

PROSPECÇÕES DE *Tetrastichus howardi* (Olliff) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARA  
O MANEJO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

por

RIAN JAVÉ SOUZA SARMENTO MORAES

(Sob Orientação da Professora Christian Sherley Araújo da Silva Torres - UFRPE)

RESUMO

*Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) é um parasitoide de diversas espécies de pragas, inclusive de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), mas pouco se sabe do seu potencial de controle. Portanto, a tabela de vida de fertilidade foi utilizada para avaliar o desempenho reprodutivo desse parasitoide sobre *P. xylostella* e o hospedeiro alternativo *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae). Além disso, foi determinado se o hospedeiro natal (*P. xylostella* ou *T. molitor*) interfere na resposta olfativa e taxa de parasitismo sobre *P. xylostella*. Por fim, determinou-se a sobrevivência do parasitoide quando exposto ao ciantraniliprole 100 SC (100 ml/ha) e ao espinetoram 250 WG (100 g/ha), e 50% dessas dosagens, em diferentes substratos (superfície inerte e folha de couve) e ao longo do tempo (0 à 8 dias) em condições de laboratório. Os resultados mostraram que *T. howardi* parasita preferencialmente pupas de *P. xylostella* e de *T. molitor* em comparação às larvas destes hospedeiros. A taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ) variou de 0,117 a 0,132 ♀/♀\*dia em *P. xylostella*, e de 0,152 a 0,167 ♀/♀\*dia no hospedeiro alternativo *T. molitor*, sendo estatisticamente superior no hospedeiro alternativo. A resposta olfativa do parasitoide e a taxa de parasitismo sobre *P. xylostella* não foram afetadas pelo hospedeiro natal.

Em relação à seletividade dos inseticidas testados, a exposição via resíduo seco de ambos inseticidas da dosagem utilizada não ocasionou mortalidade em adultos de *T. howardi*. Também o resíduo de ambos os inseticidas não ocasionou mortalidade significativa, independentemente do período de exposição e não afetou a capacidade de parasitismo em *P. xylostella*, permitindo o desenvolvimento dos descendentes do parasitoide. Estima-se que nas condições de Chã-Grande-PE, onde *T. howardi* foi coletado sobre pupas de *P. xylostella* ele complete até 16 gerações/ano, enquanto a praga pode chegar a 19 gerações/ano, respectivamente. Portanto, *T. howardi* poderá contribuir para o manejo de *P. xylostella* através do controle biológico natural ou por meio de liberações inundativas. Nossos resultados também apontam para a possibilidade de utilização conjunta deste parasitoide com os inseticidas ciantraniliprole e espinetoram, caso estes se façam necessários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle biológico, seletividade, tabela de vida, hospedeiro natal, parasitoide.

PROSPECTIONS OF *Tetrastichus howardi* (Olliff) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) FOR  
THE MANAGEMENT OF *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

by

RIAN JAVÉ SOUZA SARMENTO MORAES

(Under the supervision of Professor Christian Sherley Araújo da Silva Torres - UFRPE)

ABSTRACT

*Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) is a parasitoid of several pest species, including *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), but little is known about its control potential. Therefore, the fertility life table was used to evaluate the reproductive performance of this parasitoid on *P. xylostella* and the alternative host *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae). Furthermore, it was determined whether the natal host (*P. xylostella* or *T. molitor*) interferes with the olfactory response and rate of parasitism on *P. xylostella*. Finally, the survival of the parasitoid was determined when exposed to cyantraniliprole 100 SC (100 ml/ha) and to spinetoram 250 WG (100 g/ha), and 50% of these dosages, in different substrates (inert surface and cabbage leaf) and over time (0 to 8 days) under laboratory conditions. The results showed that *T. howardi* preferentially parasitizes *P. xylostella* and *T. molitor* pupae compared to the larvae of these hosts. The intrinsic population growth rate ( $r_m$ ) ranged from 0.117 to 0.132 ♀/♀\*day in *P. xylostella*, and from 0.152 to 0.167 ♀/♀\*day in the alternative host *T. molitor*, being statistically higher in the alternative host. The parasitoid olfactory response and the rate of parasitism on *P. xylostella* were not affected by the natal host. Regarding the selectivity of the insecticides tested, exposure via dry residue of both insecticides at the dosage used did not cause mortality in adults of *T. howardi*. Also the residue of both insecticides did not cause significant

mortality, regardless of the exposure period and did not affect the parasitism capacity in *P. xylostella*, allowing the development of parasitoid descendants. It is estimated that under the conditions of Chã-Grande-PE, where *T. howardi* was collected on *P. xylostella* pupae, it completes up to 16 generations/year, while the pest can reach 19 generations/year, respectively. Therefore, *T. howardi* may contribute to the management of *P. xylostella* through natural biological control or through inundative releases. Our results also point to the possibility of using this parasitoid together with the insecticides cyantraniliprole and spinetoram, if necessary.

**KEYWORDS:** Biological control, selectivity, life table, natal host, parasitoid.

PROSPECÇÕES DE *Tetrastichus howardi* (Olliff) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARA  
O MANEJO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

por

RIAN JAVÉ SOUZA SARMENTO MORAES

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

RECIFE - PE

Julho – 2022

PROSPECÇÕES DE *Tetrastichus howardi* (Olliff) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARA  
O MANEJO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

por

RIAN JAVÉ SOUZA SARMENTO MORAES

**Comitê de Orientação:**

Christian Sherley Araújo da Silva Torres - UFRPE

Paulo Roberto Ramos Barbosa - UFVJM

PROSPECÇÕES DE *Tetrastichus howardi* (Olliff) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARA  
O MANEJO DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

por

RIAN JAVÉ SOUZA SARMENTO MORAES

**Banca Examinadora:**

Hugo Bolsoni Zago – UFES

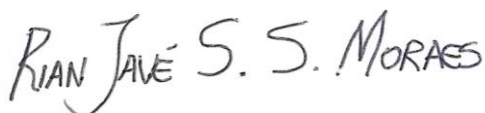
Jorge Braz Torres – UFRPE

Paulo Roberto Ramos Barbosa – UFVJM

Christian Sherley Araújo da Silva Torres – UFRPE

Valéria Wanderley Teixeira - UFRPE

**A ficha de catalogação é inserida no verso desta página.**



---

Rian Javé Souza Sarmento Moraes  
Doutor em Entomologia



---

Profa. Christian S. A. da Silva Torres  
Orientadora

## DEDICATÓRIA

*A minha Mãe, Maria Terezinha Morais de Souza, que é o meu maior exemplo de luta e de superação, que me acompanhou nessa caminhada desde quando me ensinou ler e a escrever e vem me incentivando até hoje e sei que vai ser assim até o final.*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

Cursar o Doutorado foi uma grande oportunidade. Então, agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade, por abrir as portas para alunos que vêm de longe, como eu, na busca de um futuro melhor.

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

Ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia pela oportunidade que me foi dada de realizar um curso de Doutorado.

À minha orientadora Christian Sherley Araújo da Silva Torres por ter me dado a oportunidade de ser seu orientado e por ter me passado paciência e quando achava que nada daria certo.

Ao meu coorientador Paulo Roberto Ramos Barbosa, por sempre estar presente em todas as vezes que precisei, por dividir os seus conhecimentos comigo e me guiar para que pudesse chegar até aqui.

Agradeço a Deus e a minha Mãe Oyá por nunca me deixar desistir e sempre renovar a minha fé, me dando forças e coragem pra me levantar de cabeça erguida todas as vezes que me sentia no chão, por me abrir as portas e os caminhos e nunca, nunca deixar sentir-me só.

À minha Mãe, Maria Terezinha Morais de Souza por tudo, desde o início da minha vida acadêmica. Como sempre falo, o melhor presente da minha vida é ela, por ter segurado toda essa barra comigo, em todas as dificuldades e alegrias, esse momento também é seu.

À minha irmã Riana Caroline por ter segurado a barra na nossa casa, em todo esse tempo da minha ausência.

À minha sobrinha Emanuelle de Souza por ser a força para eu continuar.

À minha Tia Socorro Beleza por ter sido o meu suporte quando as coisas ficavam difíceis, sempre me fazendo acreditar que tudo ia dar certo.

À minha Tia Joanez por sempre me falar para ir em frente, lembrando-me sempre que as fases da vida passam.

Aos meus amigos do laboratório que me acolheram com todo amor, Nataly de La Pava Soares, Jennifer Oberger e Engel do Carmo, por fazerem os meus dias mais alegres e sempre dando força para seguir em frente. Foi um grande prazer dividir esse tempo da minha vida ao lado de vocês.

Ao Luiz Carlos Souza Costa Filho, que aguentou todos os momentos, de ausência, de medo, de alegrias, por compartilhar a vida dele comigo.

## SUMÁRIO

Página

### CAPÍTULOS

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                 | 1  |
| <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae).....                                                                                                                     | 1  |
| Controle biológico de <i>Plutella xylostella</i> (L.).....                                                                                                                          | 3  |
| <i>Tetrastichus howardi</i> (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) .....                                                                                                                | 5  |
| Seletividade de inseticidas .....                                                                                                                                                   | 7  |
| LITERATURA CITADA.....                                                                                                                                                              | 10 |
| 2 RESPOSTA OLFATIVA E DESEMPENHO DE <i>Tetrastichus howardi</i> (OLLIFF)<br>(HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARASITANDO <i>Plutella xylostella</i> (L.)<br>(LEPIDOPTERA:PLUTELLIDAE)..... | 19 |
| RESUMO .....                                                                                                                                                                        | 20 |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                                      | 21 |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                    | 22 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                                                                            | 24 |
| RESULTADOS .....                                                                                                                                                                    | 29 |
| DISCUSSÃO.....                                                                                                                                                                      | 31 |
| AGRADECIMENTOS.....                                                                                                                                                                 | 36 |
| LITERATURA CITADA.....                                                                                                                                                              | 36 |
| 3 SUSCETIBILIDADE DO PARASITOIDE <i>Tetrastichus howardi</i> (OLLIFF)<br>(HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) AOS INSETICIDAS CIANTRANILIPROLE E<br>ESPINETORAM .....                          | 50 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| RESUMO .....                 | 51 |
| ABSTRACT .....               | 52 |
| INTRODUÇÃO .....             | 53 |
| MATERIAL E MÉTODOS .....     | 54 |
| RESULTADOS .....             | 59 |
| DISCUSSÃO .....              | 61 |
| AGRADECIMENTOS .....         | 63 |
| LITERATURA CITADA .....      | 63 |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... | 69 |

## CAPÍTULO 1

### Introdução

#### ***Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)**

A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), é espécie fitófaga. Amplamente distribuída pelo mundo, alguns autores consideram que essa espécie é originária do Mediterrâneo como suposto centro de origem (Juric *et al.* 2017). Enquanto, outros propõem a América do sul como o centro de origem (You *et al.* 2020). Ao longo da co-evolução com plantas hospedeiras tornou-se especializada em plantas de Brassicaceae (Truong *et al.* 2018). A ampla distribuição global, curta duração do ciclo de vida ( $\cong$  30 dias a 25°C), alta capacidade reprodutiva ( $\cong$  200 ovos/fêmea), comportamento migratório, oligofagia e resistência a praticamente todos os grupos de inseticidas, tornaram *P. xylostella* a praga mais prejudicial à produção de brássicas (Golizadeh *et al.* 2009, Baxter *et al.* 2010, Sun *et al.* 2018), a exemplo da China e outros países da Ásia, África e Brasil (Verkerk & Wright 1996, Li *et al.* 2012, Marchioro & Foerste 2016, Syed *et al.* 2018).

As características morfológicas de adultos de *P. xylostella* compreendem mariposas com  $\approx$ 6 mm de comprimento, coloração marrom-acinzentada, (sendo os machos mais escuros que as fêmeas) e a formação de três losangos de cor de palha na parte superior das asas quando justapostas (Moreno & Vilorio 2020), caracteriza o nome comum “mariposa diamante” ou em Inglês “diamondback moth”. Adultos podem viver em torno de 15 dias, as fêmeas de *P. xylostella* ovipositam em ampla gama de gêneros de plantas da família Brassicaceae (Zhang *et al.* 2012, Li *et al.* 2016). Cada fêmea pode ovipositar mais de 200 ovos, principalmente na superfície superior da folha (Zago *et al.* 2007), com o pico de oviposição no terceiro dia (Zago *et al.* 2010). Os machos de *P. xylostella* também podem ser diferenciados das fêmeas, ainda no quarto instar larval, por apresentarem uma glândula

de coloração amarelada nos últimos segmentos abdominais, além de uma fenda presente no final do abdomen (Justus *et al.* 2000, Zalucki *et al.* 2012, Cai *et al.* 2021).

. Os ovos de *P. xylostella* possuem formato oval, pouco achatado, com aproximadamente 0,4 mm de comprimento e 0,2 mm de largura com coloração que varia de amarela a verde pálida, (Gautam *et al.* 2018). A eclosão das larvas ocorre entre 4 a 8 dias dependendo da temperatura (Harcourt 1957, Talekar & Shelton 1993). E estas passam por quatro instares, com período larval de 9 a 30 dias dependendo das condições ambientais (Ulmer *et al.* 2002). No primeiro instar as larvas são incolores com a cápsula cefálica escura e são minadoras e a partir do segundo instar deixam apenas a epiderme superior transparente à medida que raspam o mesófilo foliar, além disso, (Stemele 2017, Steinbach *et al.* 2017). As larvas de segundo, terceiro e quarto ínstares são de coloração verde-amarelada e se alimentam do tecido foliar perfurando as folhas, deixando somente as nervuras (Sarfraz *et al.* 2005, Gao *et al.* 2018). Sob alta infestação podem causar até 100% de perda de rendimento por ciclo da cultura (Li *et al.* 2016).

Na fase de pré-pupa, as larvas tecem pequenos casulos que ficam geralmente aderidos à superfície das folhas baixas ou externas da planta, onde transformando-se em pupa. As pupas possuem coloração variando de amarela a verde, medem aproximadamente 7 a 9 mm de comprimento e dura de 5 a 15 dias para completarem o desenvolvimento, dependendo das condições ambientais (Liu *et al.* 2002, Furlong *et al.* 2013). Em condições de climas temperado e tropical, *P. xylostella* pode ocorrer em todas as estações do ano com 4 a 20 gerações, respectivamente (Marchioro & Foerster 2011). Segundo Denlinger & Lee (2010), a temperatura é fator climático crítico que influencia as atividades biológicas da traça-das-crucíferas. O aumento na temperatura reduz o tempo necessário para adquirir o número de graus-dias necessários para completar o ciclo, diminuindo assim o tempo de geração e aumentando o número de gerações por ano (Steinbach 2017). Ferreira *et*

al. (2003) estimou que *P. xylostella* pode completar em torno de 20 gerações por ano nas condições climáticas do Agreste de Pernambuco, principal região produtora de hortaliças do estado

O controle da traça-das-crucíferas tem sido tentado principalmente com o uso de inseticidas (Li *et al.* 2019). Devido à frequência e intensidade de aplicações, por vezes sem rotacionar modos de ação, a traça-das-crucíferas se tornou o inseto com o maior número de registros (i.e. 866 casos) de resistência a inseticidas (i.e. 101 ingredientes ativos) (<https://www.pesticideresistance.org/>) (Xia *et al.* 2018, Wang *et al.* 2020). Como consequência, têm-se intensificado a busca por táticas alternativas de controle ao uso de inseticidas de *P. xylostella*, incluindo o uso de culturas-armadilhas como a mostarda-marron (*Brassica juncea*) (Hokkanen 1991, Charleston & Kfir 2000), armadilhas iscadas com feromônio (Passos *et al.* 2020) e o controle biológico através da aplicação de entomopatógenos como o nematóide *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (Baur *et al.* 1995), a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) (Cherry *et al.* 2004) e os fungos *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Agboyi *et al.* 2020) e o *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) (Zafar *et al.* 2020), além da utilização de insetos parasitoides e predadores (Juric *et al.* 2017, Sithole *et al.* 2017, Uefune *et al.* 2017).

### **Controle biológico de *Plutella xylostella* (L.)**

O controle biológico pode ser definido pelo uso de um organismo para reduzir a população de outro organismo considerado praga, de maneira que não ocasionem danos econômicos (Van Lenterem *et al.* 2018). Assim, os agentes de controle biológico desempenham papel importante regulando a população de pragas nos agroecossistemas (Soufbaf *et al.* 2012), em especial de *P. xylostella*, devido à frequente resistência aos inseticidas e, também, pela ampla gama de espécies de inimigos naturais relatadas associadas às diferentes fases de desenvolvimento dessa praga.

Dentre as espécies de insetos predadores de *P. xylostella*, podemos encontrar crisopídeos do gênero *Chrysoperla* spp. (Neuroptera: Chrysopidae), considerados eficazes predadores generalistas

(McEwen *et al.* 2001, Reddy *et al.* 2004). Segundo Reddy *et al.* (2004), *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae), pode predar em média 100 larvas para cada 3 fêmeas. O percevejo predador *Nabis kinbergii* (Reuter) (Hemiptera: Nabidae), também é considerado predador potencial da traça-das-crucíferas em campo, com capacidade de predar em média 131 ovos de *P. xylostella* em 24 horas (Ma *et al.* 2005). Algumas espécies de joaninhas também foram relatadas como predadoras de *P. xylostella*, por exemplo, *Coleomegilla maculata* (DeGeer) (Coleoptera: Coccinellidae) (Liu *et al.* 2015). Estima-se que larvas de segundo e quarto instar desta joaninha consumam de 30 a 60 ovos de *P. xylostella* por dia, respectivamente, enquanto na fase adulta, pode predar até 110 ovos por dia (Roger *et al.* 2000).

Também, a joaninha *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) foi relatada como importante no manejo de *P. xylostella*, podendo consumir em média 7 larvas a cada 20 ofertadas (Lira *et al.* 2019, Nascimento *et al.* 2021). A tesourinha, *Euborellia annulipes* (Lucas) (Dermaptera: Anisolabididae), predadora generalista, principalmente de pragas que passam parte do ciclo no solo, consumiu em média 47 larvas e 17 pupas de *P. xylostella* no período de 12 horas em média (Nunes *et al.* 2019). Somadas aos insetos predadores, algumas espécies de aranha também foram relatadas atacando larvas de *P. xylostella* a exemplo, de *Pardosa astrigera* (L. Koch) (Araneae: Lycosidae) que consumiu até 50% das 100 lagartas ofertadas em 2 horas (Suenaga & Hamamura 2015, Huang *et al.* 2018).

Além dos predadores, mais de 135 espécies de parasitoides da ordem Hymenoptera foram relatados em várias partes do mundo parasitando *P. xylostella* (Delvare 2004). Destes, cerca de 60 espécies parecem ter potencial para controle da traça (Talekar & Shelton 1993) e 12 espécies são frequentemente recuperadas e conservadas em estudos de campo (Furlong *et al.* 2013). Em áreas produtoras de brássicas no Agreste de Pernambuco, foram encontradas três espécies de parasitoides e cinco espécies de predadores atacando larvas e pupas de *P. xylostella* (Silva-Torres *et al.* 2010).

Dessa forma, podemos considerar que devido a grande diversidade de espécies de inimigos naturais de *P. xylostella* encontrados nos diferentes agroecossistemas, essa estratégia de controle deve ser conservada e impulsionada visando redução de perdas na produção com a ocorrência dessa praga. Além disso, dentro de programas de manejo onde mais de uma tática de controle é aplicada para controle de *P. xylostella*, devemos buscar a compatibilidade entre as diferentes táticas e o controle biológico, visando a manutenção da população da traça-das-crucíferas abaixo do nível de dano econômico. Alguns estudos também indicam que o consórcio de culturas, como a canola *Brassica napus* (L.) (Brassicales: Brassicaceae) com outras espécies de brássicas em campo, pode aumentar a diversidade de espécies de parasitoides e as taxas de parasitismo em *P. xylostella* chegando a 90-100% (Mosiane *et al.* 2003, Tajmiri *et al.* 2017).

Os parasitoides de *P. xylostella* podem parasitar o ovo, larva e pupa, dependendo da espécie. Entre os parasitoides de ovos destaca-se o *Thricogramma pretiosum* (Riley) (Hymenoptera: Trichogrammatidae), com capacidade de parasitismo de até 30 ovos a cada 47 ovos depositados pela traça-das-crucíferas (Zago *et al.* 2007, Massarolli *et al.* 2021). Vários gêneros são relatados como parasitoides de larvas, a exemplo de *Diadegma*, *Cotesia*, *Apanteles*, *Microplitis* e *Oomyzus*, enquanto *Diadromus* é relatado como parasitoide de pupa (Waterhouse 1992, Syed *et al.* 2018). A espécie *Diadromus collaris* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae), parasita preferencialmente pupas recém-formadas (<24 h de idade), com média de 40% de parasitismo (Wang & Liu 2002, Cock *et al.* 2021). Em Pernambuco, outras espécies de parasitoides também foram encontradas sobre *P. xylostella*, tais como: *Conura pseudofulvovariegata* (Becker) (Hymenoptera: Chalcididae) e *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) (Silva-Torres *et al.* 2010).

#### ***Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae)**

O endoparasitoide *T. howardi* é uma espécie asiática que foi introduzida na África do Sul para fins de controle biológico de *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) e *Busseola fusca*

(Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae) nas culturas de milho e sorgo (Kfir 1997, Melo *et al.* 2011). No Brasil, esta espécie foi registrada parasitando pupas de *Diatraea saccharalis* (Fabric.) (Lepidoptera: Crambidae) (Vargas *et al.* 2011, Cruz *et al.* 2011) e *P. xylostella* (Silva-Torres *et al.* 2010, Oliveira *et al.* 2016). Um dos aspectos de *T. howardi* que o torna interessante para o controle biológico de *P. xylostella* é poder ser criá-lo usando pupas de *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (Floriano *et al.* 2018). Dessa forma, favorece a produção em larga escala de *T. howardi* para fins de liberações inundativas, visto que já existe uma técnica amplamente difundida para criação massal de *T. molitor* com baixo custo de produção e que não reduzem a eficiência de seu controle sobre o hospedeiro praga em potencial (Pereira *et al.* 2010). Assim como *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), *T. howardi* também pode ser um hiperparasitoide facultativo (Sullivan & Vlkl 1999) e em condições de laboratório, desenvolve-se em pupas de lepidópteros, coleópteros, dípteros e himenópteros (Kfir *et al.* 1993, Prütz *et al.* 2004).

Adultos de *T. howardi* medem em torno de 2 mm de comprimento e são de coloração escura (Zheng *et al.* 2016). O dimorfismo sexual em *T. howardi* é evidenciado nas antenas, onde as fêmeas apresentam três segmentos das antenas pigmentados, ao passo que nos machos apenas um é pigmentado (La Salle & Polaszek 2007). Outra característica é a cor da coxa e fêmur das pernas anteriores, que nas fêmeas é marrom e nos machos amarelo-claro (González 2004). Quanto às características biológicas, *T. howardi* demonstra preferência por larvas de quarto instar e pupas recém-formadas de *P. xylostella* (dados não publicados). Parasitando *D. saccharalis*, a taxa de emergência foi de 100% e a duração do desenvolvimento foi entre 20 a 33 dias, com razão sexual de 70,44% de fêmeas (Pereira *et al.* 2015). Costa *et al.* (2014), encontraram que a taxa de parasitismo de *T. howardi* aumenta de acordo com o tempo de exposição do hospedeiro às fêmeas do parasitoide em *D. saccharalis*. Portanto, *T. howardi* é uma espécie de parasitoide generalista, mas que poderá ser utilizado em diversos programas de controle biológico tanto natural como aplicado, devido à

ocorrência natural em diferentes agroecossistemas, possui facilidade de produção massal em hospedeiro alternativo e capacidade de parasitismo em diferentes pragas de importância agrícola.

Por fim, é importante salientar que o sucesso de um programa de controle biológico depende, entre outros fatores, da compatibilidade de táticas complementares que são utilizadas no controle da praga em programas de manejo integrado. Assim, em especial para o uso de inseticidas, há a necessidade de harmonia entre as táticas escolhidas, visando à redução efetiva da população da praga, bem como a preservação do ambiente e dos agentes naturais de controle.

### **Seletividade de inseticidas**

A importância e contribuição dos agentes de controle biológico tem sido amplamente difundida entre pesquisadores e agricultores, especialmente em tempos de maior exigência de mercado para atender ao consumidor quanto à qualidade do alimento, sustentabilidade e conservação ambiental. Segundo Stecca (2017), diferentes ferramentas de gestão devem ser utilizadas, entre as quais se destaca o controle biológico no Manejo Integrado de Pragas (MIP) porque é ecologicamente mais sustentável quando comparado aos métodos convencionais como o controle químico. Entretanto, na maioria das vezes apenas o controle biológico não é suficiente para manter as populações de pragas abaixo do nível de dano econômico ao longo de todo o ciclo das culturas. Assim, outros métodos complementares são necessários para que as pragas sejam controladas de forma efetiva. Dentre os métodos de controle que podem ser usados em programas de manejo integrado, o controle químico ainda é o mais utilizado para salvaguardar rendimentos lucrativos (Bueno *et al.* 2017).

Sob essa perspectiva, na maioria dos casos, o impacto potencial com o uso indiscriminado de inseticidas nos diferentes componentes ambientais (ou seja, solo, água, atmosfera e biosfera), pode causar contaminação ambiental, bem como vários efeitos colaterais para organismos não-alvo incluindo os polinizadores e agentes de controle biológico (Francesena & Schneider, 2018). Assim,

é primordial a adoção de medidas que possam ter o menor impacto negativo possível sobre organismos não-alvo, ao passo que se obtenha o controle satisfatório das pragas. De acordo com Torres & Bueno (2018), nem o controle químico, nem o biológico agindo isoladamente podem abordar adequadamente os problemas em agroecossistemas com multi-pragas ou contra algumas espécies de pragas altamente prejudiciais e de difícil controle. Nesse sentido, os inimigos naturais nem sempre são suficientes e precisam ser integrados com o uso de inseticidas, onde o controle químico deve ser efetivo contra espécies de pragas-alvo e inofensivos ou ter o menor impacto possível sobre os organismos benéficos (Ramos *et al.* 2018, Wang *et al.* 2019).

Uma contribuição nem sempre considerada do controle biológico de pragas é retardar a evolução da resistência e minimizar o uso de inseticidas visto que os inimigos naturais podem controlar indivíduos resistentes a inseticidas presentes na população, evitando a ressurgência de pragas e surtos de pragas secundárias (Torres & Bueno 2018, Bacci *et al.* 2018). Assim, devido à grande variação na capacidade dos inseticidas de impactar negativamente a escala e as populações dos inimigos naturais, a escolha deve considerar os impactos na abundância e na fenologia sazonal (Mansour *et al.* 2018). Segundo Quesada & Sadof (2019), a seletividade de inseticidas e a separação temporal foram usadas para integrar controle biológico e químico das principais pragas, com o objetivo de melhorar a integração e promover o sucesso do manejo integrado de pragas (Torres & Bueno 2018).

A seletividade de inseticidas é um componente-chave do manejo de pragas pelo uso de inseticidas que não interferem no parasitismo/predação e no crescimento populacional de inimigos naturais combinando controle eficaz de pragas com mínima influência sobre a atividade de espécies benéficas (Ishaaya *et al.* 2007, Goulart *et al.* 2012). Além disso, a seletividade pode ser fisiológica e/ou ecológica. A seletividade ecológica relaciona-se às formas de utilização dos inseticidas de modo a minimizar a exposição do inimigo natural ao produto, enquanto a seletividade fisiológica

consiste no uso de inseticidas que sejam mais tóxicos à praga do que a seus inimigos naturais (Pedigo 1999). Alguns fatores podem alterar a seletividade fisiológica dos inseticidas, por exemplo, ingrediente ativo, modo de ação, formulação, persistência e dosagem do produto (Crespo *et al.* 2002, Duso *et al.* 2020), bem como a resposta intrínseca da espécie de inimigo natural como a capacidade de detoxificação do inseticida tornando-se mais tolerante ou resistente ao inseticida aplicado (Torres & Bueno 2018).

A Organização Internacional para o Controle Biológico e Integrado (IOBC) (<https://www.iobc-wprs.org/>) propôs metodologias para avaliar a seletividade de pesticidas (= inseticidas, fungicidas e etc.) a inimigos naturais, com os resultados obtidos nos testes de seletividade servindo de base para a escolha e utilização de produtos que são letais às pragas, mas com baixo impacto sobre a população de inimigos naturais (Seixas *et al.* 2018, Rakes *et al.* 2021). Existem produtos que são considerados seletivos (Agrofit 2022), mas geralmente o valor desses produtos é consideravelmente superior em comparação a produtos de largo espectro, inviabilizando a escolha em alguns agroecossistemas. Assim, na maioria das vezes o produtor irá utilizar da seletividade ecológica na tentativa de conservação dos inimigos naturais. O conhecimento da seletividade de inseticidas ao parasitoide *T. howardi*, servirá como suporte para o estudo da taxa de mortalidade e sobrevivência desses indivíduos quando expostos a produtos químicos utilizados para o controle de *P. xylostella*.

Apesar do conhecimento já disponível acerca da biologia e dos métodos de criação de *T. howardi* em hospedeiros alternativos, há ainda a necessidade de se estimar parâmetros de crescimento populacional dessa espécie sobre *P. xylostella*, a fim de ampliar o conhecimento acerca do potencial de sua utilização como agente de controle biológico aplicado nos sistemas de cultivo de brássicas. Além disso, pouco se sabe em relação ao impacto de inseticidas utilizados no controle de *P. xylostella* sobre *T. howardi*. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o

potencial reprodutivo de *T. howardi* sobre *P. xylostella* através da tabela de vida de fertilidade, o comportamento de busca e taxa de parasitismos frente ao hospedeiro natal, avaliar os efeitos dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram sobre o parasitoide *T. howardi*, exposto ao resíduo seco desses produtos em diferentes concentrações e efeito no parasitismo. Os resultados desse trabalho irão propiciar informações importantes sobre o potencial de *T. howardi* em controlar *P. xylostella*, bem como direcionar na escolha de produtos seletivos que possam ser usados de forma integrativa para o manejo de pragas de brássicas de forma complementar e compatível ao controle biológico exercido por *T. howardi*.

#### Literatura Citada

- Agboyi, L.K., G.K. Ketoh, O.K.D. Kpindou, T. Martin, I.A. Glitho & M. Tamò. 2020.** Improving the efficiency of *Beauveria bassiana* applications for sustainable management of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in West Africa. *BioControl* 144: 104233.
- Agrofit. 2022.** Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em 25/04/2022.
- Bacci, L., J.F. Rosado, M.C. Picanço, A.H.R. Gonring, T.V. da Silva Galdino & J.C. Martins. 2018.** Failure control of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and selectivity of their natural enemies to different insecticides. *J. Pl. Prot. Res.* 58: 2.
- Baur, M.E., H.K. Kaya & G.S. Thurston. 1995.** Factors affecting entomopathogenic nematode infection of *Plutella xylostella* on a leaf surface. *Entomol. Exp. Appl.* 77: 239–250.
- Baxter, S.W., M. Chen, A. Dawson, J.Z. Zhao, H. Vogel, A.M. Shelton, D.G. Heckel & C.D. Jiggins. 2010.** Mis-spliced transcripts of nicotinic acetylcholine receptor  $\alpha 6$  are associated with field evolved spinosad resistance in *Plutella xylostella* (L.). *PLoS Genet* 6: 1000802.
- Bueno, A.D.F., G.A. Carvalho, A.C.D. Santos, D.R. Sosa-Gómez & D.M.D. Silva, D. M. 2017.** Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. *Ciê. Rural* 47.
- Cai, L.J., L.S. Zheng, Y.P. Huang, W. Xu & M.S. You. 2021.** Identification and characterization of odorant binding proteins in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Insect Sci* 28: 987–1004.

- Charleston, D.S. & R. Kfir. 2000.** The possibility of using Indian mustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa. *Crop. Protec.* 19: 455–460.
- Cherry, A.J., G. Mercadier, W. Meikle, M. Castelo-Branco, S. Schroer. 2004.** The role of entomopathogens in DBM biological control. P. 51-70 pp. In: A.A. Kirk, A.A. & D. Bordat (Eds.), *Improving Biocontrol of Plutella xylostella*. Proc. Int. Symp., Montpellier, France, CIRAD 273p.
- Cock, C., P.G. Mason, T. Haye & N. Cappuccino. 2021.** Determining the host range of *Diadromus collaris* (Grav.) (Hymenoptera: Ichneumonidae), a candidate biological control agent for diamondback moth *Plutella xylostella* Linnaeus (Lepidoptera: Plutellidae) in Canada. *Biocontrol* 161: 104705.
- Costa, D.P., F.F. Pereira, S.O. Kassab, C. Rossoni, P.L. Pastori & J.C. Zanuncio. 2014.** *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) in different densities and periods of parasitism on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) caterpillars. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 107: 961–966.
- Crespo, A.L.B., M.C. Picanço, L. Bacci, E.J.G. Pereira & A.H.R. Gonring. 2002.** Insecticide physiological selectivity to Vespidae predators of *Ascia monuste orseis*. *Pesqu. Agropec. Bras.* 37: 237–242.
- Cruz, I., A.C. Redoan, R.B. Silva, M.L.C. Figueiredo & A.M. Penteado-Dias. 2011.** New record of *Tetrastichus howardi* (Olliff) as a parasitoid of *Diatraea saccharalis* (Fabr.) *Sci. Agric.* 68: 252–254.
- Delvare G. 2004.** The taxonomic status and role of hymenoptera in the biological control of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), 32: 17–49. In: A.A. Kirk, A.A. & D. Bordat (Eds.), *Improving Biocontrol of Plutella xylostella*. Proc. Int. Symp., Montpellier, France, CIRAD273p.
- Denlinger, D.L. & R.E. Lee, Jr. 2010.** *Low temperature biology of insects*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 22p.
- Duso, C., T. Van Leeuwen & A. Pozzebon. 2020.** Improving the compatibility of pesticides and predatory mites: Recent findings on physiological and ecological selectivity. *Curr. Opin. Insect Sci.* 39: 63–68.
- Ferreira, S.W., R. Barros & J.B. Torres. 2003.** Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdj.) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neot. Entomol.* 32: 407–411.
- Floriano, T.E., P.F. Fagundes, K.S. Oliveira, C.C.R. Garcia & Z.J. Cola. 2018.** Biological quality of *Tetrastichus howardi* (Hym.: Eulophidae) reared with *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae) pupae after storage at low temperatures for different periods. *PeerJ* 6: 2686.

- Francesena, N. & M.I. Schneider. 2018.** Selectivity assessment of two biorational insecticides, azadirachtin and pyriproxyfen, in comparison to a neonicotinoid, acetamiprid, on pupae and adults of a Neotropical strain *Eretmocerus mundus* Mercet. *Chemosphere* 206: 349–358.
- Furlong, M.J., D.J. Wright & L.M. Dosdall. 2013.** Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annu. Rev. Entomol.* 58: 517–541.
- Gao, Y., K. Kim, D.H. Kwon, I.H. Jeong, J.M. Clark & S.H. Lee. 2018.** Transcriptome-based identification and characterization of genes commonly responding to five different insecticides in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 144: 1–9.
- Gautam, M.P., H. Singh, S. Kumar, V. Kumar, G. Singh & S.N. Singh. 2018.** Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae) a major insect of cabbage in India: A review. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6: 1394–1399.
- Golizadeh, A., K. Kamali, Y. Fathipour & H. Abbasipour. 2009.** Effect of temperature on life table parameters of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *J. Asia-Pac. Entomol.* 12: 207–212.
- González, J.F.A. 2004.** Estudios bioecológicos, reproducción artificial y liberación de *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoide pupal de *Diatraea saccharalis* (Fab.) en Cuba. Tese (Doctor en Ciencias Agrícolas) – Universidad Central de Las Villas, Santa Clara – Cuba. 176p.
- Goulart, R.M., H.X. Volpe, A.M. Vacari, R.T. Thuler & S.A. De Bortoli. 2012.** Insecticide selectivity to two species of *Trichogramma* in three different hosts, as determined by IOBC/WPRS methodology. *Pest. Manag. Sci.* 68: 240–244.
- Harcourt, D.G. 1957.** Biology of the diamondback moth, *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera: Plutellidae), in Eastern Ontario. II. Life-history, behaviour, and host relationship. *Can. Entomol.* 12: 554–564.
- Hokkanen, H.M. 1991.** Trap cropping in pest management. *Ann. Rev. Entomol.* 36: 119–138.
- Huang, X., X. Quan, X. Wang, Y. Yun & Y. Peng. 2018.** Is the spider a good biological control agent for *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)? *Inter. J. Zool.* 35p.
- Ishaaya, I., A. Barazani, S. Kontsedalov & A.R. Horowitz. 2007.** Insecticides with novel modes of action: mechanism, selectivity and cross-resistance. *Entomol. Res.* 37: 148–152.
- Juric, I., W. Salzburger & O. Balmer. 2017.** Spread and global population structure of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its larval parasitoids *Diadegma semiclausum* and *Diadegma fenestrale* (Hymenoptera: Ichneumonidae) based on mtDNA. *Bull. Entomol. Res.* 107: 155–164.

- Justus, K.A., L.M. Dosdall & B.K. Mitchell. 2000.** Oviposition by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and effect of phylloplane waxiness. J. Econ. Entomol. 93: 1152–1159.
- Kfir, R. 1997.** Natural control of the cereal stemborers *Busseola fusca* and *Chilo partellus* in South Africa. In: J. Trop. Insect Sci. 17: 61-67.
- Kfir, R., J. Gouws & S.D. Moore. 1993.** Biology of *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae): a facultative hyperparasitoid of stem borers. Biocontrol Sci. Techn. 3: 149–159.
- La Salle, J & A. Polaszek. 2007.** Afrotropical species of the *Tetrastichus howardi* species group (Hymenoptera: Eulophidae). African Entomol. 15: 45–56.
- Li Z., X. Feng, S.S. Liu, M. You & M.J. Furlong. 2016.** Biology, ecology, and management of the diamondback moth in China. Annu. Rev. Entomol. 61: 277–296.
- Li, X., B. Li & L. Meng. 2019.** Oviposition strategy for superparasitism in the gregarious parasitoid *Oomyzus sokolowskii* (Hymenoptera: Eulophidae). Bull. Entomol. Res. 109: 221-228.
- Li, Z.Y., M.P. Zalucki, H.L. Bao, H.Y. Chen, Z.D. Hu, D.Y. Zhang, Q.S. Lin, F. Yin, M. Wang & X. Feng. 2012.** Population dynamics and ‘outbreaks’ of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in Guangdong province, China: climate or the failure of management? J. Econ. Entomol. 105: 739–752.
- Lira, R., D.V. Nascimento, J.B. Torres & H.A.A. Siqueira. 2019.** Predation on diamondback moth larvae and aphid by resistant and susceptible lady beetle, *Eriopis connexa*. Neot. Entomol. 48: 909–918.
- Liu, S., F.Z. Chen & M.P. Zalucki. 2002.** Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. Environ. Entomol. 31: 221–231.
- Liu, X., G.H. Abro, F. Han, J. Tian, M. Chen, D. Onstad & A.M. Shelton. 2015.** Effect of Bt broccoli and resistant genotype of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on life history and prey acceptance of the predator *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). Biocontrol. 91: 55–61.
- Ma, J., D. Li, M. Keller, O. Schmidt & X. Feng. 2005.** A DNA marker to identify predation of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Nabis kinbergii* (Hem., Nabidae) and *Lycosa* sp. (Aranaea, Lycosidae). J. App. Entomol. 129: 330–335.
- Mansour, R., L.P. Belzunces, P. Suma, L. Zappalà, G. Mazzeo, K. Grissa-Lebdi & A. Biondi. 2018.** Vine scale and scale insect pest control based on synthetic chemicals. Agron. Sustain. Dev. 38: 1–20.

- Marchioro, C.A. & L.A. Foerster. 2016.** Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Rev. Bras. Entomol.* 60: 328–333.
- Marchioro, C.A., & L.A. Foerster. 2011.** Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a function of temperature: effect on the number of generations in tropical and subtropical regions. *Neot. Entomol.* 40: 533–541.
- Massarolli, A., B. da Silva Santos, R.A. de Souza, A. Regina, M.J.B.P. Butnariu, M.O. Moura & L.A. Foerster. 2021.** Oviposition preference of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and parasitism by *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in collard green. *Braz. J. Agr. Vet.*, 96: 408–424.
- McEwen, P.K., T.R. New & A.E. Whittington. 2001.** Lacewings in the Crop Environment. Cambridge University Press, New York, 45p.
- Melo, R.L., D. Pratissoli, R.A. Polanczyk, M. Tavares, A.M. Milanez & D.F. Melo. 2011.** Ocorrência de *Trichospilus diatraeae* (Hym.: Eulophidae) em broca-das-cucurbitáceas, no Brasil. *Hortic. Bras.* 29: 228–230.
- Moreno, A., & A. Vilorio. 2020.** Variation in hindwing size and shape of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Shill.. Rev. Lepidop..* 48: 709–714.
- Mosiane, S.M., R. Kfir & M.H. Villet. 2003.** Seasonal phenology of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), and its parasitoids on canola, *Brassica napus* (L.), in Gauteng province, South Africa. *African Entomol.y.* 11: 277–285.
- Nascimento, D.V., R. Lira, E.K. Ferreira & J.B. Torres. 2021.** Performance of the aphidophagous coccinellid *Eriopis connexa* fed on single species and mixed-species prey. *Biocontrol Sci. Technol.* 31: 951–963.
- Nunes, G.D.S., T.A.V. Dantas, M.D.S. de Souza, I.N. do Nascimento, J. de Luna Batista & J.B. Malaquias. 2019.** Life stage and population density of *Plutella xylostella* affect the predation behavior of *Euborellia annulipes*. *Entomol. Exp. Appl.* 167: 544–552.
- Oliveira, H.N., J. Simonato, D.F. Glaeser & F. Fagundes Pereira. 2016.** Parasitism of *Helicoverpa armigera* pupae (Lepidoptera: Noctuidae) by *Tetrastichus howardi* and *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae). *Ciê. Agr.* 37:1
- Passos, D.A., C.S.A. Silva-Torres & H.A.A. Siqueira. 2020.** Behavioral response and adaptive cost in resistant and susceptible *Plutella xylostella* to Chlorantraniliprole. *Bull. Entomol. Res.* 110: 96–105.
- Pedigo, L.P. 1999.** Entomologia e manejo de pragas. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 691p.

- Pereira, F.F., J.C. Zanuncio, J.E. Serrão, T.V. Zanuncio, D. Pratissoli, & P.L. Pastori. 2010.** The density of females of the *Palmistichus elaeisis* (Delv.) (Hymenoptera: Eulophidae) affects their reproductive performance on pupae of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). An. Acad. Bras. Cienc. 82: 1–9.
- Pereira, F.F., S.O. Kassab, V.R.F. Calado, E.L. Vargas, H.N.D. Oliveira & J.C. Zanuncio. 2015.** Parasitism and emergence of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) larvae, pupae and adults. Fla. Entomol. 98: 377–380.
- Prütz, G., A. Brink & K. Dettner. 2004.** Transgenic insect-resistant corn affects the fourth trophic level: effects of *Bacillus thuringiensis*-corn on the facultative hyperparasitoid *Tetrastichus howardi*. Naturwissenschaften 91: 451–454.
- Quesada, C.R. & C.S. Sadof. 2019.** Field evaluation of insecticides and application timing on natural enemies of selected armored and soft scales. Biocontrol. 133: 81–90.
- Rakes, M., R.A. Pasini, M.C. Moraes, M.B. Araújo, J. de Bastos Pazini, E.J. Seidel & A.D. Grützmacher. 2021.** Pesticide selectivity to the parasitoid *Trichogramma pretiosum*: A pattern 10-year database and its implications for Integrated Pest. Manag.. Ecot.. Environ. Saf. 208: 111504.
- Ramos, R.S., V.C. de Araújo, R.R. Pereira, J.C. Martins, O.S. Queiroz, R.S. Silva & M.C. Picanço. 2018.** Investigation of the lethal and behavioral effects of commercial insecticides on the parasitoid wasp *Copidosoma truncatellum*. Chemosphere 191: 770–778.
- Reddy, G.V.P., E. Tabone & M.T. Smith. 2004.** Mediation of host selection and oviposition behavior in the diamondback moth *Plutella xylostella* and its predator *Chrysoperla carnea* by chemical cues from cole crops. Biocontrol. 29: 270–277.
- Roger, C., D. Coderre & G. Boivin. 2000.** Differential prey utilization by the generalist predator *Coleomegilla maculata* lengi according to prey size and species. Entomol. Exp. Appl. 94: 3–13.
- Sarfraz, M., A.B. Keddie & L.M. Dosdall. 2005.** Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. Bio. Sci.Tech. 15: 763–789.
- Seixas, P.T.L., A.J. Demuner, E.S. Alvarenga, L.C.A. Barbosa, A. Marques, E.D.S. Farias & M.C. Picanço. 2018.** Bioactivity of essential oils from *Artemisia* against *Diaphania hyalinata* and its selectivity to beneficial insects. Sci. Agrar. 75: 519–525.
- Silva-Torres, C.S.A., I.V.A.F. Pontes, J.B. Torres & R. Barros. 2010.** New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. Neot. Entomol. 5: 835–838.

- Sithole, R., B. Löhr & P. Tagwireyi. 2017.** The influence of temperature on life history traits of *Diadegma mollipla* (Hymenoptera: Ichneumonidae), an African parasitoid of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol*. 62: 603–612.
- Soufbaf, M., Y. Fathipour, M.P. Zalucki & C. Hui. 2012.** Importance of Primary Metabolites in Canola Mediating Interactions between a Specialist Leaf-feeding Insect and its Specialist Solitary Endoparasitoid. *Arthropod-Pl. Inte.* 6: 241–250.
- Stecca, C.D.S., D.M. da Silva, A.D.F. Bueno, A. Pasini, M.D. Denez & K. Andrade. 2017.** Selectivity of insecticides used in soybean crop to the predator *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). *Ciênc. Agrár.* 38: 3469–3480.
- Steinbach, D., G. Moritz & R. Nauen. 2017.** Fitness costs and life table parameters of highly insecticide-resistant strains of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) at different temperatures. *Pest. Manag. Sci.* 73: 1789–1797.
- Stemele, M.A. 2017.** Comparative effects of a selective insecticide, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* and the broad-spectrum insecticide cypermethrin on diamondback moth and its parasitoid *Cotesia vestalis* (Hymenoptera; Braconidae). *Crop. Prot.*, 101: 35–42.
- Suenaga, H. & T. Hamamura. 2015.** Effects of manipulated density of the wolf spider, *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae), on pest populations and cabbage yield: a field enclosure experiment. *Appl. Entomol. Zool.* 50: 89–97.
- Sullivan, D.J & W. Vukl. 1999.** Hyperparasitism: multitrophic ecology and behavior. *Annu. Rev. Entomol.* 44: 291–315.
- Sun, B.T., K.S. Akutse, X.F. Xia, J.H. Chen, X. Ai, Y. Tang & M.S. You. 2018.** Endophytic effects of *Aspergillus oryzae* on radish (*Raphanus sativus*) and its herbivore, *Plutella xylostella*. *Planta*. 32: 1–10.
- Syed, T.S., G.H. Abro, M.A. Shaikh, B. Mal & A.M. Shelton. 2018.** Parasitism of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in Southern Pakistan. *Fla. Entomol.* 101: 172–177.
- Tajmiri, P., S.A.A. Fathi, A. Golizadeh & G. Nouri-Ganbalani. 2017.** Strip-intercropping canola with annual alfalfa improves biological control of *Plutella xylostella* (L.) and crop yield. *Int J. Trop. Insect Sci.* 37: 208–216.
- Talekar, N.S. & A.M. Shelton. 1993.** Biology, ecology and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 275–301.
- Torres, J.B. & A.D.F. Bueno. 2018.** Conservation biological control using selective insecticides—a valuable tool for IPM. *Biocontrol* 126: 53–64.
- Truong, D.H., H.C. Nguyen, J. Bauwens, G. Mazzucchelli, G. Lognay & F. Francis. 2018.** Plant defense in response to chewing insects: proteome analysis of *Arabidopsis thaliana* damaged by *Plutella xylostella*. *J. Pl. Inter.* 13: 30–36.

- Uefune, M., K. Shiojiri & J. Takabayashi. 2017.** Oviposition of diamondback moth *Plutella xylostella* females is affected by herbivore-induced plant volatiles that attract the larval parasitoid *Cotesia vestalis*. *Arthr. Pl. Interac.* 11: 235–239.
- Ulmer, B., C. Gillott, D. Woods & M. Erlandson. 2002.** Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), feeding and oviposition preferences on glossy and waxy *Brassica rapa* (L.) lines. *Crop. Prot.* 21: 327–331.
- Van Lenteren, J.C., K. Bolckmans, J. Köhl, W.J. Ravensberg & A. Urbaneja. 2018.** Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *Biocontrol.* 63: 39–59.
- Vargas, E.L., F.F Pereira, M.T. Tavares & P.L. Pastori. 2011.** Record of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Diatraea* sp. (Lepidoptera: Crambidae) in sugarcane crop in Brazil. *Entomotropical* 26: 135–138.
- Verkerk, R.H.J. & D.J. Wright. 1996.** Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review. *Bull. Entomol. Res.* 86: 205–216.
- Wang, X., Y. Ma, F. Wang, Y. Yang, S. Wu & Y. Wu. 2020.** Disruption of nicotinic acetylcholine receptor  $\alpha 6$  mediated by CRISPR/Cas9 confers resistance to spinosyns in *Plutella xylostella*. *Pest. Manag. Sci.* 76: 1618–1625.
- Wang, X.G. & S.S. Liu. 2002.** Effects of host age on the performance of *Diadromus collaris*, a pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. *Biocontrol* 47: 293–307.
- Wang, Z., P. Dai, X. Yang, C.C. Ruan, A. Biondi, N. Desneux & L.S. Zang. 2019.** Selectivity of novel and traditional insecticides used for management of whiteflies on the parasitoid *Encarsia formosa* *Pest. Manag. Sci.* 75: 2716–2724.
- Waterhouse D.F. 1992.** Biological control of diamondback moth in the Pacific, 10-14pp. In Talekar NS [ed.] *Diamondback Moth and Other Crucifer Pests. Proceedings of the Second International Workshop.* AVegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan. 234p
- Xia, X., B. Sun, G.M. Gurr, L. Vasseur, M. Xue & M. You. 2018.** Gut microbiota mediate insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Front Biosci.* 9: 25.
- You, M., F. Ke, S. You, Z. Wu, Q. Liu, W. He & M. Zhuang. 2020.** Variation among 532 genomes unveils the origin and evolutionary history of a global insect herbivore. *Nat. Commun.* 11: 1–8.
- Zafar, J., R.F. Shoukat, Y. Zhang, S. Freed, X. Xu & F. Jin. 2020.** *Metarhizium anisopliae* challenges immunity and demography of *Plutella xylostella*. *Insects* 11: 694.

- Zago, H.B., D. Pratissoli, R. Barros, M.G. Gondim Jr & H.D. Santos Jr. 2007.** Capacidade de parasitismo de *Trichogramma pratissolii* Querino and Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em hospedeiros alternativos, sob diferentes temperaturas. Neot. Entomol. 36: 84–89.
- Zago, H.B., R. Barros, J.B. Torres & D. Pratissoli. 2010.** Distribuição de ovos de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e o parasitismo por *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Neot. Entomol. 39: 241–247.
- Zalucki, M.P., A. Shabbir, R. Silva, D. Adamson, S.S. Liu & M.J. Furlong. 2012.** Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella*: Just how long is a piece of string? J. Econ. Entomol. 105: 1115–1129.
- Zhang, P.J., Y.B. Lü, M.P. Zalucki & S.S. Liu. 2012.** Relationship between adult ovi-position preference and larval performance of the diamondback moth, *Plutella xylostella*. J. Pest. Sci. 85: 247–252.
- Zheng, Y., L. Zheng, Y. Liao & W. Wu. 2016.** Sexual dimorphism in antennal morphology and sensilla ultrastructure of a pupal endoparasitoid *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae). Microsc. Res. Tech. 79: 374–384.

634

635 **CAPÍTULO 2**

636 DESEMPENHO E RESPOSTA OLFATIVA DE *Tetrastichus howardi* (OLLIFF)

637 (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARASITANDO *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA:

638 PLUTELLIDAE) <sup>1</sup>

639

640

641 RIAN J. S. S. MORAES<sup>1</sup>

642

643 <sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois

644 Irmãos, Recife - PE, 52171-900.

645

646

647

648

649

650

651

652

653

---

654

655 <sup>1</sup>Moraes, R.J.S.S. Resposta olfativa e desempenho de *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera:

656 Eulophidae) parasitando *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). A ser submetido.

657

RESUMO – *Tetrastichus howardi* (Olliff) parasita a traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.), mas pouco se sabe sobre o potencial de controle. Este parasitoide tem metodologia de criação massal estabelecida sobre pupas do hospedeiro alternativo, *Tenebrio molitor* (L.), visando liberação em campo para manejo de algumas espécies de Lepidopteras. O potencial de crescimento populacional de parasitoides pode ser medido através de tabelas de vida de fertilidade que fornecem informações que darão suporte ao uso de *T. howardi* para manejo de *P. xylostella*. Além disso, desempenho e comportamento de *T. howardi* criado em hospedeiro alternativo podem ser indicativos do potencial de controle de *P. xylostella*. Assim, este estudo determinou parâmetros de tabela de vida de fertilidade de *T. howardi* parasitando *P. xylostella*, bem como efeito do hospedeiro natal sobre o comportamento de *T. howardi* frente voláteis dos hospedeiros e taxa de parasitismo. Resultados mostraram que taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ) de *T. howardi* parasitando *P. xylostella* foram 13,6 ( $\text{♀}/\text{♀}$ ) e 0,124 ( $\text{♀}/\text{♀} \cdot \text{dia}$ ), respectivamente, enquanto o tempo médio de geração foi 20,9 dias. Além disso, o hospedeiro natal (*T. molitor* ou *P. xylostella*) não influenciou o desempenho reprodutivo, taxa de parasitismo e resposta olfativa de *T. howardi*. No geral, independente do hospedeiro natal fêmeas do parasitoide responderam aos voláteis de ambos hospedeiros não afetando parasitismo de *P. xylostella*. Portanto, resultados demonstram que *T. howardi* criado no hospedeiro alternativo mantém atração e potencial de parasitismo sobre *P. xylostella* e poderá contribuir no controle biológico dessa praga.

PALAVRAS-CHAVE: Controle biológico, parasitoide larva-pupa, parasitismo.

OLFACTION RESPONSE AND FITNESS OF *Tetrastichus howardi* (OLLIFF)  
(HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) PARASITIZING *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA:  
PLUTELLIDAE)<sup>1</sup>

ABSTRACT – *Tetrastichus howardi* (Olliff) parasitizes the diamond back moth *Plutella xylostella* (L.), but not much is known about its control potential. This parasitoid has an established rearing protocol on pupae of the alternative host *Tenebrio molitor* (L.), aiming field release to manage some lepidopteran species. The potential population growth of a parasitoid can be measured through fertility life-tables and provide support information to use *T. howardi* in the management of *P. xylostella* (L.). Also, the fitness and behavior of *T. howardi* reared on a factitious host can be indicators of its potential to control *P. xylostella*. Thus, in this study the fertility life-table parameters of *T. howardi* parasitising *P. xylostella* were determined, as well as the effects of the natal host on the behavior of *T. howardi* towards host volatiles and parasitism rate. The results showed that net reproduction rate ( $R_0$ ) and the intrinsic rate of population growth ( $r_m$ ) of *T. howardi* parasitizing *P. xylostella* were 13.6 ( $\text{♀}/\text{♀}$ ) and 0.124 ( $\text{♀}/\text{♀} \cdot \text{day}$ ), respectively, whereas the mean generation time was 20.9 days. Moreover, the natal host (*T. molitor* or *P. xylostella*) did not affect the fitness, parasitism rate and olfactory response of *T. howardi*. In general, regardless of the natal host, parasitoid females responded to volatiles of either hosts and did not affect parasitism rate on *P. xylostella*. Therefore, the results show that *T. howardi* reared on the alternative host maintains its attraction and potential to parasitize *P. xylostella*, and can contribute to the biological control of this pest.

KEY WORDS: Biological control, larva-pupa parasitoid, parasitism.

## Introdução

Várias espécies de insetos predadores e parasitoides contribuem para manejo de pragas (Stenberg *et al.* 2021). Dentre elas, *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) um endoparasitoide gregário de diferentes espécies de Lepidoptera. (Prasad *et al.* 2007, Floriano *et al.* 2018, Pereira *et al.* 2021) que possui metodologia estabelecida para criação massal em laboratório sobre hospedeiro alternativo, *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (Ferreira *et al.* 2016, Floriano *et al.* 2018). Ademais, resultados sobre aspectos biológicos de *T. howardi* sob diferentes condições de temperatura, disponibilidade de alimento e tipos de hospedeiro, tem sido disponibilizado (Kfir *et al.* 1993, González 2004, Favero *et al.* 2015, Ferreira *et al.* 2016, Lucchetta 2016, Floriano *et al.* 2018, Favoreto *et al.* 2020). Outrossim *T. howardi* é parasitoide natural de lagartas e pupas da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), em cultivos de brássicas no Agreste de Pernambuco (Silva-Torres *et al.* 2010). Contudo, não tem informações sobre aspectos biológicos, comportamentais e potencial de controle dessa praga por *T. howardi*. Nesse contexto, devido ao bom desempenho do parasitoide sobre larvas e pupas de outras espécies de Lepidoptera e possibilidade de criá-lo em grande quantidade em hospedeiros alternativos, *T. howardi* pode ser adicional para controle biológico de pragas chave como *P. xylostella* (Silva-Torres *et al.* 2010) e *Diatraea* spp. (Rodrigues *et al.* 2021).

A determinação dos parâmetros de crescimento populacional é importante na seleção e avaliação de inimigos naturais. Estes, auxiliam na compreensão da dinâmica populacional do inimigo natural frente ao inseto-praga e são usados para estimar o real potencial de agente de controle biológico de controlar determinada praga (Lins *et al.* 2011, Pedro *et al.* 2018). Nesse contexto, tabela de vida de fertilidade é utilizada para reunir dados da biologia da espécie, que permite inferir sobre o crescimento populacional e fornece informações básicas relativo com a

história de vida da espécie (Soufbaf *et al.* 2018). Estudos de tabela de vida de fertilidade avaliam a natalidade, sobrevivência, mortalidade, reprodução e capacidade de crescimento populacional do organismo (Southwood & Henderson 2000). Em determinadas condições ambientais como temperatura, qualidade do alimento, tipos de hospedeiros, dentre outros (Golizadeh *et al.* 2009). Resultados podem ser usados na gestão da criação massal de insetos em laboratório, preferencialmente com baixo custo e alto desempenho biológico (Carey 1993, Hondo *et al.* 2006, Qu *et al.* 2017, Hoffmann Schlesener *et al.* 2018).

A *P. xylostella* é considerada principal praga das brássicas, por ser amplamente distribuída no globo, apresentar alto potencial reprodutivo, migração (Sun *et al.* 2018, Zalucki *et al.* 2012, Etebari *et al.* 2018) e apresenta populações resistentes a todas classes de inseticidas sintéticos disponíveis para manejo (<https://www.pesticideresistance.org/>) e pode causar até 100% de perda de rendimento (Li *et al.* 2016). Portanto, múltiplas táticas de controle são fundamentais para manejo de *P. xylostella*, sendo controle biológico com parasitoides uma possibilidade viável e sustentável. Pela ocorrência natural de *T. howardi* sobre *P. xylostella* (Silva-Torres *et al.* 2010), estudos preliminares mostraram que fêmeas emergidas de pupas de *T. molitor*, exerceram alta taxa de parasitismo de lagartas e pupas de *P. xylostella*, acarretando 100% de mortalidade. Contudo, o parasitismo não resultou em produção de descendentes (dados não publicados). É possível que alguns fatores fisiológicos (ex. defesas) e/ou morfológicos (ex. tamanho) possam ter afetado o desempenho de *T. howardi* em *P. xylostella*, se o hospedeiro natal de criação for *T. molitor*. Em campo, a viabilidade do parasitismo pode ser decorrente do uso de lagartas e pupas maiores ou apenas algumas lagartas ou pupas de maior tamanho oferecem condições para desenvolvimento e produção de descendentes, enquanto lagartas e pupas menores são mortas, o que merece estudos de relação parasitoide- hospedeiro, apesar que o resultado final será a morte da praga.

O comportamento do parasitoide também pode afetar o potencial de controle biológico (Heimpel 2019), pistas químicas olfativas são importantes para auxiliar no processo de busca, localização, reconhecimento e aceitação do hospedeiro, além de induzir o comportamento de parasitismo mesmo na ausência do hospedeiro (Vinson 1976). Desta maneira, propomos nesse estudo as hipóteses de que a escolha do hospedeiro pelo parasitoide adulto, como local de desenvolvimento da larva (hospedeiro natal) e pistas químicas detectadas pela larva durante desenvolvimento e pelo adulto no momento da emergência a partir de hospedeiro parasitado (Jaenike 1983, Corbet 1985, Silva-Torres *et al.* 2005). Contudo, nenhum desses aspectos foi investigado em relação ao comportamento de *T. howardi* frente a *P. xylostella*. Diante do exposto, fazem necessárias informações sobre os fatores de crescimento populacional do parasitoide *T. howardi* sobre larvas e pupas de *P. xylostella*, bem como determinar se o hospedeiro natal pode interferir no comportamento de busca e parasitismo, a fim de verificar real potencial de utilização no manejo dessa praga. Assim, os objetivos desse estudo foram: i) avaliar os fatores da tabela de vida de fertilidade de *T. howardi* parasitando *P. xylostella* em condições de laboratório, ii) estimar o número de gerações de *T. howardi* por ano levando-se em consideração as condições ambientais do Agreste de Pernambuco onde esse parasitoide foi encontrado parasitando *P. xylostella* e iii) avaliar se o hospedeiro natal de *T. howardi* afeta o seu comportamento e taxa de parasitismo de *P. xylostella*.

## Material e métodos

**Insetos.** Larvas e pupas de *P. xylostella* foram coletados no município de Chã Grande – PE (latitude 08° 14'18" e longitude 35° 27'42") e estabelecida a criação no Laboratório de Comportamento de Insetos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Por outro lado, a população de *T. howardi* foi estabelecida a partir de insetos fornecidos pelo Laboratório de Ecologia e Controle

774 Biológico de Insetos da mesma instituição, proveniente de criação cedida pelo LECOBIO  
775 (Laboratório de Controle Biológico de Insetos, UFGD, Dourados, MS). Ambas criações foram  
776 mantidas em sala climatizada regulada a  $25 \pm 1$  °C, umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de  
777 12 horas.

778 A criação de *P. xylostella* seguiu recomendações descritas por Barros & Vendramim (1999),  
779 sendo larvas mantidas em gaiolas plásticas, alimentadas até a fase de pupa com folhas de couve  
780 orgânica (*B. oleracea* var. manteiga) ofertadas diariamente. Pupas foram transferidas para tubos de  
781 vidro e mantidas até emergência dos adultos, os quais foram transferidos para gaiolas de criação.  
782 As gaiolas são recipientes plástico circular (1000 ml de volume) contendo abertura lateral para  
783 ventilação interna. Adultos de *P. xylostella* foram alimentados com solução aquosa de mel ofertado  
784 em esponja umedecida no topo da gaiola. Como substrato para oviposição foi disponibilizado folha  
785 de couve, sendo esta substituída diariamente para coleta das posturas do dia anterior.

786 A criação de *T. molitor* foi mantida em bandejas plásticas de (45 × 30 × 12 cm), sendo  
787 insetos alimentados com farelo de trigo (95%), levedo de cerveja (5%) e pedaços de cenoura e cana-  
788 de-açúcar fornecidos como fontes de umidade para larvas até pupação. Em seguida, pupas foram  
789 usadas para criação do parasitoide (Zamperline *et al.* 1992, Rodrigues *et al.* 2021).

790 Na criação dos parasitoides, foram utilizados dois hospedeiros diferentes: a) hospedeiro  
791 natural: larvas de *P. xylostella* no último instar e b) hospedeiro alternativo: pupas de *T. molitor* ( $\leq$   
792 48 h). A criação sobre *T. molitor* foi mantida de acordo com metodologia proposta por Floriano *et*  
793 *al.* (2018). Pupas de *T. molitor* foram individualizadas em tubos de vidro (22 × 15 cm), contendo  
794 gotículas de mel na parede interna do tubo como alimento, o qual foi fechado com fechados com  
795 algodão. O parasitismo foi realizado com cinco fêmeas de *T. howardi* por pupa durante 24 horas de  
796 exposição. Pupas parasitadas foram mantidas nas condições previamente especificadas até  
797 emergência dos parasitoides (Pereira *et al.* 2015).

Para criação de *T. howardi* sobre *P. xylostella*, foi adaptada metodologia proposta por Silva-Torres *et al.* (2009). Assim, adultos do parasitoide ( $\leq 48$  h de idade) foram mantidos em frascos de vidro transparentes fechados com tecido fino preso com fita elástica. Diariamente 30 larvas de terceiro instar de *P. xylostella* foram oferecidas ao parasitoide e permaneceram expostas ao parasitismo sobre disco de folha de couve orgânica até atingirem a fase de pupa. Na parede dos frascos também foi ofertado filete de solução de mel a 10%. Após formação das pupas foram transferidas para tubos de vidro de fundo arredondado ( $1,6 \times 10$  cm), fechados com chumaço de algodão e mantidas até emergência dos adultos do parasitoide.

**Teste 1. - Tabela de Vida de Fertilidade de *Tetrastichus howardi* sobre *Plutella xylostella*.** Pupas de *P. xylostella* foram ofertadas diariamente às fêmeas do parasitoide provenientes do hospedeiro alternativo *P. xylostella* ou *T. molitor*. Assim, dois tratamentos foram estabelecidos correspondente aos parasitoides provenientes de cada hospedeiro natal e recebendo pupas recém-formadas de *P. xylostella*, com 30 repetições cada. Fêmeas do parasitoide com 24 h de idade e acasaladas, foram isoladas em tubos de vidro ( $1,6 \times 10$  cm) e receberam diariamente uma pupa de *P. xylostella*, além de filete de mel como alimento, até sua morte. A cada 24 h de exposição ao parasitismo, pupas de *P. xylostella* foram substituídas até a morte da fêmea do parasitoide. O período de desenvolvimento (da exposição ao parasitismo até emergência do adulto do parasitoide), número de descendentes produzidos por hospedeiro parasitado, razão sexual dos descendentes e mortalidade diária dos adultos foram registrados. A partir desses dados, parâmetros da tabela de vida de fertilidade: tempo médio de geração (T, dias), taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) e taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ) foram calculados através do Proc Lifetest do SAS (SAS Institute 2001), empregando o protocolo escrito por Maia *et al.* (2000). Além disso, curvas de sobrevivência das fêmeas do parasitoide foram calculadas através de análises de sobrevivência empregando o método de Kaplan-Meier sendo as curvas comparadas pelo teste de Log-Rank ( $\alpha = 0,05$ ).

**Número de Gerações** - O número de gerações por ano para o parasitoide *T. howardi* e o hospedeiro *P. xylostella* foi estimado usando a seguinte equação:  $NG = [T (T_m - T_b)/K]$ , onde NG é o número de gerações, T (dias) é o tempo considerado em um ano,  $T_m$  (°C) é a temperatura média mensal,  $T_b$  (°C) é a temperatura limite inferior e K (graus dias) é a constante térmica para desenvolvimento. Assim, os requisitos térmicos para *T. howardi* foram  $T_b = 12,8^{\circ}\text{C}$ ;  $K = 273,6$  graus-dia (Yan *et al.* 2021), enquanto para *P. xylostella* foram  $T_b = 8,9^{\circ}\text{C}$ ;  $K = 299,6$  graus-dias (Ferreira *et al.* 2003). Portanto, esses valores previamente determinados foram usados aqui para estimar o número de gerações anuais tanto para o inimigo natural, como para a praga, com base no tempo anual e na temperatura média ( $T_m$ ) para o município de Chã-Grande, PE, Brasil, local de relato do parasitoide (Silva-Torres *et al.* 2010), bem como da população de *P. xylostella* para este estudo. Os valores de temperatura média foram obtidos do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo, 2020) para o período entre 2011 a 2021.

**Teste 2. - Comportamento de Busca e Taxa de Parasitismo de *Tetrastichus howardi* sobre *Plutella xylostella*.** Fêmeas de *T. howardi* acasaladas e alimentadas, com 48 h de idade, criadas em pupa de *T. molitor* ou *P. xylostella*, foram utilizadas para averiguar a experiência do hospedeiro natal, onde houve o desenvolvimento do parasitoide, influenciaria na escolha da fêmea adulta do parasitoide. Foram estabelecidos dois bioensaios para medir (i) resposta olfativa de *T. howardi* aos odores oferecidos e (ii) taxa de parasitismo sobre *P. xylostella*.

A resposta olfativa (i) foi medida utilizando-se olfatômetro em Y, que consiste de uma placa manufaturada em acrílico ( $26 \times 23$  cm) apresentando na linha mediana uma cavidade em formato de “Y” como descrito por Magalhães *et al.* (2012). Os bioensaios foram conduzidos entre 05:30 e 11:30 h da manhã visto que o parasitoide mostrou mais ativo nesse intervalo de tempo em testes preliminares. A resposta olfativa de *T. howardi* foi avaliada para os tratamentos: i) ar limpo (AR), ii) duas pupas de *T. molitor* (PTM), iii) 12 pré-pupas de *P. xylostella* (PPPX), iv) disco de folha de

couve infestada por 12 lagartas de terceiro instar de *P. xylostella* (FIPX), v) disco de couve sadia (FS). Os tratamentos foram ofertados em câmaras de vidro (50 mL) conectadas a um dos braços pares do tubo em Y através de mangueiras de teflon. Fontes de odores foram ofertadas em cada ‘braço par’ do olfatômetro de forma pareada, contrastando dois tratamentos de cada vez. Bomba de aquário (Resun<sup>®</sup>, modelo AC-1500) foi usada para impulsionar o ar no sistema, que primeiramente passou pelo carvão ativado e pelo umidificador antes de entrar no olfatômetro. O fluxo de ar em cada braço do olfatômetro foi regulado por fluxômetro (0,5 L/min, KI<sup>®</sup>). A saída de ar do olfatômetro foi impulsionada por bomba de sucção, com vazão (1,0 L/min), também regulada por fluxômetro.

Uma fêmea do parasitoide foi liberada no ‘braço ímpar’ do tubo em Y, sendo esta área oposta à entrada de ar. Período de 1 minuto foi permitido para aclimação do inseto dentro do tubo em Y, sendo o primeiro minuto com fluxo de ar desligado e o segundo com fluxo ligado. A resposta do parasitoide foi registrada como positiva quando caminhou pelo menos 3 cm em um dos braços pares do olfatômetro e permaneceu por pelo menos 20 segundos. Cada fêmea foi observada por 10 minutos, registrando-se a primeira escolha e tempo de permanência em cada braço, com 20 repetições por tratamento contrastado. Fêmeas que não responderam em 10 minutos foram substituídas. Os tratamentos ofertados foram alternados a cada cinco repetições e o sistema foi desmontado e lavado após 30 repetições.

Os dados de primeira escolha foram submetidos ao teste não-paramétrico de frequência usando PROC FREQ do SAS seguido por teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0,05$ ), com hipótese nula de não existir diferença entre os dois odores ofertados simultaneamente no olfatômetro (razão 1:1). Para tempo médio de residência do parasitoide em cada braço do olfatômetro, esse foi avaliado pelo teste de t pareado, usando PROC TTEST do SAS (SAS Institute 2001).

O teste para taxa de parasitismo (ii) foi conduzido com fêmeas de *T. howardi* emergidas de *P. xylostella* ou *T. molitor* sobre lagartas, pré-pupas e pupas de *P. xylostella*. Fêmeas do parasitoide foram confinadas com 10 lagartas de terceiro instar, 10 pré-pupas ou 10 pupas de *P. xylostella*, ofertadas simultaneamente, em plantas de couve com aproximadamente 30 dias de idade (4-6 folhas desenvolvidas). Plantas foram infestadas 24 h antes da liberação dos parasitoides e mantidas isoladas em gaiolas de voil (40 × 40 × 50 cm). Em cada gaiola foram liberadas 10 fêmeas do parasitoide, de acordo com respectivo hospedeiro natal. Após 24 h de exposição, fêmeas do parasitoide foram removidas e lagartas e pupas, individualizadas em tubos de vidro para posterior avaliação do parasitismo. Pupas das quais não emergiram parasitoides ou adultos de *P. xylostella* foram dissecadas sob estereomicroscópio para confirmação do parasitismo. Foram conduzidas 30 repetições por hospedeiro natal. Os dados do bioensaio foram verificados quanto à normalidade através do teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade através dos testes de Levene (PROC UNIVARIATE). Em seguida, os dados foram submetidos a análise de variância em esquema fatorial considerando a idade do hospedeiro e hospedeiro natal como fatores principais utilizando-se PROC GLM pelo SAS (SAS Institute 2001).

## Resultados

**Tabela de vida de fertilidade de *Tetrastichus howardi* Parasitando *Plutella xylostella*.** Parasitoide criados em pupas de *T. molitor* apresentaram maior taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) ( $P < 0,013$ ) e taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ) ( $P < 0,003$ ), em comparação aqueles criados sobre *P. xylostella* (Tabela 1). O tempo médio de geração ( $T$ ) ( $P = 0,277$ ) variou de 20,9 a 21,0 dias, não havendo diferença significativa entre tratamentos. A sobrevivência das fêmeas de *T. howardi* foi influenciada pelo hospedeiro natal (Fig 1), onde a longevidade dos parasitoides

emergidos de *T. molitor* viveram mais do que daqueles emergidos de *P. xylostella* ( $\chi^2 = 9,11$ ;  $P < 0,05$ ).

**Número de Gerações.** Com base nas temperaturas médias entre 2011 à 2021 para o município de Chã Grande, PE e exigências térmicas de *T. howardi* e *P. xylostella*, estimou-se que *T. howardi* tem condições de desenvolver em média 1,29 gerações/mês e a *P. xylostella* tem condições de desenvolver em média 1,56 gerações/mês. (Fig 2). Com isso estima-se o número de 19 gerações por ano para *P. xylostella*s e 16 gerações para *T. howardi*.

**Comportamento de Busca e Taxa de Parasitismo de *Tetrastichus howardi* sobre *Plutella xylostella*.** Fêmeas emergidas de *P. xylostella* apresentaram resposta positiva e significativamente maior para odores dos hospedeiros contrastados aos controles FS ou AR (Fig. 3). Não houve diferença significativa na primeira escolha das fêmeas quando expostas às combinações de AR vs FS ( $\chi^2 = 0,10$ ;  $P = 0,75$ ), PPPX vs FLPX ( $\chi^2 = 0,10$ ;  $P = 0,75$ ), PTM versus FLPX ( $\chi^2 = 0,10$ ;  $P = 0,75$ ), PTMvs PPPX ( $\chi^2 = 0,00$ ;  $P = 1$ ).

Similarmente, a primeira escolha de fêmeas de *T. howardi* emergidas de *T. molitor* foi significativamente maior para odores dos hospedeiros em comparação aos controles FS ou AR (Fig. 4). Contudo, não houve diferença entre tratamentos em relação à primeira escolha nos tratamentos AR vs FS ( $\chi^2 = 0,40$ ;  $P = 0,52$ ), PPPX vs FLPX ( $\chi^2 = 0,10$ ;  $P = 0,75$ ), PTM vs PPPX ( $\chi^2 = 0,10$ ;  $P = 0,75$ ), e PTM vs FLPX ( $\chi^2 = 0,00$ ;  $P = 1$ ).

Em relação ao tempo de permanência das fêmeas de *T. howardi*, fêmeas emergidas de *P. xylostella* permaneceram significativamente mais tempo no odor ofertado do hospedeiro em relação aos controles (FS) ou (AR) (Fig. 5), exceto nas combinações AR vs FS ( $\chi^2 = 0,87$ ;  $P = 0,39$ ), PPPX vs FLPX ( $\chi^2 = 0,78$ ;  $P = 0,44$ ), PTM vs FLPX ( $\chi^2 = 0,76$ ;  $P = 0,45$ ) e PTM vs PPPX ( $\chi^2 = 0,50$ ;  $P = 0,96$ ).

O tempo de permanência das fêmeas de *T. howardi* emergidas de *T. molitor*, foi significativamente maior para odores dos hospedeiros em comparação às plantas saudáveis ou ar limpo (Fig. 6). Contudo, não houve diferença entre os tratamentos AR vs FS ( $\chi^2 = 0,90$ ;  $P = 0,38$ ), PPPX vs FLPX ( $\chi^2 = 0,23$ ;  $P = 0,81$ ), PTM vs FLPX ( $\chi^2 = 0,28$ ;  $P = 0,21$ ) e PTM vs PPPX ( $\chi^2 = 0,70$ ;  $P = 0,49$ ).

Independente do hospedeiro natal, pupas de *T. molitor* ou *P. xylostella* no parasitismo de *T. howardi* não foi afetada ( $F_{1,58} = 0,76$ ;  $P = 0,468$ ) Também não se observou efeito do hospedeiro natal quanto ao parasitismo de larvas, pré-pupas e pupas de *P. xylostella* por *T. howardi* ( $F_{2,58} = 0,55$ ;  $P = 0,460$ ), visto que fêmeas do parasitoide oriundas de ambos tratamentos demonstraram maior preferência por pupas comparadas a pré-pupas e larvas de terceiro instar de *P. xylostella*. ( $F_{4,69} = 69,68$ ;  $P < 0,001$ ) (Fig. 7).

### Discussão

Diante dos resultados obtidos neste estudo são os primeiros a demonstrar que *T. howardi* não altera seu potencial de parasitismo de *P. xylostella* nem comportamento de atração para esse hospedeiro quando criado sobre pupas de *T. molitor*. Outros estudos demonstraram que além de pupas de *T. molitor*, pupas de *A. gemmatilis* e *S. frugiperda* (Alvarenga 2020), também têm potencial como hospedeiros alternativos para criação desse parasitoide em laboratório.

Os parâmetros da tabela de vida de fertilidade desse parasitoide demonstram que a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) de *T. howardi* criado em *T. molitor* foi maior em comparação àqueles criados em *P. xylostella*. Essa diferença provavelmente está relacionada ao tamanho do hospedeiro, visto que a pupa de *T. molitor* é em média 185 mg mais pesada que pupas de *P. xylostella*, consequentemente a qualidade e disponibilidade dos recursos nutricionais que são ofertados por cada hospedeiro podem interferir nos parâmetros de crescimento populacional do agente de controle biológico. Com relação à taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ), esta é componente

importante na determinação de parâmetros, pois indica se a espécie será bem sucedida em determinado ambiente ou hospedeiro. (Pedigo & Zeiss 1996, Fernandes *et al.* 2021). Nesse estudo, o hospedeiro natal *T. molitor* permitiu melhor quando comparado a *P. xylostella* para produção de *T. howardi* em laboratório, visto que o parasitoide apresentou nele maior potencial biótico. Provavelmente essa diferença também está relacionada ao tamanho do hospedeiro e dessa forma, parasitoides gregários que se desenvolvem em hospedeiros maiores tem maior quantidade de recurso disponível para deposição de mais ovos e o desenvolvimento de maior número de descendentes. Isso indica que o crescimento populacional do parasitoide sobre hospedeiro alternativo seria maior devido ao maior número de fêmeas produzidas, portanto ideal para criação massal em laboratório. Apesar dessas diferenças, as quais são muito importantes do ponto de vista de produção massal de inimigo natural para liberações, *T. howardi* foi capaz de parasitar e completar o ciclo sobre *P. xylostella* em tempo de geração semelhante ao desenvolvimento no hospedeiro alternativo. Assim espera-se que quando liberado em campo, *T. howardi* possa parasitar *P. xylostella* e o tempo de geração não seja afetado por esse hospedeiro. Além disso, a ocorrência em campo de brássicas parasitando pupas de *P. xylostella* demonstra que *T. howardi* pode contribuir para controle da traça-das-crucíferas também de forma natural.

Espera-se que os parasitoides sejam capazes de localizar, reconhecer e distinguir potenciais hospedeiros que sejam ideais para desenvolvimento da progênie. Outros estudos apontam que para várias espécies de parasitoides os compostos químicos (voláteis ou não) do hospedeiro, são muito importantes no processo de localização e seleção (reconhecimento e aceite) dos mesmos (Cobert 1985, Vinson 1976). Além disso, métodos de criação do parasitoide, podem influenciar diretamente no desempenho, reprodução e capacidade de forrageamento, uma vez que parasitoides evoluíram para respostas ajustadas a voláteis emitidos tanto pelos hospedeiros, como por plantas atacadas por hospedeiros (Kessler 2011, Poelman *et al.* 2012). Portanto, características químicas dos hospedeiros

usados em criações massais (hospedeiro natal) podem condicionar a resposta comportamental dos parasitoides e alterar a capacidade de parasitismo após liberação em campo. Por exemplo, Bodino *et al.* (2016) verificaram a seleção de hospedeiros influenciada pela experiência natal no parasitoide *Necremnus tutae* (Reuter) (Hymenoptera: Eulophidae) e sugeriram que a experiência afetou a preferência desse parasitoide, que preferiu mistura de voláteis da planta hospedeira e do hospedeiro em comparação aos voláteis de plantas não hospedeiras. Similarmente, Kher *et al.* (2017) estudou o comportamento de *Tetrastichus julis* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) e relataram que pistas olfativas associadas ao hospedeiro provocam mudança comportamental no parasitoide e são importantes componentes no comportamento de busca, ocorrendo plasticidade em resposta às pistas do hospedeiro. Além disso, outros estudos também demonstraram que condicionamento pré-imaginal do parasitoide pode ocorrer quando adultos recém emergidos são expostos a estímulos químicos do hospedeiro natal e isso produz efeitos na resposta quimiosensora do parasitoide adulto (Thorpe 1939, Morris & Fellowes 2002, Gutiérrez-Ibáñez *et al.* 2007, Giunti *et al.* 2016, Pires *et al.* 2022). Dessa forma, é importante que hospedeiros alternativos usados em criações massais não alterem negativamente a busca e parasitismo de parasitoides. No presente estudo foi observado que pistas voláteis dos hospedeiros mediam o comportamento de *T. howardi* porque as fêmeas responderam preferencialmente aos odores liberados pelos hospedeiros em contraste aos controles (folha sadia e ar limpo). Entretanto, independentemente do hospedeiro natal, *T. howardi* respondeu de forma semelhante para odores de ambos os hospedeiros, não demonstrando condicionamento pré-imaginal a ponto de alterar a resposta comportamental do parasitoide.

De forma complementar, a capacidade de parasitismo de *T. howardi* também não foi influenciada pelo hospedeiro natal havendo elevada taxa de parasitismo sobre pupas *P. xylostella*, mesmo com insetos oriundos do hospedeiro alternativo *T. molitor*. Entretanto, nos casos onde o hospedeiro natal foi *T. molitor* houve elevada mortalidade das pupas de *P. xylostella*, mas com baixa

emergência de adultos do parasitoide. É provável que isso tenha ocorrido devido às fêmeas de *T. howardi* criadas em *T. molitor* serem maiores que aquelas emergidas de *P. xylostella*. Essa diferença de tamanho pode ter afetado tanto o número de ovos depositados por pupa como, a quantidade de veneno depositado no hospedeiro, levando-o à morte ou até mesmo dano mecânico no processo de oviposição. Outras espécies de eulofídeos, a exemplo de *Melittobia digitata* (Dahms) (Hymenoptera: Eulophidae) são conhecidas pela deposição de veneno no hospedeiro, causando parasilia, (Deyrup *et al.* 2006). Estudos subsequentes podem investigar efeitos do tamanho de *T. howardi* na taxa de mortalidade do hospedeiro devido a danos mecânicos e injeção de veneno, bem como implicações fisiológicas que podem ocorrer após parasitismo.

Em relação ao parasitismo nas diferentes fases (larva de terceiro instar, pré-pupa e pupas), *T. howardi* teve o mesmo parasitismo quando oriundo de *T. molitor* ou de *P. xylostella*, parasitando todas fases da traça-das-crucíferas ofertadas nos tratamentos. No entanto, a preferência do parasitoide *T. howardi* oriundos tanto de *P. xylostella*, como de *T. molitor* por pupas da traça-das-crucíferas em relação as larvas de terceiro instar e pré-pupa, é evidenciado no estudo, sugerindo que essa fase é mais adequada para parasitismo e desenvolvimento da espécie. Pereira *et al.* (2015), avaliou a capacidade de parasitismo e emergência de *T. howardi* em larvas e pupas de *D. saccharalis* e observou a capacidade de parasitismo em larvas e pupas com parasitismo preferencial pela fase de pupa, sugerindo que a pupa de *D. saccharalis* é a fase hospedeira mais adequada para parasitismo e desenvolvimento por essa espécie. Além disso, Simonato *et al.* (2020) avaliaram a capacidade de parasitismo de *T. howardi* sobre pupas de *H. armigera* e observaram 100% de parasitismo, indicando que pupas são adequadas para desenvolvimento de *T. howardi*. Por fim, Favoreto *et al.* (2020) relataram 100% de mortalidade de pupas de *O. vesulia* sendo 80% de parasitismo e 20% de mortalidade devido a má formação das mesmas e alterações na cor e consistência do corpo da lagarta.

Por fim, considerando as condições climáticas da região do Agreste de Pernambuco, onde existe produção de brássicas ao longo do ano devido as condições climáticas favoráveis de clima e também por ser local de ocorrência natural de *T. howardi* (Silva-Torres *et al.* 2010) foram estimados número de gerações desse inimigo natural frente ao hospedeiro *P. xylostella*. Assim, com base nas exigências térmicas de *T. howardi* e *P. xylostella*, foi determinado que o parasitoide poderá completar até 16 gerações/ano, sendo três gerações a menos que a praga. Isso significa que o número de gerações de *T. howardi* é sempre inferior ao de *P. xylostella*, havendo disponibilidade de alimentos para se manter na região. Assim, uma alternativa interessante seria liberações inundativas desse parasitoide obtido através de criações laboratoriais sobre *T. molitor* visando o controle biológico aplicado. Além do controle biológico exercido por *T. howardi*, outras espécies de inimigos naturais de ocorrência natural, tais como *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae), *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae), vespas, formigas, etc (Silva-Torres *et al.* 2010b, Lira *et al.* 2019) podem contribuir para manejo dessa praga e devem ser conservadas dentro do MIP (manejo integrado de pragas).

Portanto, podemos concluir que através dos parâmetros da tabela de vida de fertilidade, o parasitoide *T. howardi* tem potencial de parasitismo sobre pupas de *P. xylostella*. Entretanto, a produção em larga escala em laboratório visando liberações inundativas para controle da traça-das-crucíferas deve ocorrer preferencialmente sobre hospedeiro alternativo *T. molitor* devido maior produção de fêmeas e rápido crescimento populacional, além do menor custo e metodologia de criação já estabelecida. Adicionalmente, observamos que a resposta olfativa do parasitoide aos voláteis da praga alvo (*P. xylostella*), bem como a taxa de parasitismo não são alteradas devido à ausência de condicionamento pré-imaginal pelo hospedeiro alternativo. Dessa forma, o parasitoide

*T. howardi* é mais um aliado no manejo de brássicas que poderá contribuir de forma significativa para redução populacional de *P. xylostella*.

### Agradecimentos

A pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001 com bolsa de estudo para RJSSM através do CAPES/PROEX.

### Literatura citada

**Agritempo. 2020.** Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=PE>

**Alvarenga, T.M. 2020.** Hospedeiros alternativos para a criação em massa do parasitoide *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae). Dissertação de mestrado 23p.

**Barratt, B.I.P., V.C. Moran, F. Bigler & J.C. Van Lenteren. 2018.** The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. *Biocontrol* 63: 155-167.

**Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *An. Soc. Entomol. Bras.* 28: 3.

**Bodino, N., C. Ferracini & L. Tavella. 2016.** Is host selection influenced by natal and adult experience in the parasitoid *Necremnus tuta* (Hymenoptera: Eulophidae)? *An. Behav.* 112: 221–228.

**Bueno, V.H.P. 2009.** Controle biológico de Pragas. Produção massal e controle de qualidade. Lavras, Editora UFLA, 430p.

**Carey, J.R. 1993.** Applied demography for biologists with special emphasis on insects. Oxford University Press, New York, 33p.

**Corbet, S.A. 1985.** Insect chemosensory responses: a chemical legacy hypothesis. *Ecol. Entomol.* 10: 143–153.

**De Bach, P. 1965.** Book review by fdb-biological control of insect pests and weeds. *Trop. Agric.* 42: 2.

- Deyrup, L.D., D.B. Rivers & R.W. Matthews. 2006.** Venom from the ectoparasitic wasp *Melittobia digitata* (Hymenoptera: Eulophidae) induces paralysis and developmental delay in natural and factitious hosts. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 99: 1199–1205
- Etebari, K., M.H. Afrad, B. Tang, R. Silva, M.J. Furlong & S. Asgari. 2018.** Involvement of microRNA miR-2b-3p in regulation of metabolic resistance to insecticides in *Plutella xylostella*. *Insect Mol. Biol.* 24: 478–491.
- Favero, K., F.F. Pereira, J.B. Torres, H.N. Oliveira, S.O. Kassab & J.C. Zanuncio. 2015.** Reproduction of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) in *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) pupae at different temperatures. *Entomol. Fla.* 865–869.
- Favoreto, A.L., R.F. Pavani, M.F. Ribeiro, A.J.V. Zanuncio, M.A. Soares, J.C. Zanuncio, J & C.F. Wilcken. 2020.** *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae): first report of parasitism in *Oxydia vesulia* (Lepidoptera: Geometridae). *Bras. J. Biol.* 81: 406–410.
- Fernandes, E.C., M.M. Souza, D.E. Nava, J.G. Silva & E.L. Araujo. 2021.** Fertility life table and biology of *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae) in the larvae of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Bull. Entomol. Res.* 111: 182–189.
- Ferreira, N.G.P., F.F. Pereira, F.L.G. Borges, C. Rossoni, A.S. Silva & S.O. Kassab. 2016.** Multiplicar *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) en la oruga de la seda afecta su biología? *Acta Biol. Colombiana* 21: 189–193.
- Floriano, E.T., F.P. Fagundes, S.K. Oliveira, B.R. Hidalgo, C.R.C. Garcia & J. . Zanuncio. 2018.** Biological quality of *Tetrastichus howardi* (Hym.: Eulophidae) reared with *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupae after storage at low temperatures for different periods. *Peer J* 6: 2686.
- Giunti, G., G. Benelli, R.H. Messing & A. Canale. 2016.** Early adult learning affects host preferences in the tephritid parasitoid *Psytalia concolor* (Hymenoptera: Braconidae). *J. Pest. Sci.* 89: 529–537.
- Golizadeh, A., K. Kamali, Y. Fathipour & H. Abbasipour. 2009.** Effect of temperature on life table parameters of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *J. Asia-Pacific Entomol.* 12: 207–212.
- González, J.F.A. 2004.** Estudios Bioecológicos, Reproducción Artificial y Liberación de *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae), Parasitoide Pupal de *Diatraea saccharalis* (Fab.) en Cuba. Tese (Doutorado em Ciências Agrícolas). Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba, 179 pp.
- Gutiérrez-Ibáñez, C., C.A. Villagra & H.M. Niemeyer. 2007.** Pre-pupation behaviour of the aphid parasitoid *Aphidius ervi* (Haliday) and its consequences for pre-imaginal learning. *Naturwissenschaften* 94: 595–600.

- Heimpel, G E. 2019.** Linking parasitoid nectar feeding and dispersal in conservation biological control. *Biocontrol*. 132: 36–41.
- Hoffmann Schlesener, D.C., J. Wollmann, A.P. Krüger, A.M. Nunes, D. Bernardi & F.R.M. Garcia. 2018.** Biology and fertility life table of *Drosophila suzukii* on artificial diets. *Entomol. Exp. Appl.* 166: 932–936.
- Hondo, T., A. Koike & T. Sugimoto. 2006.** Comparison of thermal tolerance of seven native species of parasitoids (Hymenoptera: Eulophidae) as biological control agents against *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 41: 73–82.
- Hopkins, A.D. 1917.** Contribution to discussion. *J. Econ. Entomol.* 10: 92–93.
- Jaenike, J. 1983.** Induction of host preference in *Drosophila melanogaster*. *Oecologia* 58: 320–325.
- Jalalipour, R., A. Sahragard, K.H. Madahi & A. Karimi-Malati. 2017.** Comparative life table of *Aphis craccivora* (Hem.: Aphididae) on host plant, *Robinia pseudoacacia* under natural and laboratory conditions. *J. Entomol.* 36: 249–257.
- Jiménez, L.A.L., M. Giraldo-Jaramillo & P. Benavides-Machado. 2020.** Life cycle and fertility life table of *Zelus vespiformis* (Hemiptera: Reduviidae). *J. Entomol.* 4: 10–16.
- Kessler A. & M. Heil. 2011.** The multiple faces of indirect defences and their agents of natural selection. *Funct. Ecol.* 25: 348–357.
- Kfir, R., J. Gouws & S.D. Moore. 1993.** Biology of *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae): a facultative hyperparasitoid of stem borers. *Biocontrol Sci. Tech.* 3: 149–159.
- Kher, S.V., H.A. Cárcamo, M.L. Evenden & L.M. Dossdall. 2017.** Olfactory host-finding behaviour of *Oulema melanopus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and its parasitoid, *Tetrastichus julis* (Hymenoptera: Eulophidae). *J. Appl. Entomol.* 141: 740–750.
- Lenteren, J.C.V. & M.G. Tommasini. 1999.** Mass production, storage, shipment and quality control of natural enemies. In *Integrated pest and disease management in greenhouse crops*. Springer 276-294 pp.
- Li, Z., X. Feng, S.S. Liu, M. You & M.J. Furlong. 2016.** Biology, ecology, and management of the diamondback moth in China. *Annu. Rev. Entomol.* 61: 277–296.
- Lins, J., J. Caldeira, V.H.P. Bueno, D.B. Silva, M.V. Sampaio & J.C. Van Lenteren. 2011.** *Praon volucre* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae), a natural enemy of *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae): Life table and intrinsic rate of population increase. *Eur. J. Entomol.* 108: 4.

- Lira, R., D.V. Nascimento, J.B. Torres & H.A.A. Siqueira. 2019.** Predation on diamondback moth larvae and aphid by resistant and susceptible lady beetle, *Eriopis connexa*. *Neot. Entomol.* 48: 909-918.
- Lucchetta, J.T. 2016.** Parasitismo e desenvolvimento de *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) em lagartas e pupas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Dissertação de mestrado. 16-17pp.
- Magalhães, D.M., M. Borges, M. R.A. Laumann, E.R. Sujii, P. Mayon, J.C. Caulfield, C.A. Midega, Z.R. Khan, J.A. Pickett, M.A. Birkett, M.C. Blassioli-Moraes. 2012.** Semiochemicals from herbivory induced cotton plants enhance the foraging behavior of the cotton boll weevil, *Anthonomus grandis*. *J. Chem. Ecol.* 38: 1528–1538.
- Maia, A.D.H., A.J. Luiz & C. Campanhola. 2000.** Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. *J. Econ. Entomol.* 93: 511–518.
- Morris, R.J., M.D.E. Fellowes. 2002.** Learning and natal host influence host preference, handling time and sex allocation behaviour in a pupal parasitoid. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 51: 386–393.
- Pedigo, L.P. & R.M. Zeiss. 1996.** Constructing life table for insect populations, Analyses in insect ecology and management. Iowa, Iowa State University Press. 75–105p.
- Pedro, L., J. Tormos, J.D. Asís, B. Sabater-Muñoz & F. Beitia. 2018.** Biology of *Aganaspis daci* (Hymenoptera: Figitidae), parasitoid of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): Mode of reproduction, biological parameters and superparasitism. *Crop Prot.* 108: 54–61.
- Pereira F.F., S.O. Kassab, E.L. Vargas, V.R.F. Calado, H.N. Oliveira & J.C. Zanuncio. 2015.** Parasitism and emergence of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on the caterpillars pupae and adults of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Fla. Entomol.* 95: 384–387.
- Pereira, F.F., P.L. Pastori, S.O. Kassab, J.B. Torres, C.R.G. Cardoso, V.C. Fernandes, N.H. Oliveira, J.C. & Zanuncio. 2021.** Uso de eulofídeos no controle biológico de pragas. In: Parra, J.R.P.; Pinto, A.S.; Nava, D.E.; Oliveira, R.C.; Diniz, A.J.F. (Org.). *Controle Biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira*. 1ed. Piracicaba: FEALQ, v. 1, p. 317-361.
- Pires, P.D.D.S., J. Sant'Ana, L.R. Redaelli & N.A. Leite. 2022.** Chemotaxis and parasitism of the Neotropical fruit fly parasitoid *Ganaspis pelleranoi* can be altered by pre-imaginal and imaginal conditioning to fruit volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 170: 419–426.
- Poelman, E.H., M. Ruinsma, F. Zhu, B.T. Weldegergis, A.E. Boursault, Y. Jongema & M. Dicke. 2012.** Hyperparasitoids use herbivore-induced plant volatiles to locate their parasitoid host. *PLoS biology* 10: e1001435.

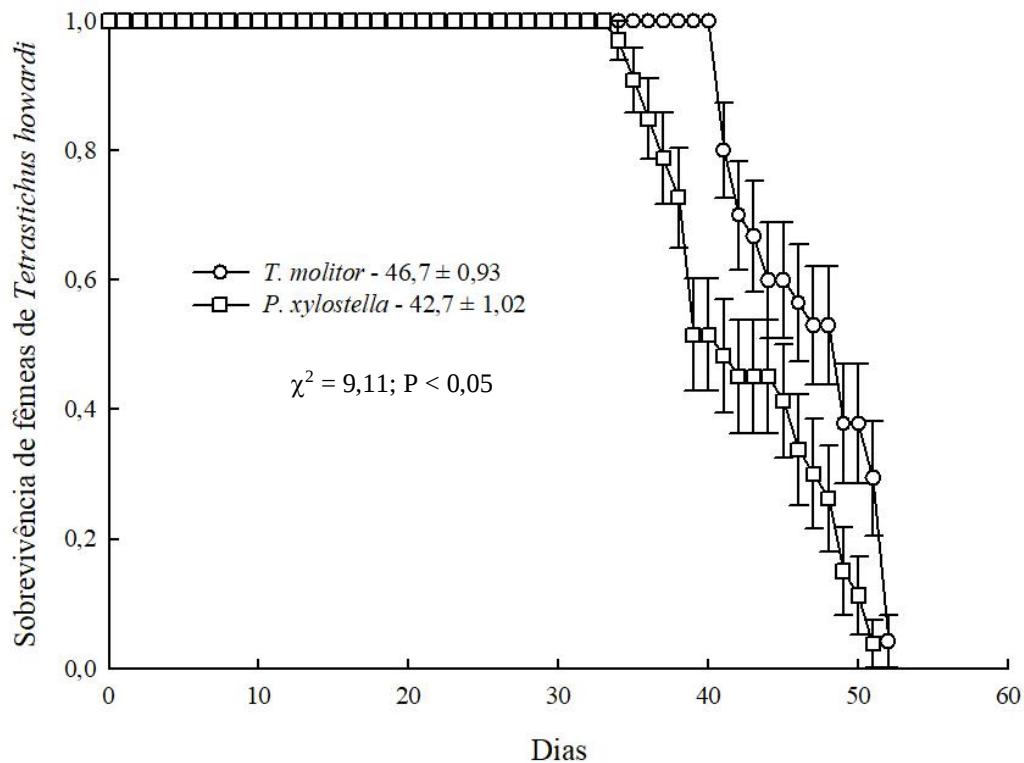
- Prasad, K.S., A.S. Aruna, V. Kumar & B.K. Kariappa. 2007.** Feasibility of mass production of *Tetrastichus howardi* (Olliff) a parasitoid of leaf roller (*Diaphania pulverulentalis*) on *Musca domestica* (L.). Indian. J. Seric. 46: 404 89–91.
- Qu, Y., D. Xiao, J. Liu, Z. Chen, L. Song, N. Desneux & D. Song. 2017.** Sublethal and hormesis effects of beta-cypermethrin on the biology, life table parameters and reproductive potential of soybean aphid *Aphis glycines*. Ecotoxicology 26: 1002–1009.
- Rodrigues, A., F.F Pereira, P.R. Barbosa, C.S.Silva-Torres & J.B. Torres. 2021.** Parasitism behavior of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on larvae and pupae of sugarcane borers. J. Insect Behav. 34: 71–81.
- SAS Institute. 2001.** SAS users guide, Version 8 for Windows. SAS Institute, Cary, NC.
- Silva-Torres, C.S., I.V. Pontes, J.B. Torres & R. Barros. 2010.** New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. Neot. Entomol. 39: 835–838 (b).
- Silva-Torres, C.S., R. Barros & J.B. Torres. 2009.** Efeito da idade, fotoperíodo e disponibilidade de hospedeiro no comportamento de parasitismo de *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae). Neot. Entomol. 38: 512–519.
- Silva-Torres, C.S., R.M. Matthews, J.R. Ruberson & W.J. Lewis. 2005.** Role of chemical cues and natal rearing effect on host recognition by the parasitic wasp *Melittobia digitata*. Entomol. Sci. 8: 355–362.
- Silva-Torres, C.S.A., J.B. Torres, R. Barros & A. Pallini. 2010b.** Parasitism of diamondback moth by *Oomyzus sokolowskii*. Pesq. Agropecu. Bras. 45: 638–645.
- Simonato, J., H.N. Oliveira, J.F. Grigolli, M.M.K. Grigolli & I.F. Silva. 2020.** Potential of the parasitoid *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) on the control of *Helicoverpa armigera* (Hüb.) (Lepidoptera: Noctuidae). J. Agri. Sci. 12: 7.
- Soufbaf, M., A.A. Talebi, Z. Tazerouni & Y. Fathipour. 2018.** Bottom-up effect of two host plants on life table parameters of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). J. Agric. Sci. Tech. 18: 179–190.
- Southwood, T.R.E. & P.A. Henderson. 2000.** Ecological methods. Blackwell, Oxford, United Kingdom, 592p.
- Stenberg, J.A., I. Sundh, P.G. Becher, C. Björkman, M. Dube, P.A. Egan & M. Viketoft. 2021.** When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. J. Pest Sci. 94: 665–676.
- Sun, B.T., K.S. Akutse, X.F. Xia, J.H. Chen, X. Ai, Y. Tang & M.S. You. 2018.** Endophytic effects of *Aspergillus oryzae* on radish (*Raphanus sativus*) and its herbivore, *Plutella xylostella*. Planta 248: 705–714.

- Thorpe, W.H. 1939.** Further studies on pre-imaginal olfactory conditioning in insects. Proc. R. Soc. Lond. 127: 424–433.
- Tiago, E.F., F.F. Pereira, S.O. Kassab, R.H. Barbosa, C.R.G. Cardoso, W.Y. Sanomia & J.C. Zanuncio. 2019.** Biological quality of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) reared with *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupae after cold storage. Fla. Entomol. 102: 571–576.
- Van Lenteren, J.C. & V.H. Bueno. 2003.** Controle biológico aumentativo de artrópodes na América Latina. Biocontrol 48: 123-139.
- Vinson, S.B. 1976.** Host selection by insect parasitoids. Ann. Rev. Entomol. 21: 109–133.
- Zalucki, M.P., A. Shabbir, R. Silva, D. Adamson, L. Shu-Sheng & M.J. Furlong. 2012.** Estimating the economic cost of one of the world’s major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? J. Econ. Entomol. 105: 1115–1129.
- Zamperline, B., J.C. Zanuncio, J.E.M. Leite, & M.A.L. Bragança. 1992.** Influence of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) feeding on nymphal development of *Podisus connexivus* Bergroth, 1891 (Hemiptera: Pentatomidae). Tree Magazine, 16: 224–230.
- Zhang, J.J., X. Zhang, L.S. Zang, W.M. Du, Y.Y. Hou, C.C. Ruan & N. Desneux. 2018.** Advantages of diapause in *Trichogramma dendrolimi* mass production on eggs of the Chinese silkworm, *Antheraea pernyi*. Pest Manag. Sci. 74: 959-965.

Tabela 1. Médias e intervalo de confiança (IC a 95% de probabilidade) para a taxa líquida de reprodução ( $R_o$ ), tempo médio de geração (T) e taxa intrínseca de crescimento ( $r_m$ ) e de *Tetrastichus howardi* criados em *Tenebrio molitor* ou *Plutella xylostella*.

| Parâmetros      | <i>Tenebrio molitor</i>    | <i>Plutella xylostella</i> | Estatística |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------------|
| $R_o$ (♀/♀)     | 28,7 a<br>(23,3 - 34,1)    | 13,6 b<br>(11,2 - 15,9)    | P = 0,013   |
| T (dias)        | 21,0 a<br>(20,4 - 21,6)    | 20,9 a<br>(20,4 - 21,4)    | P = 0,277   |
| $r_m$ (♀/♀*dia) | 0,159 a<br>(0,152 - 0,167) | 0,124 b<br>(0,117 - 0,132) | P = 0,035   |

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre tratamentos pela sobreposição do IC a 95% de probabilidade, calculados pelo método de Jackknife (Maia *et al.* 2000).



1292

1293 Figura 1. Sobrevivência de fêmeas adultas de *Tetrastichus howardi* emergidas de pupas de *Tenebrio*

1294 *molitor* e *Plutella xylostella* criadas em condições de laboratório. ( $25^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) e foto período de

1295 14 horas de luz. Curvas de sobrevivência estimadas pelo método de Kaplan-Meier e comparadas

1296 pelo teste de Log-Rank ( $\alpha = 0,05$ ).

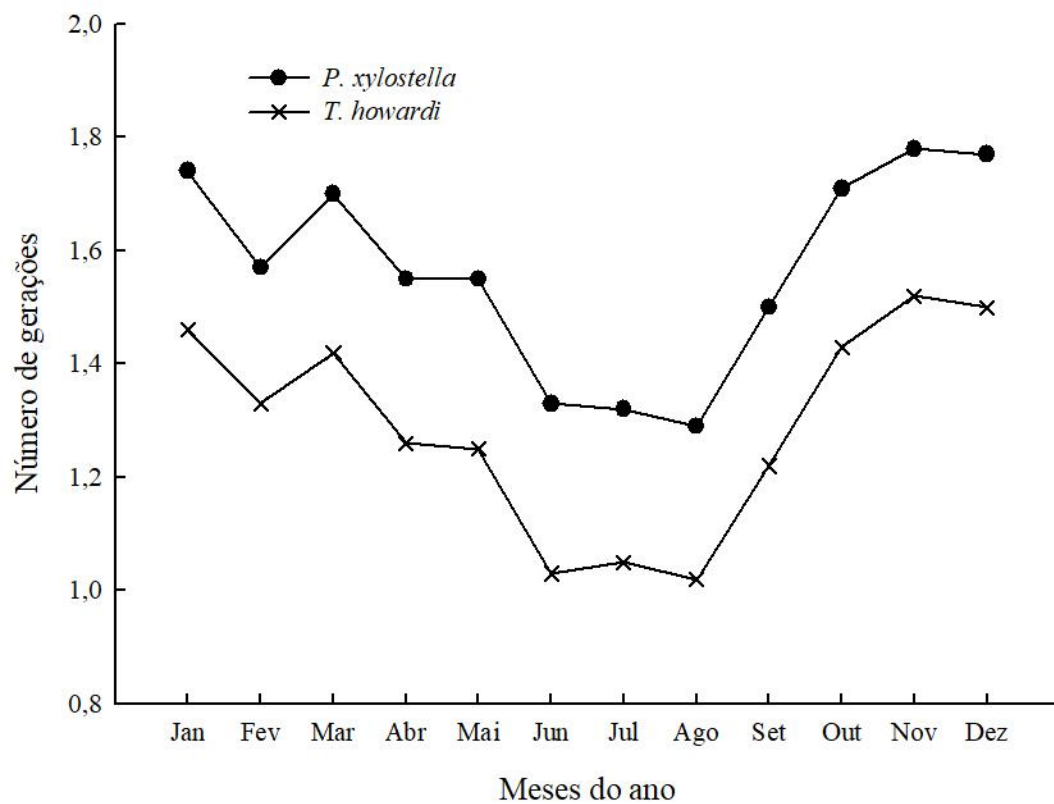
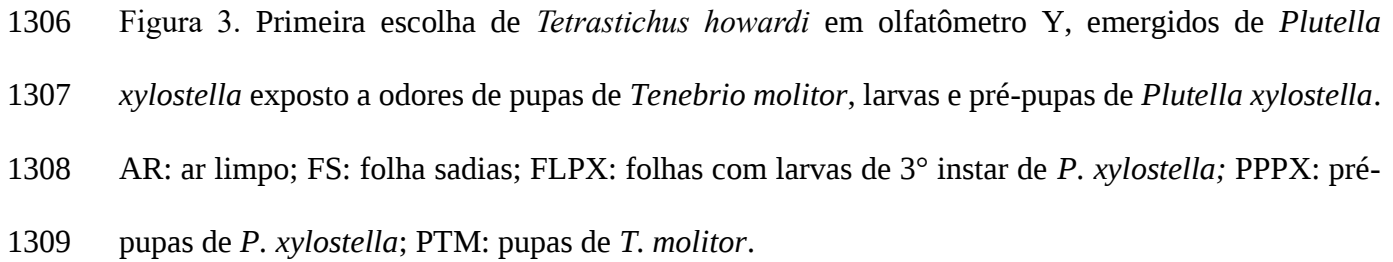


Figura 2. Estimativa do número médio de gerações de *Tetrastichus howardi* e *Plutella xylostella* para o município de Chã Grande - PE, principal região produtora de brássicas no Agreste do Estado de Pernambuco e de ocorrência natural de ambas as espécies.

1304  
1305



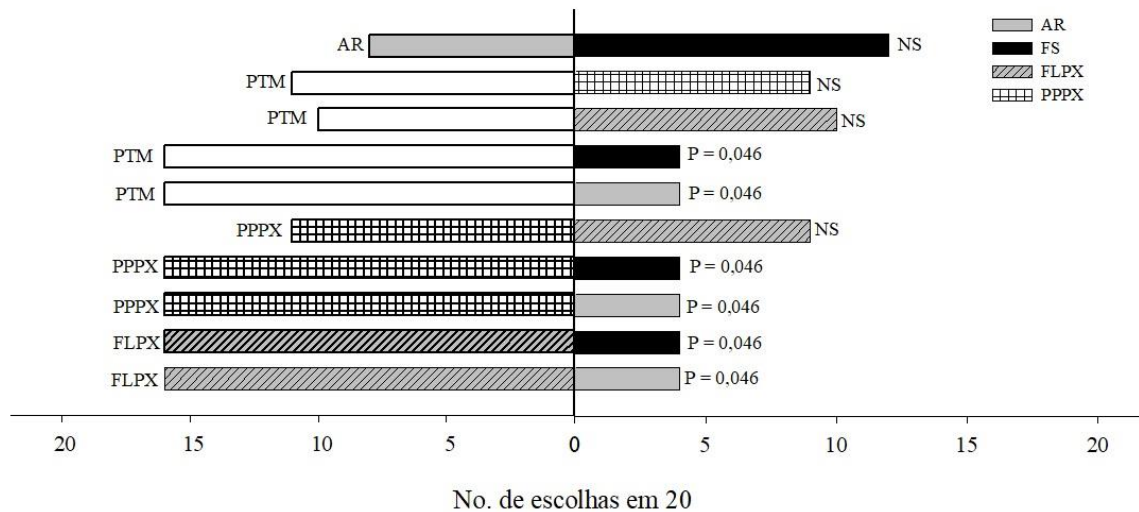
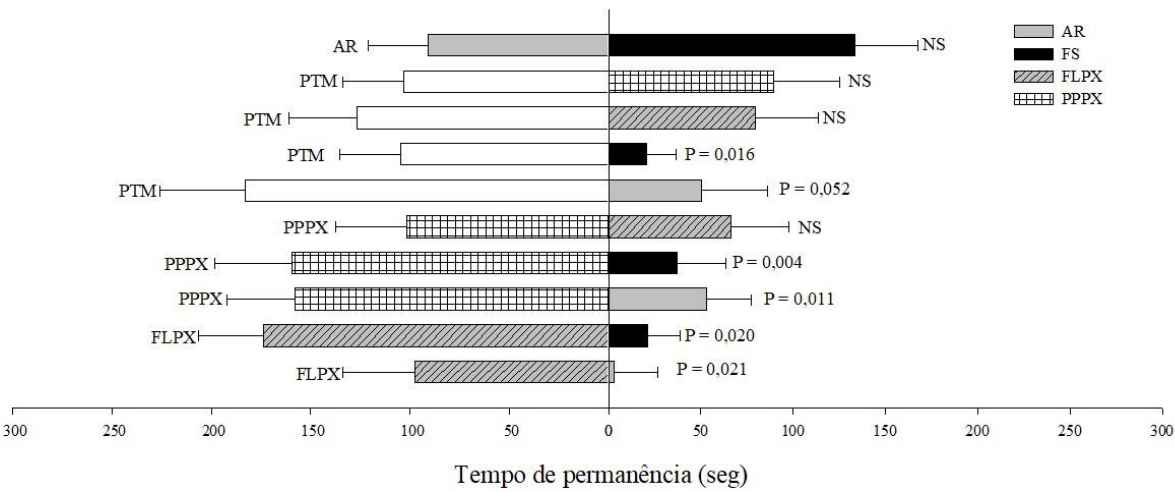


Figura 4. Primeira escolha de *Tetrastichus howardi* em olfatômetro Y, emergidos de *Tenebrio molitor* expostos a odores de pupas de *Tenebrio molitor*, larvas e pré-pupas de *Plutella xylostella*. AR: ar limpo; FS: folha sadias; FLPX: folhas com larvas de 3º instar de *P. xylostella*; PPPX: pré-pupas de *P. xylostella*; PTM: pupas de *T. molitor*.

1319



1320

1321

1322

1323

1324

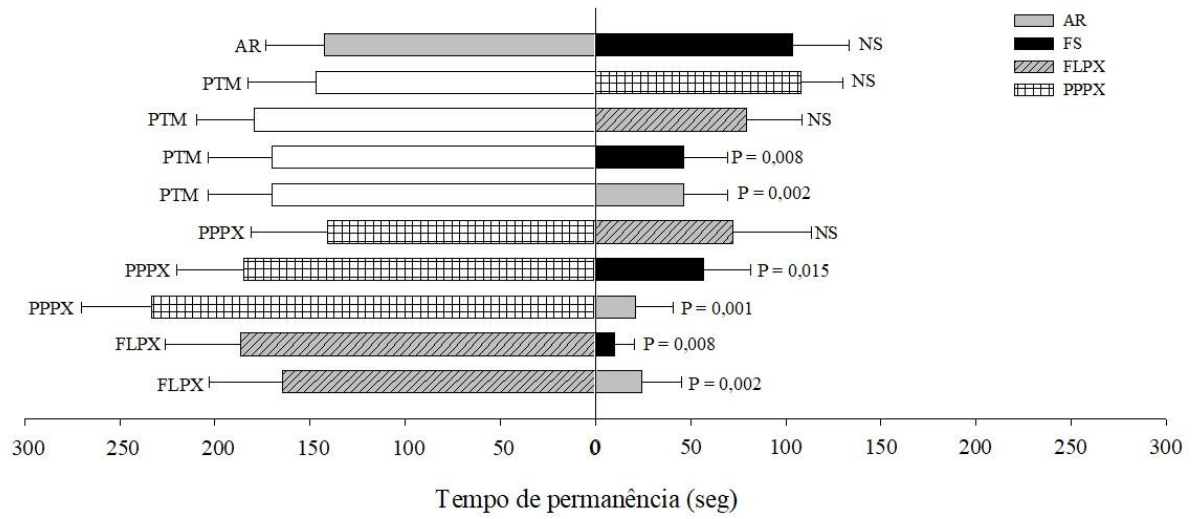
1325

1326

1327

1328

Figura 5. Média ( $\pm$ EP) do tempo de permanência de *Tetrastichus howardi* em olfatômetro Y, emergidos de *Plutella xylostella* exposto a odores de pupas de *Tenebrio molitor*, larvas e pré-pupas de *Plutella xylostella*. AR: ar limpo; FS: folha sadias; FLPX: folhas com larvas de 3º instar de *P. xylostella*; PPPX: pré-pupas de *P. xylostella*; PTM: pupas de *T. molitor*.



1329  
 1330 Figura 6. Média ( $\pm$ EP) do tempo de permanência de *Tetrastichus howardi* em olfatômetro Y,  
 1331 emergidos de *Tenebrio molitor* exposto a odores de pupas de *Tenebrio molitor*, larvas e pré-pupas  
 1332 de *Plutella xylostella*. AR: ar limpo; FS: folha sadias; FLPX: folhas com larvas de 3º instar de *P.*  
 1333 *xylostella*; PPPX: pré-pupas de *P. xylostella*; PTM: pupas de *T. molitor*.

1334

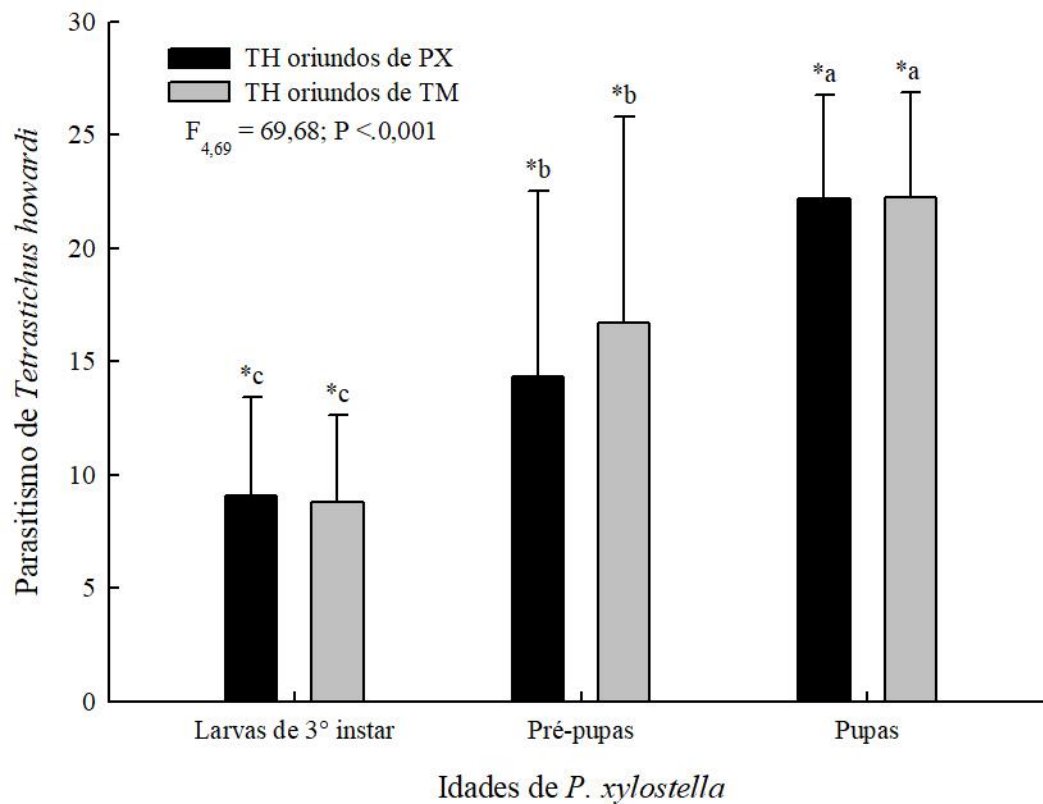


Figura 7. Média ( $\pm$ EP) de parasitismo de *P. xylostella* pelo parasitoide *Tetrastichus howardi* previamente criado em *Tenebrio molitor* e em *Plutella xylostella*. Asterísco (\*), significa que não houve diferença entre o parasitismo de *T. howardi* independente do hospedeiro e as médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si ( $\alpha = 0,05$ ). TH: *Tetrastichus howardi*; PX: *Plutella xylostella*; TM: *Tenebrio molitor*.

1341  
1342  
1343  
1344  
1345  
1346  
1347  
1348  
1349  
1350  
1351  
1352  
1353  
1354  
1355  
1356  
1357  
1358  
1359  
1360  
1361  
1362  
1363  
1364  
1365  
1366

### CAPÍTULO 3

SUSCETIBILIDADE DE *Tetrastichus howardi* (OLLIFF) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)  
AOS INSETICIDAS CIANTRANILIPROLE E ESPINETORAM <sup>1</sup>

RIAN J. S. S. MORAES<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n - Dois  
Irmãos, Recife - PE, 52171-900.

---

<sup>1</sup>Moraes, R.J.S.S. Suscetibilidade de *Tetrastichus howardi* (Olliff (Hymenoptera: Eulophidae) aos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram. A ser submetido.

RESUMO - O manejo integrado de pragas (MIP) baseia-se na utilização de várias táticas de controle para redução de populações de pragas. Assim, a utilização conjunta de inseticidas sintéticos e agentes de controle biológico é desejável, mas dificultada por possíveis efeitos negativos dos inseticidas sobre organismos não-alvo. Nos cultivos de brássicas, *Plutella xylostella* (L.) é alvo de aplicações de diferentes inseticidas, mas pode também ser parasitada por *Tetrastichus howardi* (Olliff). Nesse estudo foi avaliada a suscetibilidade de *T. howardi* ao resíduo seco dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram em superfície inerte e discos de folhas tratados, nas dosagens de campo (10 g de i.a./ha e 25 g de i.a./ha, respectivamente) e 50% dessas dosagens e ao longo do tempo (2 a 192 horas após pulverização). Independente do tempo desde aplicação do inseticida ou concentração do resíduo, os inseticidas avaliados não afetaram a sobrevivência de *T. howardi*. Além disso, o resíduo seco de ciantraniliprole e espinetoram nas CL<sub>25</sub> e CL<sub>50</sub> estimadas para lagartas de segundo instar de *P. xylostella* em folhas de couve ao longo do tempo não afetou a sobrevivência do parasitoide. Por fim, a exposição de *T. howardi* a larvas de *P. xylostella* contaminadas com resíduo dos inseticidas não afetou o parasitismo e emergência do parasitoide. Considerando o baixo impacto do ciantraniliprole e espinetoram sobre *T. howardi*, estes agentes de controle podem ser adotados em conjunto no controle integrado de *P. xylostella* em cultivos de brássicas.

PALAVRAS-CHAVE: Traça-das-crucíferas, controle químico, controle biológico, seletividade de inseticidas.

SUSCEPTIBILITY OF *Tetrastichus howardi* (OLLIFF) (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) TO  
CYANTRANILIPROLE AND SPINETORAM

ABSTRACT – Integrated pest management (IPM) is based on the use of various control tactics to reduce pest populations. Thus, the combined use of synthetic insecticides and biological control agents is aimed, but it is a challenge due to possible impact of insecticides on non-target organisms. In brassica crop fields, *Plutella xylostella* (L.) is a frequent target of different insecticide sprays, but it can also be parasitized by *Tetrastichus howardi* (Olliff). Nonetheless, not much is known about the response of this parasitoid to the insecticides applied against brassica pests. In this study, the susceptibility of *T. howardi* to the dry residue of the insecticides cyantranilprole and spinetoram was evaluated on inert surface and treated leaf discs, in the lethal dosages (10 g de i.a./ha and 25 g de i.a./ha, respectively) and 50% of theses dosagens, and along time (2 to 192 hours after spray),. Regardless since application of the insecticide or concentration of the residue, the tested insecticides did not affect *T. howardi* survival. In addition, dired residues of cyantranilprole and spinetoram at CL<sub>25</sub> and CL<sub>50</sub> estimated for second instar larvae of *P. xylostella* on kale along time did not affect *T. howard* isurvival. Finally, the exposure of *T. howardi* to contaminated larvae of *P. xylostella* either affected its parasitism capacity nor the emergency of parasitoid descendants. Considering the low impact of cyantranilprole and spinetoram to *T. howardi*, these control agents can be harmoniously combined in the integrated control of *P. xylostella* in brassica crops.

KEY WORDS: Diamondback moth, chemical control, biological control, insecticide selectivity.

## Introdução

Embora inimigos naturais (predadores, parasitoides e entomopatógenos) presentes nos agroecossistemas contribuam para manutenção da população de espécies fitófagas em níveis agronomicamente desejáveis (Klapwijk *et al.* 2016), em certos casos, medidas de controle curativas se fazem necessárias (Taggar & Gil 2016). Assim, a utilização de inimigos naturais e compostos químicos de origem sintética ou biológica podem ser implementados de forma integrada visando a redução populacional das espécies fitófagas (Torres & Bueno 2018, Baker *et al.* 2020). Para tanto, deve-se dar preferência aos inseticidas seletivos, caracterizados como aqueles capazes de reduzir a população da praga sem nenhum ou o mínimo impacto possível sobre espécies não alvo naquele agroecossistema (Fernandes *et al.* 2010, Silva *et al.* 2016, Bueno *et al.* 2017).

A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), é especializada na família Brassicaceae (Truong *et al.* 2018). As larvas se alimentam do tecido foliar fazendo perfurações nas folhas (Sarfraz *et al.* 2005, Gao *et al.* 2018) e é hospedeira do endoparasitoide gregário *Tetastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae), uma espécie generalista de ocorrência natural no agreste de Pernambuco, Brasil (Silva-Torres *et al.* 2010). Além de parasitar *P. xylostella*, com preferência nos últimos instares larvais, *T. howardi* também parasita pupas de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) (Cruz *et al.* 2011, Rodrigues *et al.* 2021), *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (Oliveira *et al.* 2016) e *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) (La Salle & Polaszek 2007). Além de contribuir para o controle biológico natural, esse parasitoide pode ser liberado de forma inundativa em áreas de cultivo para complementar o controle de lepidópteros pragas (Rodrigues *et al.* 2021). Como o manejo integrado de pragas (MIP) prevê a utilização de diferentes táticas de controle de forma integrada e harmoniosa, é importante avaliar como agentes de controle biológico respondem à exposição aos inseticidas sintéticos mais frequentemente aplicados em cada agroecossistema (Baker *et al.* 2020).

Visando a utilização harmoniosa dos controles químico e biológico no manejo de *P. xylostella*, esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho reprodutivo e sobrevivência de *T. howardi* exposto ao resíduo seco dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram em superfície inerte e disco de folhas de couve tratadas. Baseado na seletividade confirmada para algumas espécies de inimigos naturais, espera-se que estes inseticidas tenham baixo impacto sobre *T. howardi*.

### Material e Métodos

**Insetos.** A população de *P. xylostella* foi coletada no município de Chã Grande – PE (Latitude 08° 14'18" e Longitude 35° 27'42"), sendo mantida no Laboratório de Comportamento de Insetos da UFRPE desde 2018, além das populações resistentes a ciantraniliprole e espinetoram, selecionadas por 20 gerações em laboratório. A população de *T. howardi* foi estabelecida a partir de insetos fornecidos pelo Laboratório de Ecologia e Controle Biológico de Insetos da mesma instituição. Ambas as criações foram mantidas em sala climatizada a  $25 \pm 1$  °C, umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas. A criação de *P. xylostella* seguiu recomendações descritas por Barros & Vendramim (1999), sendo larvas mantidas em gaiolas plásticas transparentes, com abertura na tampa, recoberta por tecido fino e permeável, alimentadas até a fase de pupa com folhas de couve orgânica (*Brassica oleracea* var. manteiga) ofertadas diariamente. As pupas foram transferidas para tubos de vidro de fundo arredondado (16x100mm) até a emergência dos adultos. Cerca de 50 casais de *P. xylostella* foram transferidos para gaiolas plásticas transparentes (2 L) com formato arredondado e aberturas nas laterais recobertos com tecido fino e permeável que favorece a ventilação interna. Adultos foram alimentados com solução aquosa de mel a 10% ofertada em chumaços de algodão hidrófilo contido em recipiente plástico. Como substrato para oviposição foi disponibilizado recorte de folhas de couve, sendo este substituído diariamente para coleta das

posturas do dia anterior. Folhas com posturas foram transferidas para placas de Petri de vidro (15 cm diâmetro) até a eclosão das larvas, as quais foram transferidas para gaiolas semelhantes às anteriormente descritas.

A população do parasitoide foi obtida através da criação em pupas de *Tenebrio molitor* ( $\leq 48$  h), que foi mantida de acordo com metodologia proposta por Floriano *et al.* (2018). Para população originada de *T. molitor*, pupas foram individualmente expostas por 24 horas ao parasitismo por sete fêmeas de *T. howardi* em tubos de vidro (2 × 15 cm) fechados com algodão e contendo gotículas de mel como alimento. As pupas parasitadas foram mantidas nas condições previamente especificadas até emergência dos descendentes (Pereira *et al.* 2015). Todos os experimentos foram realizados com adultos de *T. howardi*, com até 48h de idade.

**Soluções de Inseticidas.** Os inseticidas foram avaliados nas respectivas dosagens de bula recomendadas (= DR) contra *P. xylostella*, sendo para ciantraniliprole 100 mL p.c./ha e para espinetoram 100 g p.c./ha, e 50% dessas dosagens (= 0,5\*DR). As soluções de inseticidas foram obtidas através da adição de 50 µL de ciantraniliprole (Benevia<sup>®</sup>, 100g i.a/L, FMC Química do Brazil LTDA, Campinas, SP, Brasil) e 0,08 g de espinetoram (Delegate<sup>®</sup>, 250g i.a/kg, Dow AgroSciences Industrial Ltda, Barueri, SP, Brasil) em 100 mL de solução aquosa do espalhante adesivo Agrex'Oil Vegetal<sup>®</sup> (930ml a.i./L, Microquímica Indústrias Químicas LTDA, Campinas, SP, Brasil) a 0,3%. Como tratamento controle utilizou-se apenas solução aquosa de espalhante adesivo.

**Teste 1. Exposição ao Resíduo Seco.** Adultos de *T. howardi* foram expostos ao resíduo seco dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram em discos de folhas tratadas e superfície inerte. Para tanto, discos foliares (4,5 cm de diâmetro) foram cortados de couve manteiga proveniente de cultivo orgânico e imersos por 60 segundos nas soluções inseticidas ou controle. Em seguida, os discos foram distribuídos sobre papel toalha para secarem sob temperatura ambiente por 20 minutos,

quando foram transferidos para placas de Petri de vidro (60 × 15 mm) forradas com papel filtro umedecido. Sobre esses discos foliares, adicionou-se ao centro um disco de papel alumínio (5 × 5 mm) contendo uma gota de mel puro que serviu como alimento para os parasitoides. Após período de 48 horas, os discos foliares foram trocados por discos foliares tratados. Este bioensaio foi estabelecido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos (Controle, DR-Ciantraniliprole, 0,5\*DR-Ciantraniliprole, DR-Espinetoram, 0,5\*DR-Espinetoram) sendo cada tratamento composto por 80 repetições, cada uma representada por um parasitoide sem distinção de sexo (fêmea ou macho) de *T. howardi* que possui razão sexual de aproximadamente 90% de fêmeas (Oliveira *et al.* 2016).

Para exposição dos parasitoides em superfície inerte, as paredes internas (fundo e tampa) de placas de Petri de vidro (60 × 15 mm) foram pulverizadas com 3 mL das soluções de inseticidas ou espalhante adesivo e distribuídas em bancada para secarem sob temperatura ambiente por 40 minutos. Como alimento para os parasitoides, adicionou-se ao centro do fundo da placa uma gota de mel puro sobre disco de papel alumínio (5 × 5 mm) para evitar contaminação. Em seguida, liberou-se uma fêmea ou um macho de *T. howardi* em cada placa, vedando-as lateralmente com filme plástico e foram acondicionadas em câmara do tipo BOD regulada a  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas. Este bioensaio foi estabelecido em delineamento DIC com cinco tratamentos (Controle, DR-Ciantraniliprole, 0,5\*DR-Ciantraniliprole, DR-Espinetoram, 0,5\*DR-Espinetoram), sendo cada tratamento composto por 80 repetições, cada uma representada por placa de Petri contendo um exemplar de *T. howardi*. A mortalidade dos parasitoides confinados com discos de folha tratados ou placas de Petri contaminadas foi avaliada diariamente por 21 dias. Dados do bioensaio foram corrigidos pela mortalidade do controle (Abbott 1925) e analisados pela estimativa não paramétrica da função de distribuição de sobrevivência (PROC LIFETEST) utilizando-se o software SAS (SAS Institute 2001).

## **Teste 2. Toxicidade Residual De Ciantraniliprole e Espinetoram Após Diferentes Intervalos**

**de Aplicação.** Plantas de couve foram cultivadas em vasos plásticos (3 L) contendo mistura de solo e húmus (2:1) acrescida de 10 g de adubo N:P:K (Heringer®, concentração de 0,5%) aplicado aos 20 e 35 dias após semeadura. Quando atingiram cinco a sete folhas desenvolvidas (aproximadamente 20 cm de altura), foram pulverizadas em diferentes intervalos com auxílio de pulverizador costal (PJH, Jacto, Pompeia, SP) com soluções de inseticidas DR-Ciantraniliprole, 0,5\*DR-Ciantraniliprole, DR-Espinetoram, 0,5\*DR-Espinetoram e Controle até o ponto de escoamento. Assim, foi possível obter plantas com resíduos de inseticidas ou espalhante adesivo aplicados há 0 (cerca de 2 h), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 8 dias, quando as folhas foram coletadas. No laboratório, discos foliares (4,5 cm de diâmetro) foram cortados e transferidos para placas de Petri de vidro (5 cm de diâmetro), forradas com papel filtro umedecido. Cada disco foliar recebeu uma gota de mel puro no centro para alimentação dos parasitoides, os quais foram liberados individualmente em cada placa. Este bioensaio foi estabelecido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) num fatorial  $2 \times 3 \times 9$  (inseticidas x concentrações x intervalos de aplicação) sendo cada tratamento composto por 20 repetições, cada uma representada por uma placa de Petri contendo um exemplar de *T. howardi*. A mortalidade dos parasitoides foi avaliada após 48 horas. Dados do bioensaio foram verificados quanto à normalidade através do teste de Shapiro-Wilk e homoscedasticidade através do teste de Levene e avaliados através da interação entre os fatores (inseticidas x concentrações x intervalo de aplicação) (PROC ANOVA, SAS Institute 2002).

## **Teste 3. Concentração-mortalidade de Ciantraniliprole e Espinetoram para *Plutella***

***xylostella*.** Este bioensaio teve como objetivo estimar curvas de concentração-resposta dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram para lagartas de *P. xylostella* provenientes das populações resistentes selecionadas em laboratório. Com base em testes preliminares foram determinadas concentrações de inseticidas que causam mortalidade próxima de zero e 100% das populações, a

saber: 0,1953, 0,3906, 0,7812, 1,5625, 3,125, 6,25, 12,5, 25,0 e 50,0 mg de i.a. de ciantraniliprole/L; e 0,7812, 1,5625, 3,125, 6,25, 12,5, 25,0; 50,0, 100,0 e 200 mg de i.a de espinetoram/L. Como testemunha sem inseticida foi utilizada solução de espalhante adesivo. Discos de folhas de couve (4,5 cm de diâmetro) foram tratados como descrito anteriormente e, após secarem da calda inseticida, foram transferidos para placas de Petri de vidro (5 cm de diâmetro) forradas com papel filtro umedecido antes de receberem 15 larvas de segundo instar de *P. xylostella* com menos de 72 h de idade. As placas de Petri foram fechadas com filme plástico e acondicionadas em câmara do tipo B.O.D. a  $26^{\circ}\text{C} \pm 70\%$  de UR. Após 96h de exposição se determinou a mortalidade das larvas. Foram consideradas mortas, larvas que ao serem tocadas com pincel fino e flexível não conseguiram deslocar o equivalente ao comprimento do corpo. Este bioensaio seguiu delineamento inteiramente casualizado com dez tratamentos (= concentrações) para cada inseticida e duas repetições em cada tratamento, cada uma representada por uma placa de Petri contendo 15 larvas de *P. xylostella*. Dados foram submetidos à análise de Probit (Finney 1971), utilizando o programa POLO – Plus após correção dos dados pela mortalidade natural (Abbott 1925).

**Teste 4. Efeito do Ciantraniliprole e Espinetoram no Parasitismo de *P. xylostella* por *T. howardi*.** Duas populações de *P. xylostella* foram mantidas sob pressão de seleção pela exposição à  $\text{CL}_{50}$  do ciantraniliprole (= 5,70 mg de i.a./L) e espinetoram (= 3,74 mg de i.a./L) estimadas no teste anterior. Em seguida, estimou-se uma nova curva de concentração-mortalidade para determinar o nível de resistência que se encontrava a 20ª geração das populações selecionadas em laboratório. Após determinação das curvas de concentração-mortalidade do ciantraniliprole e espinetoram para *P. xylostella*, selecionaram-se as concentrações letais (= CLs)  $\text{CL}_{25}$  e  $\text{CL}_{50}$ . Assim, discos foliares (14 cm de diâmetro) foram imersos nas soluções das respectivas CLs ou espalhante adesivo, totalizando cinco tratamentos: i)  $\text{CL}_{25}$  do ciantraniliprole; ii)  $\text{CL}_{50}$  do ciantraniliprole; iii)  $\text{CL}_{25}$  do espinetoram; iv)  $\text{CL}_{50}$  do espinetoram; e v) tratamento controle. Em seguida, discos tratados

foram acondicionados em placas de Petri de vidro (5 cm de diâmetro), forradas com papel filtro umedecido, totalizando vinte placas (= repetições) por tratamento. Sobre cada disco de folha tratado foram liberadas dez larvas de terceiro ao quarto instar de *P. xylostella* privadas de alimentação por 24 h para forçar o consumo das folhas contaminadas. Após esse período, duas fêmeas do parasitoide ( $\leq 48$  h de idade) previamente acasaladas foram introduzidas em cada placa, tendo como alimento um filete de mel puro ofertado nas laterais da placa. Após 72 h de confinamento, as pupas formadas foram transferidas para tubos de vidro de fundo chato (38 mm diâmetro) até emergência do parasitoide ou traça. Neste bioensaio foi quantificado o número de larvas mortas, pupas formadas, pupas mortas (sem emergência de parasitoides), pupas parasitadas (com emergência de parasitoides) e mariposas emergidas. Parasitoides emergidos deste experimento (F1) foram expostos a resíduos dos inseticidas testados nas CL<sub>25</sub> e CL<sub>50</sub> para avaliar o efeito subletal desses inseticidas sobre *T. howardi*. Após 72 h de confinamento, pupas formadas foram transferidas para tubos de vidro de fundo chato (38 mm diâmetro) até emergência dos adultos do parasitoide ou traça. Os dados foram verificados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade pelo teste de Levene e foram submetidos a ANOVA (SAS Institute 2001), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Todas as análises foram realizadas usando estatística software SAS 9.0 (SAS Institute, 2002).

## Resultados

**Exposição ao Resíduo Seco.** A sobrevivência média de *T. howardi* exposto ao resíduo seco os inseticidas testados na dosagem recomendada ou 50% desta em discos de folhas de couve tratados variou de 84,5% a 83,4% e não diferiu significativamente do tratamento controle, que atingiu 84,5% ( $\chi^2 = 5,42$ ;  $P = 0,24$ ). Semelhantemente, parasitoides expostos ao resíduo seco dos mesmos inseticidas, nas mesmas concentrações, porém em superfície inerte, apresentaram sobrevivência

variando de 86,3% a 85,3%, não diferindo significativamente do tratamento controle, que atingiu 84,5% ( $\chi^2 = 0,59$ ;  $P = 0,96$ ).

#### **Toxicidade Residual de Ciantraniliprole e Espinetoram após Diferentes Intervalos de**

**Aplicação.** A sobrevivência média de *T. howardi* exposto ao resíduo seco de ciantraniliprole e espinetoram aplicados em plantas de couve em diferentes intervalos foi de 90%, não sendo afetada pelo inseticida ( $F_{1,84} = 1,83$ ;  $P = 0,67$ ), pelas concentrações aplicadas ( $F_{2,37} = 1,95$ ;  $P = 0,27$ ), nem pelo intervalo desde a aplicação ( $F_{8,08} = 0,59$ ;  $P = 0,97$ ).

**Concentração-mortalidade de Ciantraniliprole e Espinetoram para *Plutela xylostella*.** Larvas de *P. xylostella* submetidas a sucessivas seleções (geração SF1 de indivíduos criados em laboratório coletadas no município de Chã Grande e RF20 geração de seleção), resultaram em valores de  $CL_{25}$  e  $CL_{50}$  entre 1,91 e 38,4 mg de ciantraniliprole/mL enquanto as  $CL_{25}$  e  $CL_{50}$  para espinetoram variaram de 1,31 a 66,37 mg de espinetoram/mL, respectivamente (Tabela 1). Essas CLs foram utilizadas para calcular a razão de resitência das populações utilizadas nos experimentos.

**Efeito do Ciantraniliprole e Espinetoram no Parasitismo de *P. xylostella* por *T. howardi*.** Em geral não houve efeito significativo na mortalidade de pupas de *P. xylostella* provenientes de larvas alimentadas com discos de folhas de couve tratadas com a  $CL_{25}$  e  $CL_{50}$  dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram (Tabela 1) e confinadas com fêmeas de *T. howardi* durante 72 horas (Tabela 2), mas a exposição das larvas de *P. xylostella* ao parasitismo e folhas tratadas ou não com inseticida em subdoses resultou em diferença significativa na sobrevivência (Tabela 2). Também não houve efeito significativo para emergência de descendentes de *P. xylostella*, nem *T. howardi* (Tabela 2). Contudo, foi possível obter pupas em todos os tratamentos (Tabela 2), com maior quantidade na testemunha que nos tratamentos ciantraniliprole e espinetoram na  $CL_{25}$  e  $CL_{50}$ . Dentre os parasitoides emergidos foram separados casais para acompanhamento dos descendentes e também não apresentaram efeito significativo na quantidade de larvas mortas, pupas mortas,

emergência de *P. xylostella* e emergência de *T. howardi* (Tabela 3). A quantidade de pupas formadas foi baixa em todos os tratamentos (Tabela 3) mesmo diferindo do controle.

## Discussão

O manejo de *P. xylostella* apresenta-se como grande desafio para produtores, técnicos e pesquisadores que lidam com o cultivo de brássicas, especialmente pelo grande número de casos registrados de resistência a inseticidas sintéticos (Jouraku *et al.* 2020, Mota-Sanchez & Wise, 2022). Nesse contexto, o controle biológico aumentativo com parasitoides pode favorecer o manejo dessa praga, principalmente se não competirem com outros agentes de controle biológico e que ofereçam controle para fase de desenvolvimento da praga que escapou de todos os demais fatores naturais de mortalidade que atuaram nas fases de ovo e larva. Dentre estes, o parasitoide *T. howardi* destaca-se pela ocorrência natural parasitando larvas de último instar e pupas de *P. xylostella* (Silva-Torres *et al.* 2010). Além disso, *T. howardi* pode ser criado massalmente em hospedeiro alternativo (*T. molitor*) de fácil produção e baixo custo em laboratório, o que pode viabilizar liberações inundativas em áreas-alvo (Oliveira 2013). Assim, estudos que avaliam a compatibilidade da utilização conjunta do controle químico e controle biológico vêm contribuir para melhor entendimento e delineamento de estratégias para programas de manejo de *P. xylostella*. É importante salientar que na escolha do inseticida para utilização no controle de *P. xylostella*, deve-se levar em consideração o impacto que este xenobiótico terá sobre organismos não-alvo, no caso, *T. howardi*.

Ao avaliar os efeitos do resíduo seco dos inseticidas ciantraniliprole e espinetoram em folhas tratadas e em superfície inerte na dosagem recomendada de campo ou 50% desta na sobrevivência de *T. howardi*, observamos baixa mortalidade. Independente do produto ou concentração usada, a sobrevivência de *T. howardi* foi superior a 80%. Resultados semelhantes foram obtidos por Liu *et al.* (2012), que avaliaram a toxicidade do ciantraniliprole a *Tamarixia trizae* (Burks) (Hymenoptera:

Eulophidae), através de contato residual durante 120 horas. Schlesener *et al.* (2019), investigaram a toxicidade aguda do espinetoram ao parasitoide *Trichopria anastrephae* (Lima) (Hymenoptera: Diapriidae) e relataram que não houve efeitos adversos na sobrevivência do parasitoide. Além disso, quando parasitoides foram expostos ao resíduo do inseticida após diferentes intervalos de aplicação, não houve efeito significativo na sobrevivência dos mesmos. Resultados semelhantes foram obtidos por Wang *et al.* (2019), que avaliaram os efeitos de resíduos de ciantraniliprole em diferentes intervalos ao parasitoide *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae). Schlesener *et al.* (2019) avaliaram o efeito de espinetoram em diferentes intervalos sobre o parasitoide *T. anastrephae* (Lima) (Hymenoptera: Diapriidae) e observaram efeitos inofensivos.

Como esperado, a mortalidade de larvas de *P. xylostella* alimentadas com discos foliares de couve tratados com as CL<sub>25</sub> e CL<sub>50</sub> de ciantraniliprole e espinetoram foi baixa. Após exposição ao parasitoide, a quantidade de pupas mortas, emergência de *P. xylostella* e emergência de *T. howardi*, de maneira geral, não foi afetada significativamente pelos inseticidas. *T. howardi* no momento do parasitismo pode ocasionar a morte de algumas larvas ou pupas de *P. xylostella*. Resultados semelhantes foram obtidos por Amarasekare *et al.* (2016), que quantificaram o efeito da exposição do pulgão *Chromaphis juglandicola* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae) tratados com ciantraniliprole ao parasitoide *Trioxys pallidus* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae) e Asa *et al.* (2012) que avaliaram a eficácia do parasitoide *Trichogramma evenecens* (West.) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) sobre *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (PBW) (Lepidoptera: Gelechiidae) tratados com espinetoram, a emergência de adultos do parasitoide foi por volta de 80%. Nossos resultados corroboram outros estudos que categorizaram ciantraniliprole e espinetoram como não nocivos a insetos benéficos (Silva *et al.* 2016, Machado *et al.* 2019, Costa *et al.* 2020, Bojan, 2021).

Os inseticidas sintéticos constituem uma das principais táticas de controle da traça-das-crucíferas, despertando o interesse em identificar moléculas que causem o mínimo impacto sobre

espécies de inimigos naturais. Nossos resultados indicam que o ciantraniliprole e espinetoram podem ser usados de forma harmonioza com *T. howardi* e outros inimigos naturais no manejo de *P. xylostella*.

### Agradecimentos

A pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001 com bolsa de estudo para RJSSM através do CAPES/PROEX.

### Literatura Citada

**Abbott, W.S. 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol., 18: 265-267.

**Amarasekare, K.G., P.H. Brown & P.W. Shearer. 2019.** Field-aged insecticide residues on *Chrysoperla johnsoni* (Neuroptera: Chrysopidae). J. Econ. Entomol. 112: 2109–2115.

**Asa, S., E.H.M. Tayeb, H.A. Awad & H.M. El-Bassiuony. 2012.** The release of the parasitoid *Trichogramma evancens* to control the pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Saunders) and the side-effect of certain insecticides on it. Alex. Sci. Exch., 33: 1–10.

**Baker, B.P., T.A. Green, A. Thomas & A.J. Loker. 2020.** Biological control and integrated pest management in convenient organic systems Biol. Control., 140: 104095.

**Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). An. da Soc. Entomol. Bras., 28: 3.

**Bojan, V. 2021.** Bioefficacy, phytotoxicity, safety to natural enemies and residues of cyantraniliprole 10 OD on potato (*Solanum tuberosum* L.) under open field condition. Crop Prot., 142: 105505.

**Bueno, A.D.F., G.A. Carvalho, A.C.D. Santos, D.R. Sosa-Gómez & D.M.D. Silva. 2017.** Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation Ciên. Rural, 47: 777–787.

**Costa, P.M.G., R.L. dos Santos, D.V. do Nascimento & J.B. Torres. 2020.** Does spinetoram pose low risk to the neotropical lady beetle *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae)? Phytoparasitica, 48: 491-499.

- Cruz, I., A.C. Redoan, R.B. Silva, M.L.C. Figueiredo & A.M. Penteado-Dias. 2011.** New record of *Tetrastichus howardi* (Olliff) as a parasitoid of *Diatraea saccharalis* (Fabr.) Sci. Agric., 68: 252–254.
- Fernandes, F.L., L. Bacci & M.S. Fernandes. 2010.** Impact and selectivity of insecticides to predators and parasitoids. EntomoBrasilis, 3: 1–10.
- Floriano, E.T., F.P. Fagundes, S.K. Oliveira, B.R. Hidalgo, C.R.C. Garcia & Z.J. Cola. 2018.** Biological quality of *Tetrastichus howardi* (Hym.: Eulophidae) reared with *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupae after storage at low temperatures for different periods. PeerJ., 6: 2686.
- Gao, Y., K. Kim, D.H. Kwon, I.H. Jeong, J.M. Clark & S.H. Lee. 2018.** Transcriptome-based identification and characterization of genes commonly responding to five different insecticides in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. Pestic. Biochem. Phys., 144: 1–9.
- Jouraku, A., S. Kuwazaki, K. Miyamoto, M. Uchiyama, T. Kurokawa, E. Mori & S. Sonoda. 2020.** Ryanodine receptor mutations (G4946E and I4790K) differentially responsible for diamide insecticide resistance in diamondback moth, *Plutella xylostella* L. Insect Biochem. Mol. Biol. 118: 103308.
- Klapwijk, M.J., H. Bylund, M. Schroeder & C. Björkman. 2016.** Forest management and natural biocontrol of insect pests. Forestry. 89: 253–62. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw019>.
- Liu, T.X., Y.M. Zhang, L.N. Peng, P. Rojas & J.T. Trumble. 2012.** Risk assessment of selected insecticides on *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Trizoidae). J. Econ. Entomol. 105: 490–496.
- Machado, A.V., D.M. Potin, J.B. Torres & C.S.S. Torres. 2019.** Selective insecticides secure natural enemies' action in cotton pest management. Ecotoxicol. Environ. Saf., 184: 109669.
- Mota-Sanchez, D. & J.C. Wise. 2022.** The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. On-line at: <http://www.pesticideresistance.org>
- Oliveira, F.G D. 2013.** Multiplicação de *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) em pupas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) e de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: crambidae). Dissertação (Mestrado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade) – Faculdades de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados. 33p.
- Oliveira, H.N., J. Simonato, D.F. Glaeser & F. Fagundes Pereira. 2016.** Parasitism of *Helicoverpa armigera* pupae (Lepidoptera: Noctuidae) by *Tetrastichus howardi* and *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae). Ciên. Agrárias, 37:111-115.
- Pereira, F.F., S.O. Kassab, V.R.F. Calado, E.L. Vargas, H.N. de Oliveira & J.C. Zanoncio. 2015.** Parasitism and emergence of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) larvae, pupae and adults. Fla. Entomol., 98: 377–380.

- Rodrigues, A., F.F. Pereira, P.R. Barbosa, C.S. Silva-Torres & J.B. Torres. 2021.** Parasitism Behavior of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on Larvae and Pupae of Sugarcane Borers. *J. Insect Behav.* 1: 11.
- Sarfraz, M., A.B. Keddie & L.M. Dosdall. 2005.** Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Bio. Sci.Tech.* 15: 763–789. *Bio. Sci.Tech.* 15: 763–789.
- SAS Institute, 2002.** SAS/STAT User’s Guide, Release 9.0 SAS Institute, Cary, NC.
- Schlesener, D.C.H., J. Wollmann, J.D.B. Pazini, A.C. Padilha, A.D. Grützmacher & F.R.M. Garcia. 2019.** Insecticidal toxicity to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) parasitoids: *Trichopria anastrephae* (Hymenoptera: Diapriidae) and *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Econ. Entomol.* 112: 1197–1206.
- Silva, R.S., A.C. Tomaz, M.C. Lopez, J.C. Martins, V.M. Xavier, M.C. Picanço. 2016.** Toxicity 455 of botanical insecticides on *Diaphania hyalinata*, their selectivity for the predatory ant 456 *Paratrechina* sp., and their potential phytotoxicity on pumpkin. *Int. J. Pest Manag.* 62: 95–104. <https://doi.org/10.1080/09670874.2015.1111466>.
- Silva-Torres, C.S.A., I.V.A.F. Pontes, J.B. Torres & R. Barros. 2010.** New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil. *Neot. Entomol.*, 5: 835–838.
- Taggar, G.K. & R.S. Gill. 2016.** Host plant resistance in *Vigna* sp. towards whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius): a review. *Entomol. Gen.* 36: 1–24.
- Torres, J.B. & A.D.F. Bueno. 2018.** Biological conservation control using selective insecticides - a valuable tool for IPM. *Bicontrol*, 126: 53–64.
- Truong, D.H., H.C. Nguyen, J. Bauwens, G. Mazzucchelli, G. Lognay & F. Francis. 2018.** Plant defense in response to chewing insects: proteome analysis of *Arabidopsis thaliana* damaged by *Plutella xylostella*. *J. Pl. Interact.*, 13: 30–36.
- Wang, Z., P. Dai, X. Yang, C.C. Ruan, A. Biondi, N. Desneux & L.S. Zang. 2019.** Selectivity of novel and traditional insecticides used for management of whiteflies on the parasitoid *Encarsia formosa*. *Pest Manag. Sci.* 75: 2716–2724.

1773 Tabela 1. Concentrações letais de ciantraniliprole (CIAN) e espinetoram (ESP) a 25% e 50% (CL<sub>25</sub> e CL<sub>50</sub>, respectivamente) de larvas  
 1774 de *Plutella xylostella* mantidas em laboratório sem (SF1) e com pressão de seleção há 20 gerações (RF20). Temperatura: 25 ± 1 °C; U.R.:  
 1775 65 ± 5% e fotoperíodo de 12:12 h (L:E).

| Pop. <sup>1</sup> | n   | GL <sup>3</sup> | Inclinação ± EP <sup>4</sup> | CL <sub>25</sub> (LC95%) <sup>5</sup> | CL <sub>50</sub> (LC95%) <sup>5</sup> | RR <sub>50</sub> (IC95%) <sup>6</sup> | χ <sup>2(7)</sup> |
|-------------------|-----|-----------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| SF1 (CIAN)        | 270 | 7               | 0,75 ± 0,7                   | 1,91<br>(0,77-2,62)                   | 5,70<br>(4,24-6,84)                   |                                       | 3,26              |
| RF20 (CIAN)       | 270 | 7               | 1,58 ± 0,1                   | 24,59<br>(12,51-36,79)                | 38,40<br>(21,85-51,35)                | 6,73<br>(2,53-8,91)                   | 4,49              |
| SF1 (ESP)         | 270 | 7               | 1,37 ± 0,5                   | 1,31<br>(0,2-1,92)                    | 3,74<br>(2,66-5,04)                   |                                       | 2,83              |
| RF20 (ESP)        | 270 | 7               | 2,02 ± 0,3                   | 31,58<br>(11,77-45,59)                | 66,37<br>(46,86-76,88)                | 17,74<br>(13,68-26,03)                | 2,76              |

1776 <sup>1</sup>Populações de *Plutella xylostella*,

1777 <sup>2</sup>Número total de insetos utilizados,

1778 <sup>3</sup>Graus de liberdade,

1779 <sup>4</sup>Erro padrão,

1780 <sup>5</sup>Concentrações letais a 25% e a 50% dos indivíduos,

1781 <sup>6</sup>Razão de resistência,

1782 <sup>7</sup>Qui-quadrado.

1783 Tabela 2. Efeito do ciantraniliprole e espinetoram no parasitismo de larvas de *Plutella xylostella* por *Tetrastichus howardi* no intervalo  
 1784 de 72 horas. Temperatura:  $25 \pm 1$  °C; U.R.:  $65 \pm 5\%$  e fotoperíodo de 12:12 h (L:E).

| Parâmetros                     | n   | Controle    | Ciantraniliprole                |                                 | Espinetoram                     |                                 | Estatística             |                 |        |
|--------------------------------|-----|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|--------|
|                                |     |             | CL <sub>25</sub> <sup>(1)</sup> | CL <sub>50</sub> <sup>(1)</sup> | CL <sub>25</sub> <sup>(1)</sup> | CL <sub>50</sub> <sup>(1)</sup> | $\chi^2$ <sup>(2)</sup> | GL <sup>3</sup> | P      |
| Larvas mortas                  | 160 | 1,99 ± 0,40 | 1,67 ± 0,58                     | 1,89 ± 0,69                     | 1,43 ± 0,86                     | 2,01 ± 0,60                     | 10,46                   | 4               | 0,3381 |
| Pupas mortas                   | 100 | 1,39 ± 0,55 | 1,40 ± 0,54                     | 1,25 ± 0,57                     | 1,68 ± 0,56                     | 1,51 ± 0,45                     | 1,29                    | 4               | 0,8618 |
| Pupas formadas                 | 740 | 3,13 ± 0,16 | 2,99 ± 0,30                     | 2,55 ± 0,67                     | 2,80 ± 0,61                     | 2,52 ± 0,48                     | 37,38                   | 4               | <0,001 |
| <i>P. xylostella</i> emergidas | 131 | 1,14 ± 0,43 | 1,07 ± 0,51                     | 1,00 ± 0,43                     | 1,31 ± 0,40                     | 1,06 ± 0,35                     | 2,65                    | 4               | 0,6172 |
| <i>T. howardi</i> emergidos    | 471 | 2,44 ± 0,63 | 2,29 ± 0,65                     | 2,06 ± 0,53                     | 2,25 ± 0,54                     | 1,99 ± 0,42                     | 4,04                    | 4               | 0,3994 |

1785 <sup>1</sup>Concentrações letais a 25% e a 50% das 200 larvas de *Plutella xylostella* inicialmente expostas aos inseticidas.

1786 <sup>2</sup> Qui-quadrado,

1787 <sup>3</sup>Graus de liberdade.

1788

1789 Tabela 3. Efeito do ciantraniliprole e espinetoram no parasitismo de larvas de *Plutella xylostella* pela geração F1 de *Tetrastichus howardi*  
 1790 no intervalo de 72 horas. Temperatura:  $25 \pm 1$  °C; U.R.:  $65 \pm 5\%$  e fotoperíodo de 12:12 h (L:E).

| Parâmetros                     | n   | Controle        | Ciantraniliprole                |                                 | Espinetoram                     |                                 | Estatística             |                 |        |
|--------------------------------|-----|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|--------|
|                                |     |                 | CL <sub>25</sub> <sup>(1)</sup> | CL <sub>50</sub> <sup>(1)</sup> | CL <sub>25</sub> <sup>(1)</sup> | CL <sub>50</sub> <sup>(1)</sup> | $\chi^2$ <sup>(2)</sup> | GL <sup>3</sup> | P      |
| Larvas mortas                  | 136 | 1,04 0,42       | 1,33 $\pm$ 0,58                 | 2,01 $\pm$ 0,68                 | 1,51 $\pm$ 0,82                 | 2,11 $\pm$ 0,58                 | 8,61                    | 4               | 0,0714 |
| Pupas mortas                   | 100 | 1,49 $\pm$ 0,57 | 1,40 $\pm$ 0,69                 | 1,09 $\pm$ 0,50                 | 1,34 $\pm$ 0,64                 | 1,15 $\pm$ 0,53                 | 2,53                    | 4               | 0,6388 |
| Pupas formadas                 | 764 | 3,11 $\pm$ 0,16 | 2,96 $\pm$ 0,30                 | 2,47 $\pm$ 0,64                 | 2,79 $\pm$ 0,61                 | 2,44 $\pm$ 0,50                 | 35,13                   | 4               | <0,001 |
| <i>P. xylostella</i> emergidas | 95  | 1,29 $\pm$ 0,57 | 1,33 $\pm$ 0,61                 | 1,11 $\pm$ 0,52                 | 1,22 $\pm$ 0,56                 | 1,18 $\pm$ 0,46                 | 1,74                    | 4               | 0,7825 |
| <i>T. howardi</i> emergidos    | 478 | 2,44 $\pm$ 0,63 | 2,29 $\pm$ 0,65                 | 2,06 $\pm$ 0,53                 | 2,20 $\pm$ 0,55                 | 1,99 $\pm$ 0,42                 | 3,99                    | 4               | 0,4070 |

1791 <sup>1</sup>Concentrações letais a 25% e a 50% dos indivíduos de 200 larvas,

1792 <sup>2</sup> Qui-quadrado,

1793 <sup>3</sup>Graus de liberdade.

1794

## CAPÍTULO 4

### Considerações finais

Devido a grande dificuldade de manejo da traça-das-crucíferas em todo mundo com o uso exclusivo do controle químico, existe uma busca contínua por métodos alternativos e menos danosos ao meio ambiente para o controle dessa praga. Nesse contexto, um grande número de espécies de inimigos naturais (predadores e parasitoides) são relatados como candidatos ao controle de *P. xylostella*. Entretanto, algumas características são importantes de serem avaliadas quanto ao potencial de um inimigo natural, tais como seu desempenho reprodutivo e crescimento populacional, entre outras.

Uma das metodologias empregadas para avaliar o potencial de um inimigo natural, a tabela de vida de fertilidade e os parâmetros avaliados podem nos ajudar compreender a dinâmica de populações de um organismo, no caso o inimigo natural, dentro de um agroecossistema. Nesse estudo podemos verificar que o parasitoide *T. howardi* parasita preferencialmente pupas de *P. xylostella*, similarmente a outros hospedeiros estudados em outros trabalhos. Também constatamos a maior viabilidade e crescimento populacional desse parasitoide sobre o hospedeiro alternativo *T. molitor*, uma espécie que já se utiliza em criações massais de vários outros inimigos naturais, com metodologia de criação estabelecida a baixo custo. Dessa forma, a produção de *T. howardi* em maior escala deverá ser preconizada no hospedeiro alternativo, mas a resposta de atração e parasitismo sobre a praga alvo, *P. xylostella* não são afetados visto que não sofreu condicionamento pré-imaginal e manteve a taxa de parasitismo sobre *P. xylostella*. Outro ponto importante a se relatar é que *T. howardi* originado de *T. molitor* tem um alto índice de mortalidade do hospedeiro (*P. xylostella*), que pode chegar a quase 100% após o parasitismo em laboratório. Estudos futuros poderão definir padrões que ocasionariam essa alta taxa de mortalidade em condições de campo para indivíduos provenientes de criações massais em hospedeiro alternativo.

Outro fator importante a ser considerado no manejo de *P. xylostella* é que o controle biológico na maioria das vezes não é suficiente de manter as populações da praga abaixo do nível de dano, sendo necessário a implementação de outras táticas de controle. Em geral, o controle químico é a estratégia escolhida na tentativa de redução rápida da população da praga para prevenir prejuízos econômicos. Entretanto, a incompatibilidade entre os controles químico e biológico no Manejo Integrado de Pragas (MIP) é um dos maiores desafios da agricultura. Isso se dá pelo fato que grande parte dos inseticidas usados no controle de pragas poderem também atingir agentes de controle biológico. O modelo ideal com a utilização de inseticidas seletivos, almeja a preservação de organismos não alvos e inimigos naturais, além de, ocasionar uma redução da pressão de seleção no agroecossistema, pois, com o controle biológico efetivo, cada vez menos aplicações de inseticidas serão necessárias. Os resultados obtidos nesse estudo mostram a possível integração do parasitoide *T. howardi* com os inseticidas ciantraniliprole e espinetoram para o controle de *P. xylostella*, visto que esses produtos causaram baixo impacto sobre o inimigo natural. Assim, espera-se que após pulverizações com esses produtos para o controle da praga, ainda haja a preservação de *T. howardi* em campo, sem prejuízos na sua sobrevivência e capacidade de parasitismo.

Por fim, podemos concluir que *T. howardi*, criado em hospedeiro alternativo *T. molitor*, pode ser implementado no manejo de *P. xylostella*. O desenvolvimento nesse hospedeiro alternativo garante a capacidade de parasitismo desse parasitoide sobre a traça-das-crucíferas. Os inseticidas ciantraniliprole e espinetoram podem ser recomendados, caso necessário, para integrar ao manejo dessa praga, pois ocasionam baixo impacto à esse inimigo natural.