,72	1,88-3,9			<0,001***
Geração F1	420	419			38,59	6	<0,001***
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,1000	60		0,77	0,53-1,1			0,151 ^{ns}
0,1200	60		0,99	0,69-1,4			0,964 ^{ns}
0,1400	60		1,56	1,09-2,2			<0,05*
0,1700	60		1,27	0,88-1,8			0,196 ^{ns}
0,2200	60		2,05	1,43-2,9			<0,001***
0,2400	60		0,93	0,65-1,3			0,693 ^{ns}
Geração F2	360	360			13,03	5	<0,01**
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,1000	60		1,3	0,88-1,8			0,191 ^{ns}
0,1200	60		1,1	0,79-1,6			0,493 ^{ns}
0,1400	60		1,0	0,70-1,4			0,996 ^{ns}
0,1700	60		1,7	1,18-2,5			<0,01**
0,2200	60		1,4	1,00-2,1			<0,05*
Geração F3	360	360			3,55	5	ns
Controle	60		1,0	(Referência)			
0,1000	60		0,98	0,68-1,4			0,903 ^{ns}
0,1200	60		1,19	0,83-1,7			0,334 ^{ns}
0,1400	60		0,94	0,65-1,3			0,716 ^{ns}
0,1700	60		0,88	0,61-1,3			0,479 ^{ns}
0,2200	60		0,90	0,90			0,552 ^{ns}

Fonte: Elaborado pelos autores (a)

RR: Razão de Risco; I.C: Intervalo de Confiança

Teste Wald

4 DISCUSSÃO

Inseticidas neurotóxicos são compostos químicos pouco seletivos para inimigos naturais (TURCHEN *et al.*, 2015). As diferenças encontradas entre os inseticidas neonicotinoides e o piretroide podem derivar de diferenças nas propriedades físico-químicas dos compostos, sensibilidade do parasitoide e as características do hospedeiro (JESCHKE *et al.*, 2011).

O imidacloprido não teve efeito significativo no parasitismo de *P. elaeisis*, resultados semelhantes foram observados para *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (PREETHA *et al.*, 2010). Esse resultado se deve, possivelmente, a sua característica sistêmica, neonicotinoides são moléculas relativamente pequenas, altamente solúveis em água (BONMATIN *et al.*, 2015) com um baixo coeficiente ($\log K_{ow} = 0,57$). Altos valores de $\log K_{ow}$ conferem maior lipofilicidade e facilitam a penetração do produto e sua translocação para o local de ação (JESCHKE *et al.*, 2011). A cutícula dos insetos é formada por proteínas, lipídios e outros componentes com baixa afinidade pela água (LOCKEY, 1988).

A emergência de *P. elaeisis* foi reduzida com o aumento das concentrações de imidacloprido em todas as três gerações. Condições estressantes podem estimular a oviposição em parasitoides (CASIDA; DURKIN, 2013). No entanto, apesar do parasitismo ter sido pouco afetado, a emergência foi reduzida e, possivelmente, o desenvolvimento de *P. elaeisis* foi comprometido, inseticidas podem ocasionar malformação dos órgãos em insetos benéficos (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). A sensibilidade a inseticidas pode variar entre parasitoides, a emergência em espécies de *Trichogramma* por exemplo, não foi reduzida após a exposição ao imidacloprido (PREETHA *et al.*, 2010; SABER, 2011). Parasitoides imaturos, normalmente, são menos afetados por inseticidas por estarem protegidos dentro do hospedeiro (RODRÍGUEZ *et al.*, 2003). No entanto, como as pupas do *T. molitor* foram completamente imersas na solução de inseticidas, possivelmente, parte do produto pode ter atravessado a cutícula e contaminado a fase imatura de *P. elaeisis*. Em condições de campo, o hospedeiro provavelmente receberia uma concentração menor, devido a estrutura foliar das plantas e a superfície da pupa hospedeira possivelmente não seria totalmente contaminada pelo produto. O desenvolvimento de parasitoides é fortemente afetado por características do hospedeiro, como idade, tamanho e estado nutricional (HARVEY; GOLS, 2018). Entretanto, as concentrações testadas nesse estudo, exceto (5,2500 mg i.a /mL), foram extremamente baixas. Fatores como tempo e método de exposição, tipo de hospedeiro, produto químico e formulação comercial podem afetar a taxa de emergência (SABER, 2011).

A alta razão sexual é uma característica de *P. elaeisis* (CAMILO *et al.*, 2016). Os agroquímicos podem causar mudanças na proporção sexual de insetos benéficos (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007), no entanto, para emergidos de *P. elaeisis* na geração F1 e F2 não foi observado alteração. Isso é importante, pois as fêmeas são responsáveis pelo parasitismo e produção da progênie (PASTORI *et al.*, 2012). Resultado semelhante foi encontrado com *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae) (PAZINI *et al.*, 2019). Na geração F3, a razão sexual foi menor que o controle com 0,1400 mg i.a /mL, indicando que nessa concentração as fêmeas foram mais sensíveis, mas ainda assim ficou acima de 0,75. Esses efeitos podem ocorrer porque inseticidas são conhecidos por induzir deformações nos órgãos reprodutivos de insetos (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007), entretanto, os mecanismos responsáveis por essa alteração ainda não são bem esclarecidos. A proporção sexual da progênie de *Encarsia inaron* Walker (Hymenoptera: Aphelinidae) também foi alterada, com um excesso de machos após exposição ao imidacloprido (SOHRABI *et al.*, 2012). A maior duração do ciclo biológico (ovo-adulto) de *P. elaeisis* na geração F2 com a concentração 0,2800 mg i.a /mL de imidacloprido pode ser devido à um efeito indireto ou residual do imidacloprido em fêmeas na geração anterior.

A probabilidade de sobrevivência de fêmeas de *P. elaeisis* foi reduzida e a razão de risco ficou acima de 1,0 (referência) em todas as concentrações de imidacloprido nas gerações parental, F1 e F2. A razão de risco acima de 1,0 significa que quanto maior o valor desse coeficiente, maior é o risco de morte de *P. elaeisis*. As alterações na sobrevivência podem ser observadas em indivíduos que não tiveram contato com o inseticida (F2). O maior risco de morte causado pelo imidacloprido na geração parental pode ser devido o contato das fêmeas de *P. elaeisis* durante a oviposição. Na geração seguinte, F1, possivelmente, parte do produto foi absorvido pela pupa hospedeira contaminando parasitoides imaturos. Essa contaminação pode ter levado a uma resposta inesperada desses indivíduos, em que o risco de morte com as duas menores concentrações do inseticida provocou maior efeito negativo à sobrevivência de *P. elaeisis* do que nas maiores concentrações. A exposição a neonicotinoides pode levar a diferentes perfis de expressão gênica e essas alterações podem gerar respostas distintas entre os indivíduos, podendo ser mais sutis ou mais severas (COLGAN *et al.*, 2019). A sobrevivência de *Aphidius gifuensis* Ashmead (Hymenoptera: Aphididae) foi reduzida após exposição ao imidacloprido (KANG *et al.*, 2018). Na F3, a razão de risco foi inferior ao controle, mas apresentou resultados significativos em algumas concentrações. Apesar de se ter um alvo específico nos insetos, inseticidas podem alterar outras regiões como vias metabólicas (CHRISTEN *et al.*, 2018) que ainda não são conhecidas, desencadeando respostas distintas.

O parasitismo por fêmeas de *P. elaeisis* não foi reduzido significativamente pelo tiametoxam em nenhuma das três gerações. Resultados semelhantes foram encontrados com *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (CONSOLI; BOTELHO; PARRA, 2001). Essa falta de efeitos no parasitismo pode ser devido à capacidade das fêmeas de *P. elaeisis* em tolerar a exposição a concentrações de tiametoxam por um período de exposição curto. Inseticidas neonicotinoides podem apresentar maior ou menor afinidade aos receptores nicotínicos dos insetos, e podem interferir em diversos sítios secundários (CHRISTEN *et al.*, 2018) desencadeando respostas distintas e a susceptibilidade pode variar entre parasitoides. O parasitismo de *Aphelinus certus* Yasnosh (Hymenoptera: Aphelinidae) foi reduzido com hospedeiros que se alimentaram em plantas tratadas com tiametoxam (FREWIN; SCHAAFSMA; HALLETT, 2014).

A emergência de *P. elaeisis* na geração F1 não foi reduzida com concentrações subletais de tiametoxam, isso se deve, possivelmente a sua característica em ser pouco lipofílico ($\log_{k_{ow}} = -0,13$). Aliado as concentrações extremamente baixas, a quantidade de produto pode não ser suficiente para penetrar na pupa hospedeira e comprometer o desenvolvimento dos imaturos de *P. elaeisis*. No entanto, na concentração recomendada pelo fabricante, houve redução drástica de indivíduos emergidos. A contaminação das fêmeas da geração parental e do hospedeiro provavelmente afetou o desenvolvimento e sobrevivência de sua progênie, devido aos efeitos letais diretos do tiametoxam ou de outras perturbações, como malformação dos órgãos do inseto (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Outra via de contaminação pode ser através da ingestão de resíduos quando o parasitoide faz a abertura do orifício de emergência, conforme observado por (CONSOLI; BOTELHO; PARRA, 2001). O tiametoxam tem uma meia vida de 65-170 dias (LI *et al.*, 2018), a possibilidade de haver resíduos na pupa do hospedeiro, *T. molitor*, após 20 dias, que é a duração do ciclo biológico de *P. elaeisis* é grande.

A duração do ciclo biológico de *P. elaeisis* foi alterado pelas concentrações de tiametoxam na geração F2. O número de dias aumentou em relação ao controle possivelmente por algum efeito residual que afetou a capacidade de desenvolvimento de *P. elaeisis*. Na F3, a duração do ciclo biológico foi menor na concentração onde houve um maior número de indivíduos emergidos. O hospedeiro representa a única fonte alimentar da fase imatura de parasitoides, quanto maior o número de indivíduos dentro da pupa, maior será a competição por alimento (BARBOSA *et al.*, 2016; HARVEY; GOLS, 2018).

A progênie de *P. elaeisis* da F3, com 0,0325 mg i.a /mL do tiametoxam apresentaram um aumento significativo de indivíduos emergidos em relação ao controle. Efeitos

estimuladores de baixas concentrações de inseticidas já foram relatados em vários grupos de insetos (RAKOTONDRAVELO *et al.*, 2019; ULLAH *et al.*, 2020). Isso pode ser devido à hormese, um efeito dose-resposta bifásico em que a exposição a baixas doses de um estressor pode estimular processos biológicos e em altas ser prejudicial (AYYANATH *et al.*, 2013).

A probabilidade de sobrevivência de fêmeas de *P. elaeisis* foi reduzida e a razão de risco ficou acima de 1,0 em todas as concentrações de tiametoxam nas gerações parental, F2 e F3, mas não em F1. O risco de morte com a maior concentração foi extremamente alto, o que demonstra a elevada toxicidade desse inseticida. Um resultado inesperado foi encontrado na F1, esperava-se um efeito negativo, pois, esses indivíduos possivelmente entraram em contato com resíduos do tiametoxam. Esse resultado pode ser devido a um efeito subletal chave, a hormese, uma resposta adaptativa, após a ruptura da homeostase, com estímulo por baixas concentrações nesse caso (CALABRESE; BALDWIN, 2002). Os organismos desenvolveram mecanismos adaptativos para sobreviver e se reproduzir em ambientes estressantes. A exposição a inseticidas pode alterar a expressão de genes importantes, responsáveis pela defesa e desintoxicação de substâncias químicas que ajudam o organismo a mitigar os impactos decorrentes da exposição ao agente estressor (RIX; AYYANATH; CHRISTOPHER CUTLER, 2016). Provavelmente, os indivíduos das gerações F2 e F3 não foram capazes de atenuar os efeitos provocados pelo inseticida na geração parental. O tiametoxam possui características que o tornam um agonista potente de receptores nicotínicos de acetilcolina (MATSUDA *et al.*, 2001). A degradação deste produto pode gerar metabólitos, que potencializam a atividade inseticida (NAUEN *et al.*, 2003). Esses metabólitos produzidos podem suprimir a expressão de determinado gene (desintoxicação) ou mesmo se tornar um indutor adicional desse gene (CABIROL; HAASE, 2019).

O parasitismo por *P. elaeisis* não foi diferente do controle em nenhuma das concentrações de deltametrina. Na concentração recomendada pelo fabricante, a deltametrina reduziu em 100% o parasitismo *T. podisi* e *Trissolcus basalus* (Wollaston) (ZANTEDESCHI *et al.*, 2018) e *P. elaeisis* (PEREIRA COSTA *et al.*, 2020).

A emergência foi reduzida na geração F1 e F3, mas não em F2, sendo que apenas a F1 teve contato indireto com resíduos de deltametrina. A contaminação de *P. elaeisis* pode ter ocorrido pela passagem de resíduos pelo tegumento da pupa hospedeira e/ou ingestão de resíduo do inseticida durante a perfuração de orifício para emergência (CONSOLI; PARRA; ZUCCHI, 2010). A deltametrina possui ($\log_{K_{ow}} = 6,20$) o tornando um inseticida com elevada lipofilicidade e muito tóxico. Efeitos observados na F3, pode ser devido a mecanismos de desintoxicação deficientes, o que fornecem efeitos tóxicos prolongados (CASIDA; DURKIN,

2013), também chamados de latentes, que se expressam nas fases de vida após a fase inicialmente exposta ao inseticida (CROFT, 1990). Inseticidas neurotóxicos como a deltametrina é esperado efeitos tóxicos devido ao seu modo de ação (CASIDA; DURKIN, 2013). A deltametrina também pode interferir negativamente no processo de vitelogênese (GARCIA *et al.*, 2006) e reduzir a fecundidade em parasitoides (GARCIA *et al.*, 2006; MEILIN *et al.*, 2012). A sensibilidade a deltametrina varia conforme a espécie de parasitoide, método de exposição e concentração utilizada. A emergência de *Trichogramma brassicae* (Bezdenko) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) foi reduzida (THUBRU; FIRAKE; BEHERE, 2018), já para *T. bussolae* não foi observado nenhum efeito adverso (BAYRAM *et al.*, 2010).

A razão sexual e a duração do ciclo biológico de *P. elaeisis* apresentou diferença apenas na geração F2. O número de fêmeas foi reduzido e houve redução do ciclo biológico na mesma concentração. A alteração no ciclo se deve, possivelmente, pelo maior número de indivíduos compartilhando os nutrientes. A razão sexual de *T. brassicae* foi menor após a exposição a deltametrina (THUBRU; FIRAKE; BEHERE, 2018), já para a *Telenomus bussolae* Gahan (Hymenoptera: Scelionidae) não foi alterado (BAYRAM *et al.*, 2010).

A probabilidade de sobrevivência de fêmeas de *P. elaeisis* foi reduzida e a razão de risco ficou acima de 1,0 em quase todas as concentrações de deltametrina na geração parental. Na geração F1 e F2, ainda foram observados efeitos significativos, no entanto, na F3 não houve diferenças significativas. Piretroides são inseticidas de amplo espectro de ação e possuem ação por contato, essas características podem afetar diretamente os parasitoides durante a pulverização, comprometendo a sobrevivência em uma escala de tempo curta (24-48h) seguida da exposição residual (DESNEUX; DECOURTYE; DELPUECH, 2007). Estudos com doses subletais mostram impacto negativo desse inseticida em parâmetros biológicos de espécies de parasitoides como a (BAYRAM *et al.*, 2010). Os inseticidas podem alterar o comportamento dos insetos, causando irritabilidade e repelência (RAMOS *et al.*, 2018). Piretroides possuem características repelentes, no entanto, a inibição da atividade é transitória (RIETH; LEVIN, 2008). Possivelmente, o tempo que as fêmeas ficaram em contato (48h) com o hospedeiro contaminado com a deltametrina foi alto para que o parasitoide fosse repellido. No entanto, em campo, essas vespas não estarão confinadas e possivelmente, essa característica poderia ser favorável à sua sobrevivência.

5 CONCLUSÕES

O imidacloprido, tiametoxam e a deltametrina reduziram a emergência de *P. elaeisis* com efeitos observados até a geração F3, exceto para a deltametrina. A razão sexual foi reduzida na F3 e a duração do ciclo biológico com imidacloprido aumentou. A duração do ciclo aumentou na F2 e diminuiu na F3 após exposição ao tiametoxam. A razão sexual foi reduzida e a duração do ciclo aumentou com a deltametrina. O risco de morte foi alto para os três inseticidas, principalmente, para a geração F2 e F3 do tiametoxam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, G. S. *et al.* Oogenesis pattern and type of ovariole of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 767–774, 2012.
- ANTIGO, M. DE R. *et al.* Repelência de produtos fitossanitários usados na cana-de-açúcar e seus efeitos na emergência de *Trichogramma galloi*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 910–916, 2013.
- AYYANATH, M. M. *et al.* Transgenerational shifts in reproduction hormesis in green peach aphid exposed to low concentrations of imidacloprid. **PLoS One**, v. 8, n. 9, p. e74532, 2013.
- BARBOSA, R. H. *et al.* Foraging activity of *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) at various densities on pupae of the *Eucalyptus* defoliator *Thyrintina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae). **Florida Entomologist**, v. 99, n. 4, p. 686–690, 2016.
- BAYRAM, A. *et al.* Sub-lethal effects of two pyrethroids on biological parameters and behavioral responses to host cues in the egg parasitoid *Telenomus busseolae*. **Biological Control**, v. 53, n. 2, p. 153–160, 2010.
- BITTENCOURT, M. A. L.; BERTI FILHO, E. Desenvolvimento dos estágios imaturos de *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera, Eulophidae) em pupas de Lepidoptera. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 1, p. 65–68, 2004.
- BONMATIN, J. M. *et al.* Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 1, p. 35–67, 2015.
- BUENO, A. *et al.* Pesticide selectivity to natural enemies: Challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.
- CABIROL, A.; HAASE, A. The neurophysiological bases of the impact of neonicotinoid pesticides on the behaviour of honeybees. **Insects**, v. 10, n. 10, p. 344, 2019.
- CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Defining hormesis. **Human & experimental toxicology**, v. 21, n. 2, p. 91–97, 2002.
- CAMILO, S. S. *et al.* Do floral resources in *Eucalyptus* plantations affect fitness parameters of the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae)? **Phytoparasitica**, v. 44, n. 5, p. 651–659, 2016.
- CASIDA, J. E.; DURKIN, K. A. Neuroactive insecticides: Targets, selectivity, resistance, and secondary effects. **Annual Review of Entomology**, v. 58, n. 1, p. 99–117, 2013.
- CHRISTEN, V. *et al.* Global transcriptomic effects of environmentally relevant concentrations of the neonicotinoids clothianidin, imidacloprid, and thiamethoxam in the brain of honey bees (*Apis mellifera*). **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 13, p. 7534–7544, 2018.
- COLGAN, T. J. *et al.* Caste- and pesticide-specific effects of neonicotinoid pesticide exposure on gene expression in bumblebees. **Molecular Ecology**, v. 28, n. 8, p. 1964–1974, 2019.

COLLIER, T.; VAN STEENWYK, R. A critical evaluation of augmentative biological control. **Biological Control**, v. 31, n. 2, p. 245–256, 2004.

CONSOLI, F. L.; BOTELHO, P. S. M.; PARRA, J. R. P. Selectivity of insecticides to the egg parasitoid *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988.(Hym., Trichogrammatidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 125, n. 1–2, p. 37–43, 2001.

CONSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma*. [s.l.] Springer Science & Business Media, v. 9, 2010.

COSTA, M. A. *et al.* Sublethal and transgenerational effects of insecticides in developing *Trichogramma galloi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ecotoxicology**, v. 23, n. 8, p. 1399–1408, 2014.

CROFT, B. A. **Arthropod biological control agents and pesticides**. [s.l.] John Wiley and Sons Inc., 1990.

DELVARE, G.; LASALLE, J. A new genus of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) from the Neotropical Region, with the description of a new species parasitic on key pests of oil palm. **Journal of Natural History**, v. 27, n. 2, p. 435–444, 1993.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual review of entomology**, v. 52, p. 81–106, 2007.

DONG, K. *et al.* Molecular biology of insect sodium channels and pyrethroid resistance. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 50, p. 1–17, 2014.

FREWIN, A. J.; SCHAAFSSMA, A. W.; HALLETT, R. H. Susceptibility of *Aphelinus certus* (Hymenoptera: Aphelinidae) to neonicotinoid seed treatments used for soybean pest management. **Journal of Economic Entomology**, v. 107, n. 4, p. 1450–1457, 2014.

GARCIA, P. *et al.* Effects of deltamethrin on the reproduction of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 16, n. 7, p. 699–708, 2006.

HARVEY, J. A.; GOLS, R. Effects of plant-mediated differences in host quality on the development of two related endoparasitoids with different host-utilization strategies. **Journal of Insect Physiology**, v. 107, p. 110–115, 2018.

IRAC, I. R. A. C. Method No: 007: Leaf eating Lepidoptera and Coleoptera. **Available online: uploads/**, v. 2009, 2010.

JESCHKE, P. *et al.* Overview of the status and global strategy for neonicotinoids. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 7, p. 2897–2908, 2011.

KANG, Z.-W. *et al.* Effect of sublethal doses of imidacloprid on the biological performance of aphid endoparasitoid *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Aphidiidae) and influence on its related gene expression. **Frontiers in physiology**, v. 9, p. 1729, 2018.

KRISCHIK, V. A.; LANDMARK, A. L.; HEIMPEL, G. E. Soil-applied imidacloprid is translocated to nectar and kills nectar-feeding *Anagyrus pseudococci* (Girault) (Hymenoptera: Encyrtidae). **Environmental entomology**, v. 36, n. 5, p. 1238–1245, 2007.

LI, Y. *et al.* Adsorption-desorption and degradation of insecticides clothianidin and thiamethoxam in agricultural soils. **Chemosphere**, v. 207, p. 708–714, 2018.

LOCKEY, K. H. Lipids of the insect cuticle: origin, composition and function. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, v. 89, n. 4, p. 595–645, 1988.

LONGLEY, M.; JEPSON, P. C. Effects of honeydew and insecticide residues on the distribution of foraging aphid parasitoids under glasshouse and field conditions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 81, n. 2, p. 189–198, 1996.

MATSUDA, K. *et al.* Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. **Trends in Pharmacological Sciences**, v. 22, n. 11, p. 573–580, 2001.

MEILIN, A. *et al.* The effects of deltamethrin applied at sublethal concentrations on the adults of *Anagrus nilaparvatae* (Hymenoptera: Mymaridae). **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 7, p. 1032–1037, 2012.

MENEZES, C. W. G. *et al.* *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) as an indicator of toxicity of herbicides registered for corn in Brazil. **Chilean journal of agricultural research**, v. 74, p. 361–365, 2014.

MENEZES, C. W. G. *et al.* Reproductive and toxicological impacts of herbicides used in Eucalyptus culture in Brazil on the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Weed Research**, v. 52, n. 6, p. 520–525, 2012.

MORALES, S. I. *et al.* Parasitism, host feeding, and transgenerational effects of three insecticides on the eulophid parasitoid *Tamarixia triozae* when exposed in the immature stages. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 16, p. 19473–19483, 2020.

NAUEN, R. *et al.* Thiamethoxam is a neonicotinoid precursor converted to clothianidin in insects and plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 76, n. 2, p. 55–69, 2003.

PASTORI, P. L. *et al.* Densidade de fêmeas de *Palmistichus elaeisis* Delvare & Lasalle, 1993 (Hymenoptera: Eulophidae) para sua reprodução em pupas de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 4, p. 525–532, 2012.

PAZINI, J. DE B. *et al.* Differential impacts of pesticides on *Euschistus heros* (Hem.: Pentatomidae) and its parasitoid *Telenomus podisi* (Hym.: Platygasteridae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 6544, 2019.

PEREIRA-COSTA, E. S. *et al.* Selectivity of deltamethrin doses on *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 12395, 2020.

- PEREIRA, F. F. *et al.* Species of Lepidoptera defoliators of eucalyptus as new host for the parasitoid *Palmistichus elaeisis* (Hymenoptera: Eulophidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 2, p. 259–262, 2008a.
- PEREIRA, F. F. *et al.* Reproductive performance of *Palmistichus elaeisis* Delvare and LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) with previously refrigerated pupae of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 3, p. 865–869, 2009.
- PEREIRA, K. S. *et al.* Superparasitism, immune response and optimum progeny yield in the gregarious parasitoid *Palmistichus elaeisis*. **Pest management science**, v. 73, n. 6, p. 1101–1109, 2017.
- PISA, L. W. *et al.* Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, 2014.
- POQUET, Y.; VIDAU, C.; ALAUX, C. Modulation of pesticide response in honeybees. **Apidologie**, v. 47, n. 3, p. 412–426, 2016.
- PREETHA, G. *et al.* Impact of chloronicotiny insecticide, imidacloprid on egg, egg-larval and larval parasitoids under laboratory conditons. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, n. 4, p. 535, 2010.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 25 maio. 2020.
- RAKOTONDRAVELO, M. *et al.* Traces of imidacloprid induce hormesis as a stimulatory conditioned response of sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae). **Environmental Entomology**, v. 48, n. 6, p. 1418–1424, 2019.
- RAMOS, R. S. *et al.* Investigation of the lethal and behavioral effects of commercial insecticides on the parasitoid wasp *Copidosoma truncatellum*. **Chemosphere**, v. 191, p. 770–778, 2018.
- RIETH, J.; LEVIN, M. The repellent effect of two pyrethroid insecticides on the honey bee. **Physiological Entomology**, v. 13, p. 213–218, 2008.
- RITZ, C. *et al.* Dose-response analysis using R. **PloS one**, v. 10, n. 12, p. e0146021, 2015.
- RIX, R. R.; AYYANATH, M. M.; CHRISTOPHER CUTLER, G. Sublethal concentrations of imidacloprid increase reproduction, alter expression of detoxification genes, and prime *Myzus persicae* for subsequent stress. **Journal of Pest Science**, v. 89, n. 2, p. 581–589, 2016.
- RODRÍGUEZ, E. *et al.* Evaluation of the effect on arthropod populations by using deltamethrin to control *Phloeotribus scarabaeoides* Bern. (Coleoptera: Scolytidae) in olive orchards. **Chemosphere**, v. 52, n. 1, p. 127–134, 2003.
- SABER, M. Acute and population level toxicity of imidacloprid and fenpyroximate on an important egg parasitoid, *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ecotoxicology**, v. 20, n. 6, p. 1476–1484, 2011.

SOHRABI, F. *et al.* Lethal and sublethal effects of buprofezin and imidacloprid on the whitefly parasitoid *Encarsia inaron* (Hymenoptera: Aphelinidae). **Crop Protection**, v. 32, p. 83–89, 2012.

THERNEAU, T. M.; GRAMBSCH, P. M. **Modeling Survival Data: Extending the Cox Model**. New York: Springer, 2000.

THUBRU, D. P.; FIRAKE, D. M.; BEHERE, G. T. Assessing risks of pesticides targeting lepidopteran pests in cruciferous ecosystems to eggs parasitoid, *Trichogramma brassicae* (Bezdenko). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, p. 680–688, 2018.

TURCHEN, L. M. *et al.* Lethal and Sublethal Effects of Insecticides on the Egg Parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 1, p. 84–92, 2015.

ULLAH, F. *et al.* Thiamethoxam induces transgenerational hormesis effects and alteration of genes expression in *Aphis gossypii*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 165, p. 104557, 2020.

ZACHÉ, B.; ZACHÉ, R. R. DA C.; WILCKEN, C. F. Evaluation of *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) as parasitoid of the *Sarsina violascens* Herrich-Schaeffer (Lepidoptera: Lymantriidae). **Journal of Plant Studies**, p. 85–89, 2012.

ZANTEDESCHI, R. *et al.* Selectivity of pesticides registered for soybean crop on *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalus*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 1, p. 52–58, 2018.

ZANUNCIO, J. C. *et al.* *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae), a new alternative host to rear the pupae parasitoid *Palmistichus elaeisis* Delvare & LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 62, p. 64–66, 2008.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O imidacloprido, tiametoxam e a deltametrina são tóxicos a *P. elaeisis*, a concentração capaz de matar 50% da população foi estimada para os três inseticidas.

O imidacloprido e tiametoxam não reduziram o parasitismo e emergência após fêmeas adultas de *P. elaeisis* ficarem expostas por 24h a concentrações letais de CL₁₀ e CL₅₀. A deltametrina não reduziu o parasitismo de *P. elaeisis*, no entanto, não houve indivíduos emergidos em nenhuma das concentrações.

Após a imersão de pupas de *T. molitor* em diferentes concentrações das três moléculas inseticidas o parasitismo não foi afetado, mas a emergência foi reduzida.

Houve alteração na razão sexual e na duração do ciclo biológico de *P. elaeisis* e o risco de morte foi alto para todos os três inseticidas. Os efeitos nos parâmetros biológicos foram observados até a terceira geração para o imidacloprido e o tiametoxam.

Todos os inseticidas podem ocasionar a morte de *P. elaeisis* e seus efeitos subletais podem comprometer o fitness desse inimigo natural e sua eficiência no controle biológico.