



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA  
DOUTORADO EM FITOTECNIA

BÁRBARA KARINE DE ALBUQUERQUE SILVA

**INTERAÇÃO COMPETITIVA E CAPACIDADE DE PARASITISMO DE *Tetrastichus*  
*giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**

MOSSORÓ

2021

BÁRBARA KARINE DE ALBUQUERQUE SILVA

**INTERAÇÃO COMPETITIVA E CAPACIDADE DE PARASITISMO DE *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Entomologia

Orientador: Elton Lucio de Araujo, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586i      Silva, Bárbara Karine de. Albuquerque  
INTERAÇÃO COMPETITIVA E CAPACIDADE DE  
PARASITISMO DE *Tetrastichus giffardianus*  
(HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) / Bárbara Karine de  
Albuquerque Silva. - 2021.  
57 f.: il.

Orientador: Elton Lucio de Araujo.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural  
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia,  
2021.

1. Mosca-do-mediterrâneo. 2. Interação interespecífica.  
3. Competição intrínseca. 4. Localização hospedeira. 5.  
Semiárido brasileiro.

I. Araujo, Elton Lucio de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BÁRBARA KARINE DE ALBUQUERQUE SILVA


**INTERAÇÃO COMPETITIVA E CAPACIDADE DE PARASITISMO DE *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE)**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Entomologia

Defendida em: 26 / 02 / 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Elton Lucio de Araujo, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente



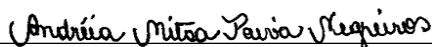
---

Jacinto de Luna Batista, Prof. Dr. (UFPB)  
Membro Examinador



---

Elania Clementino Fernandes, Dra. (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Andreia Mitsa Paiva Negreiros, Dra. (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Rui Sales Junior, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

*Ana Cláudia Cabral de Albuquerque*  
**Ofereço**

## AGRADECIMENTOS

A realização desta tese só foi possível graças à contribuição, de forma direta ou não, de várias pessoas, às quais gostaria de exprimir algumas palavras de agradecimento e profundo reconhecimento. Em particular:

Agradeço a Deus, em sua infinita bondade, pelas graças concedidas.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), seu corpo docente, direção e administração, que oportunizaram uma educação de qualidade; especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da instituição.

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

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Elton Lucio de Araujo, pela disponibilidade e empenho neste trabalho, orientação científica e cordialidade durante todo o percurso.

Agradeço a toda equipe de trabalho do Laboratório de Entomologia Aplicada da UFERSA, sem os quais, estou segura, não teria conseguido chegar até aqui, em especial à Elania C. Fernandes, Alcimar Galdino de Lira, Hellanny Matos da Silva e Gthielly Maira Fernandes, pela parceria e apoio durante toda a execução do trabalho, essenciais nessa etapa profissional.

À família e amigos (Fernanda Dantas, Juan Guerra, Jéssica Santos, Alricélia Lima, Vitória Melo, Isaac Alves, João Marcos, Isabela Sousa e Lúcia Souza), pelo amor, incentivo, apoio e esperanças; devo-lhes mais pelo alento e confiança que me conseguiram transmitir. Em especial a Pedro Ramon H. de Oliveira, ouvinte atento de inquietações, desânimos e sucessos ao longo desse percurso.

Desde já peço desculpas àquelas pessoas que não estão presentes entre estas palavras, mas que podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e da minha gratidão.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças”.

Charles Darwin

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 02 — INTERAÇÃO COMPETITIVA ENTRE O ENDOPARASITOIDE GREGÁRIO *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) E O ECTOPARASITOIDE SOLITÁRIO *Pachycrepoideus vindemmiae* (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE)

- Figura 1.** Larvas de 2º ínstar de *Tetrastichus giffardianus* com a presença de cicatrizes (manchas pequenas, escuras e melanizadas, no pupário hospedeiro) depois de ser hiperparasitada por fêmeas de *Pachycrepoideus vindemmiae* ..... 32
- Figura 2.** Correlação entre a mortalidade de larvas de *Tetrastichus giffardianus* (Tg) e a presença de imaturos de *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pv) sobre hospedeiros multiparasitados em função do tempo ..... 33
- Figura 3.** Larvas de *Pachycrepoideus vindemmiae* sobre larvas do parasitoide primário *Tetrastichus giffardianus* (A); Larva morta (B); Ataque físico entre larvas de *P. vindemmiae* (C)..... 33

### CAPÍTULO 03 — CAPACIDADE DE PARASITISMO DE *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM LARVAS DE *Ceratitis capitata* (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

- Figura 1.** Gaiola de campo: A) Vista frontal geral; B) Visão interna..... 46
- Figura 2.** Descrição fotográfica do substrato de oviposição utilizado para exposição em gaiolas de campo à *Tetrastichus giffardianus* ..... 47
- Figura 3.** Boxplot do número de descendentes de *Tetrastichus giffardianus* emergidos de *Ceratitis capitata*, em dois locais de forrageamento (copa e solo) ..... 50



## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 02 — INTERAÇÃO COMPETITIVA ENTRE O ENDOPARASITOIDE GREGÁRIO *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) E O ECTOPARASITOIDE SOLITÁRIO *Pachycrepoideus vindemmiae* (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE)**

**Tabela 1.** Porcentagem de parasitismo P (%), número de descendentes (ND) e percentual de emergência E (%) de *Tetrastichus giffardianus* (Tg) e *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pv) em larvas/pupas de *Ceratitis capitata*, obtidas da ação isolada ou em competição ..... 31

### **CAPÍTULO 03 — CAPACIDADE DE PARASITISMO DE *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM LARVAS DE *Ceratitis capitata* (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO**

**Tabela 1.** Dados da atividade parasitária (média  $\pm$  erro padrão) de *Tetrastichus giffardianus* sobre larvas de *Ceratitis capitata* sob condições de semicampo, em um ambiente semiárido, Mossoró/RN, Brasil. .... 49

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 01 - INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 02 — INTERAÇÃO COMPETITIVA ENTRE O ENDOPARASITOIDE GREGÁRIO <i>Tetrastichus giffardianus</i> (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) E O ECTOPARASITOIDE SOLITÁRIO <i>Pachycrepoideus vindemmiae</i> (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE).....</b>	<b>25</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
2.1 Criação dos insetos .....	29
2.2 Avaliação da competição .....	29
2.3 Cálculo dos parâmetros biológicos.....	30
2.4 Análises dos dados.....	30
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 Competição .....	31
3.2 Interações competitivas.....	32
<b>4 DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 03 — CAPACIDADE DE PARASITISMO DE <i>Tetrastichus giffardianus</i> (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM LARVAS DE <i>Ceratitis capitata</i> (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO .....</b>	<b>41</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
2.1 Criação dos insetos .....	45
2.2 Condições experimentais .....	45
<b>2.2.1 Unidades de oviposição.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.2 Oferta dos frutos em campo.....</b>	<b>47</b>
2.3 Caracteres avaliados .....	48
2.4 Análises estatísticas .....	48
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>

<b>4</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

As moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) são pragas-chave para a fruticultura mundial, em virtude dos danos diretos e indiretos ocasionados à produção de frutas e do elevado custos de controle. Os prejuízos econômicos podem chegar a US\$ 200 milhões/ano (OLIVEIRA et al., 2013), razão pela qual esses dípteros constituem o principal entrave à produção e comercialização de frutas (CLARKE et al., 2005).

Os tefritídeos-praga são reconhecidos principalmente pelo desenvolvimento larval que se dá no interior dos frutos, ocasionando desbalanço hormonal, culminando com a necrose da região afetada e, posteriormente, queda do fruto (NAVA; BOTTON, 2010), além do dano decorrente da punctura de oviposição realizada pelas fêmeas, que favorece o desenvolvimento de patógenos (ENGELBRECHT; HOLZ; PRINGLE, 2004; BADI et al., 2015).

A mosca-do-mediterrâneo *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) se destaca dentre as espécies de tefritídeos-praga por estar entre os fatores de maior restrição quarentenária e pelas perdas significativas ao setor de produção de frutas (PARANHOS et al., 2008). É uma das espécies de moscas-das-frutas mais estudadas e que ataca o maior número de hospedeiros comerciais (NASCIMENTO; CARVALHO, 2000). Atualmente, essa espécie ocorre em 24 unidades da federação brasileira, não havendo registros apenas em dois estados da região Norte (Amapá e Amazonas) (ZUCCHI; MORAES, 2020).

O controle dessas moscas normalmente é realizado com a aplicação de inseticidas na forma de isca tóxica ou em pulverizações na área total (RAGA; SATO, 2016). Porém, com as exigências do mercado consumidor de frutas *in natura* (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018), aliado a redução dos resíduos exigida pelos países importadores de frutas (OLIVEIRA; LUCCHESI, 2013), os fruticultores tem cada vez mais restrições de uso de inseticidas para o controle desses dípteros. Diante disso, novas estratégias visando ao controle biológico de tefritídeos têm sido incorporadas no manejo dessas pragas em campo (BALE; VAN LENTEREN; BIGLER, 2008; PINOTTI; SANTOS, 2013; PEREZ-ALVAREZ; NAULT; POVEDA, 2019).

O controle biológico de pragas agrícolas por meio de inimigos naturais tem sido uma das principais e mais bem sucedidas formas de regular as populações-praga e reduzir as perdas produtivas causadas por elas (HAJEK; EILENBERG, 2004), além de ser uma alternativa de base ecológica ao uso de inseticidas.

Na região neotropical, os agentes de controle biológicos das moscas-das-frutas mais eficientes são os parasitoides pertencentes às famílias Braconidae, Chalcididae, Diapriidae, Eulophidae, Figitidae e Pteromalidae (AGUIAR-MENEZES; MENEZES; LOIÁCONO, 2003; BITTENCOURT et al., 2012). Desses, os endoparasitoides larvais (cenobiontes) estão entre os mais abundantes nessa região, razão pela qual são frequentemente usados em programas de manejo de moscas-das-frutas (SUAREZ et al., 2014; GONÇALVES et al., 2016; MONTOYA et al., 2016).

Embora existam inúmeros parasitoides nativos, a criação massal dessas espécies é difícil, principalmente em virtude da maior atração por larvas quando em associação a frutos, o que encarece os custos de produção e multiplicação desses inimigos naturais (GARCIA; RICALDE, 2013). Além disso, em plantios comerciais as populações de parasitoides nativos muitas vezes não são suficientes para regular a densidade da praga (OCTRIANA, 2010). Com isso, o controle biológico aplicado tem se tornado de grande valia nesse manejo a partir da produção massal e liberações de parasitoides em campo (MONTOYA et al., 2000).

Os primeiros programas com liberações (controle biológico aplicado) em escala de parasitoides de moscas-das-frutas foram conduzidos com sucesso em países como Estados Unidos (CLAUSEN; CLANCY; CHOCK, 1965; PITZER et al., 2011), México (GUILLEN; ENKERLIN; WONG, 1991; REYES; GUILLERMO; HERNANDEZ, 2000), Bolívia (ROGG; CAMACHO, 2000) e Costa Rica (JIRÓN; MEXZON, 1989). Graças ao êxito de controle nesses países, o Brasil também optou pela introdução de parasitoides exóticos utilizados no controle biológico de moscas-das-frutas (OVRUSKI et al., 2000; TAIRA et al., 2013; PARANHOS; NAVA; MALAVASI, 2019; GARCIA et al., 2020).

*Tetrastichus giffardianus* (Silvestri) (Hymenoptera: Eulophidae) foi o primeiro caso de controle biológico clássico (introdução) visando à regulação populacional de *C. capitata* no Brasil (AUTUORI, 1942). Anos mais tarde, *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) também foi introduzido no país, por ser um dos parasitoides mais utilizados em liberações massivas em nível mundial (CARVALHO; NASCIMENTO, 2002; CANCINO; MONTOYA, 2004).

Ambas as tentativas de implementação de parasitoides para o controle das moscas-das-frutas no Brasil não foram bem sucedidos nos locais de introdução, onde se acredita que o principal fator limitante tenha sido o clima da região de liberação (COSTA et al., 2005; MEIRELLES et al., 2016). Contudo, têm crescido os esforços para implementar o uso do controle biológico de tefritídeos com esses parasitoides no país (MEIRELLES et al., 2016; FERNANDES et al., 2019).

Nas últimas décadas, houve significativo aumento do número de estudos sobre os parasitoides de moscas-das-frutas, principalmente no que diz respeito à distribuição, interações com espécies de tefritídeos e plantas hospedeiras, biologia, competição, interações com o ambiente e comportamento (MARINHO et al., 2009; GONÇALVES; SCHERER; OLIVEIRA, 2014). Pesquisas recentes têm constatado a presença de *T. giffardianus* no nordeste brasileiro, demonstrando adaptabilidade deste eulofídeo ao ambiente semiárido (ARAUJO et al., 2015).

O comportamento de busca e oviposição dos parasitoides fêmeas está diretamente relacionado ao comprimento do ovipositor, considerado uma característica funcional que exhibe uma considerável variação entre as espécies (SMITH, 1970; QUICKE et al., 1994). Nos parasitoides da família Braconidae, o tipo de casca, a espessura da polpa e o tamanho do fruto podem influenciar o nível de parasitismo dessas espécies (LÓPEZ; ALUJA; SIVINSKI, 1999; SIVINSKI; VULINEC; ALUJA, 2001). Por sua vez, o figitídeo *Aganaspis pelleranoi* (Brèthes) utiliza principalmente a vibrotaxia para identificar larvas enquanto andam sobre a superfície do fruto. Além disso, as fêmeas também são capazes de penetrar no fruto e se mover em busca de larvas hospedeiras (OVRUSKI, 1994; GUIMARÃES; ZUCCHI, 2004). De forma semelhante, o eulofídeo *T. giffardianus*, pelo comprimento do ovipositor e tamanho corporal reduzidos, necessitou alcançar maiores nichos de forrageamento e, como característica evolutiva, busca seus hospedeiros adentrando por aberturas naturais nas frutas (PEMBERTON; WILLARD, 1918). Apesar disso, os relatos visando a avaliar a bioecologia e o comportamento de *T. giffardianus* em condições de semicampo ou campo são escassos.

Durante o processo de localização hospedeira, os parasitoides podem experimentar complexas interações intraguilda, que desempenham importante papel na coexistência das espécies e consequências para o controle de pragas (ROSENHEIM et al., 1995; BOIVIN; BRODEUR, 2007). Após a liberação, o estabelecimento desses parasitoides em campo pode tornar a interação entre as espécies mais complexa, uma vez que ainda não houve a oportunidade de seleção de nicho (PEDERSEN; MILLS, 2004).

Segundo a teoria clássica da competição, duas espécies podem partilhar o mesmo hábitat, mas não podem ocupar o mesmo nicho ecológico por longo tempo, havendo o deslocamento de uma delas para um ambiente marginal ou um declínio na eficácia do controle (WANG; BOKONON-GANTA; MESSING, 2008; PARANHOS et al., 2013). A sobreposição de nichos e a simultânea ocorrência espacial e temporal ocasionarão interações competitivas entre os indivíduos (KAPLAN; DENNO, 2007; HARVEY; POELMAN; TANAKA, 2013), mas isso não implica necessariamente que a coexistência dentro de habitats

seja impossível. A competição é atenuada graças ao particionamento de habitats e à segregação de nichos de forrageamento, que permitem a coexistência dessas espécies (MORRIS, 2003).

A competição entre as espécies (interespecífica) pode ocorrer tanto de modo extrínseco, entre adultos em um mesmo habitat, quanto de modo intrínseco, entre as fases imaturas dos parasitoides (HARVEY; POELMAN; TANAKA, 2013; CUSUMANO; PERI; COLAZZA, 2016). Esse tipo de interação competitiva, por sua vez, quando ocorre promove redução na fecundidade, crescimento ou sobrevivência de uma das espécies em questão (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006).

De acordo com a teoria de nicho convencional, o principal determinante da competição é a sobreposição e/ou escassez de recursos (alimentação, reprodução e abrigo), proporcionando oportunidades para respostas competitivas (a capacidade de uma espécie suportar a competição exercida por outras espécies) e efeitos competitivos (os efeitos negativos de uma espécie sobre a outra) (GOLDBERG; BARTON, 1992).

No geral, há ampla superioridade competitiva das espécies de ação precoce em parasitoides de moscas-das-frutas, uma vez que a primeira espécie a parasitar começa a ingerir os recursos limitados do hospedeiro antes de outros competidores (CUSUMANO; PERI; COLAZZA, 2016). O parasitoide de ovos, *Fopius arisanus* (Sonan) (Hymenoptera: Braconidae), em competição com outros parasitoides larvais se sobressai por meio da supressão fisiológica (WANG; MESSING; BAUTISTA, 2003; SIME et al., 2008). Isso foi demonstrado por Wang; Messing; Bautista (2003) em experimento de competição entre *F. arisanus* com *D. longicaudata* sobre larvas multiparasitadas de *C. capitata* e *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). Além disso, Yang et al. (2018), investigando o efeito da competição entre os braconídeos *F. arisanus* e *Psytalia incisi* (Silvestri) (Hymenoptera: Braconidae) sobre *B. dorsalis*, observaram que *F. arisanus* ganhou quase todas as competições contra *P. incisi*.

*Diachasmimorpha longicaudata* é um competidor intrínseco que geralmente se sobressai frente a outros parasitoides larvais quando ocorrem competições interespecíficas (WANG; BOKONON-GANTA; MESSING, 2008; PARANHOS et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Apesar disso, em estudos anteriores, esse braconídeo não demonstrou interferência negativa com relação a espécies de parasitoides já estabelecidas em regiões de liberação (SANTOS et al., 2016), o que sugere a possibilidade de coexistência de espécies com particionamento de nichos.

Os ectoparasitoides pupais apresentam algumas características fisiológicas consideradas de grande vantagem evolutiva quando em competição com os parasitoides de ovo/larva, principalmente pela injeção de toxinas paralisantes que ocasionam a mortalidade de endoparasitoides concorrentes presentes em hospedeiro multiparasitado (HARVEY; POELMAN; TANAKA, 2013; YANG et al., 2019). Em virtude disso, são raros os relatos de endoparasitoides larvais se sobressaindo em competição com parasitoides pupais (VAN NIEUWENHOVE et al., 2016).

O que geralmente ocorre é que muitos endoparasitoides larvais completam seu desenvolvimento no pupário hospedeiro (WHARTON; YODER, 2021), ficando susceptíveis ao ataque de hiperparasitoides (WANG; MESSING, 2004a), que podem se alimentar dos parasitoides primários quando na escassez de recursos. Até o momento, apenas alguns parasitoides pupais de moscas-das-frutas foram avaliados quanto às suas potenciais interações com parasitoides larvais (LÓPEZ; ALUJA; SIVINSKI, 1999; WANG; MESSING, 2004b; MONTOYA; GÁLVEZ; DÍAZ-FLEISCHER, 2019).

O ectoparasitoide pupal *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae) é um exemplo de parasitoide primário que pode se desenvolver como hiperparasitoide facultativo quando na escassez de recursos no ambiente, escavando o solo como hábito de forrageamento e busca de seus hospedeiros para oviposição (CHEN et al., 2015; GARCIA et al., 2020; SHIMBORI; COSTA; ZUCCHI, 2020; SILVA et al., 2020).

A não sobreposição de nichos pode ser a melhor opção com relação à liberação de parasitoides em campo e, mesmo quando ocorre sobreposição parcial de nicho, a introdução de múltiplas espécies de parasitoides pode ainda ser benéfica quando considerada a eficiência combinada do parasitismo desses organismos em campo (VARGAS et al., 2007).

Estudos sobre a dinâmica de competição entre inimigos naturais que compartilham a mesma espécie hospedeira são importantes para avaliar sua eficiência de controle sobre as populações de insetos-praga (BOGRÁN; HEINZ; CIOMPERLIK, 2002). Logo, compreender resultados da interação entre esses parasitoides e o potencial dessas espécies em campo é importante para a consolidação de programas de controle biológico quando consideramos múltiplas espécies introduzidas (MURDOCH; BRIGGS; NISBET, 1996; PEDERSEN; MILLS, 2004).



## REFERÊNCIAS

- AGUIAR-MENEZES, E. L.; MENEZES, E. B.; LOIÁCONO, M. S. First record of *Coptera haywardi* Loíacono (Hymenoptera: Diapriidae) as a parasitoid of fruit-infesting Tephritidae (Diptera) in Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 2, p. 355–358, 2003.
- ARAUJO, E. L. et al. Parasitoides (Hymenoptera) de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) no semiárido do Estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira De Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 610–616, 2015.
- AUTUORI, M. Dados a respeito de *Tetrastichus giffardianus* Silv., parasita de *Ceratitis capitata* Wied. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 13, p. 149-162, 1942.
- BADII, K. B.; BILLAH, M. K.; AFREH-NUAMAH, K.; OBENG-OFOR, D. Species composition and host range of fruit-infesting flies (Diptera: Tephritidae) in northern Ghana. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 35, n. 3, p. 137–151, 2015.
- BALE, J. S.; VAN LENTEREN, J. C.; BIGLER, F. Biological control and sustainable food production. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1492, p. 761–776, 2008.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. Ecology: from individuals to ecosystems. In: BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. (org.). **Ecology: from individuals to ecosystems**. [s.l.] Blackwell Publishing, 2006. p. 1–759.
- BITTENCOURT, M. A. L. et al. Parasitoides (Braconidae) associados à *Anastrepha* (Tephritidae) em frutos hospedeiros do Litoral Sul da Bahia. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 811–815, 2012.
- BOGRÁN, C. E.; HEINZ, K. M.; CIOMPERLIK, M. A. Interspecific competition among insect parasitoids: field experiments with whiteflies as hosts in cotton. **Ecology**, v. 83, n. 3, p. 653–668, 2002.
- BOIVIN, G.; BRODEUR, J. Intra-and interspecific interactions among parasitoids: mechanisms, outcomes and biological control. In: BRODEUR, J.; BOIVIN, G. (org.). **Trophic and Guild in Biological Interactions Control**. [s.l.] Springer, 2007. p. 123–144.
- CANCINO, J.; MONTOYA, P. Desirable attributes of mass reared parasitoids for fruit fly control: a comment. **Vedalia - International Journal of Biological Control**, v. 11, n. 1, p. 53–58, 2004.
- CARVALHO, R. S. Biocontrole de moscas-das-frutas: histórico, conceitos e estratégias. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, p. 14–17, 2006.
- CARVALHO, R. S.; NASCIMENTO, A. S. Criação e utilização de *Diachasmimorpha longicaudata* para controle biológico de moscas-das-frutas. In: PARRA, J. R. et al. (org.). **Controle Biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002, p. 65–179.

CHEN, W. et al. Hyperparasitism in a generalist ectoparasitic pupal parasitoid, *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae), on its own conspecifics: When the lack of resource lead to cannibalism. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, p. 1–16, 2015.

CLARKE, A. R. et al. Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation: the *Bactrocera dorsalis* complex of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, v. 50, n. 1, p. 293–319, 2005.

CLAUSEN, C. P.; CLANCY, D. W.; CHOCK, Q. C. **Biological control of the oriental fruit fly (*Dacus dorsalis* Hendel) and the other fruit flies in Hawaii. Technical Bulletin Nº 1322.** Washington, D. C., 1965.

COSTA, V. A. et al. Redescoberta de *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae) após 60 anos da sua introdução no Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 72, n. 4, p. 539–541, 2005.

CUSUMANO, A.; PERI, E.; COLAZZA, S. Interspecific competition/facilitation among insect parasitoids. **Current Opinion in Insect Science**, v. 14, n. 1, p. 12–16, 2016.

ENGELBRECHT, R.; HOLZ, G.; PRINGLE, K. L. Occurrence of fruit-decaying fungi on adult male mediterranean fruit flies (*Ceratitis capitata*) captured in orchards and adjacent vineyards. **South African Journal of Enology & Viticulture**, v. 25, n. 2, p. 48-53, 2004.

FERNANDES, E. C. et al. Rearing technique and demographic parameters of *Tetrastichus giffardianus* Silvestre (Hymenoptera: Eulophidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2201–2208, 2019.

GARCIA, F. R.; RICALDE, M. P. Augmentative biological control using parasitoids for fruit fly management in Brazil. **Insects**, v. 4, n. 1, p. 55-70, 2013.

PARANHOS, B. J.; NAVA, D. E.; MALAVASI, A. Biological control of fruit flies in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e26037, 2019.

GARCIA, F. R. M. et al. Biological control of tephritid fruit flies in the Americas and Hawaii: A review of the use of parasitoids and predators. **Insects**, v. 11, n. 10, p. 1–34, 2020.

GOLDBERG, D. E.; BARTON, A. M. Patterns and consequences of interspecific competition in natural communities: a review of field experiments with plants. **The American Naturalist**, v. 139, n. 4, p. 771–801, 1992.

GONÇALVES, R. B.; SCHERER, V. L.; OLIVEIRA, P. S. The orchid bees (Hymenoptera, Apidae, Euglossina) in a forest fragment from western Paraná state, Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 54, n. 6, p. 63–68, 2014.

GONÇALVES, R. S. et al. Basis for the development of a rearing technique of *Aganaspis pelleranoi* (Hymenoptera: Figitidae) in *Anastrepha fraterculus* (Tephritidae: Diptera). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 3, p. 1094–1101, 2016.

GUILLEN, J. A.; ENKERLIN, D.; WONG, T. T. Y. Reducción poblacional de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. mediante liberaciones inundativas de *Diachasmimorpha longicaudata*

(Himenoptera: Braconidae) en Mazapa de Madera, Chiapas, México. **Vida Tephritidae**, v. 8, p. 5–6, 1991.

GUIMARÃES, J. A.; ZUCCHI, R. A. Parasitism behavior of three species of Eucoilinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) fruit fly parasitoids (Diptera) in Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 2, p. 217–224, 2004.

HAJEK, A. E.; EILENBERG, J. **Natural Enemies: An Introduction to Biological Control**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

HARVEY, J. A.; POELMAN, E. H.; TANAKA, T. Intrinsic inter-and intraspecific competition in parasitoid wasps. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 333–351, 2013.

JIRÓN, L. F.; MEXZON, R. G. Parasitoid hymenopterans of Costa Rica: Geographical distribution of the species associated with fruit flies [Diptera: Tephritidae]. **Entomophaga**, v. 34, n. 1, p. 53–60, 1989.

KAPLAN, I.; DENNO, R. F. Interspecific interactions in phytophagous insects revisited: A quantitative assessment of competition theory. **Ecology Letters**, v. 10, n. 10, p. 977–994, 2007.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518–534, 2018.

LÓPEZ, M.; ALUJA, M.; SIVINSKI, J. Hymenopterous larval-pupal and pupal parasitoids of *Anastrepha* flies (Diptera: Tephritidae) in Mexico. **Biological Control**, v. 15, n. 2, p. 119–129, 1999.

MARINHO, C. F. et al. Parasitóides (Hymenoptera: Braconidae) de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) no Estado de São Paulo: plantas associadas e parasitismo. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 321–326, 2009.

MEIRELLES, R. N. et al. Parasitism of fruit flies (Tephritidae) in field, after the releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) in Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, e673, 2016.

MIRANDA, M. et al. Niche breadth and interspecific competition between *Doryctobracon crawfordi* and *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), native and introduced parasitoids of *Anastrepha* spp. fruit flies (Diptera: Tephritidae). **Biological Control**, v. 82, p. 86–95, 2015.

MONTOYA, P.; GÁLVEZ, C.; DÍAZ-FLEISCHER, F. Host availability affects the interaction between pupal parasitoid *Coptera haywardi* (Hymenoptera: Diiapridae) and larval-pupal parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 109, n. 1, p. 15–23, 2019.

MONTOYA, P. et al. Biological control of *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) in mango orchards through augmentative releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). **Biological Control**, v. 18, n. 3, p. 216–224, 2000.

MONTOYA, P. et al. Natural parasitism in fruit fly (Diptera: Tephritidae) populations in disturbed areas adjacent to commercial mango orchards in Chiapas and Veracruz, Mexico. **Environmental Entomology**, v. 45, n. 2, p. 328–337, 2016.

MORRIS, D. W. Toward an ecological synthesis: A case for habitat selection. **Oecologia**, v. 136, n. 1, p. 1–13, 2003.

MURDOCH, W. W.; BRIGGS, C. J.; NISBET, R. M. Competitive displacement and biological control in parasitoids: a model. **The American Naturalist**, v. 148, n. 5, p. 807–826, 1996.

NASCIMENTO, A. S.; CARVALHO, R. S. Manejo integrado de mosca-das-frutas. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (org.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: Holos, 2000. p. 169–174.

NAVA, D. E.; BOTTON, M. **Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro**. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – Embrapa Clima Temperado, 2010. 29p. (Documento 315).

OCTRIANA, L. Identifikasi dan analisis tingkat parasitasi jenis parasitoid terhadap hama lalat buah *Bactrocera tau* pada tanaman markisa. **Jurnal Hortikultura**, v. 20, n. 2, p. 179–185, 2010.

OLIVEIRA, C. M. et al. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 1, p. 1–15, 2013.

OLIVEIRA, K. M.; LUCCHESI, G. Controle sanitário de agrotóxicos no Brasil: o caso do metamidofós. **Tempus Actas de Saúde Coletiva**, v. 7, n. 1, p. 211–224, 2013.

OVRUSKI, S. et al. Hymenopteran parasitoids on fruit-infesting Tephritidae (Diptera) in Latin America and the southern United States: Diversity, distribution, taxonomic status and their use in fruit fly biological control. **Integrated Pest Management Reviews**, v. 5, n. 2, p. 81–107, 2000.

OVRUSKI, S. M. Comportamiento en la detección del huésped en *Aganaspis pelleranoi* (Brèthes) (Hymenoptera: Cynipoidea, Eucilidae) parasitoide de larvas de *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera: Tephritidae). **Revista de la Sociedad Entomologica Argentina**, v. 53, n. 1985, p. 121–127, 1994.

PARANHOS, B. J.; NAVA, D. E.; MALAVASI, A. Biological control of fruit flies in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e26037, 2019.

PARANHOS, B. J. et al. Monitoramento de moscas-das-frutas e o seu manejo na fruticultura irrigada do Submédio São Francisco, **Embrapa - Semiárido**, 2008.

PARANHOS, B. J. et al. Intrinsic competition and competitor-free-space influence the coexistence of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) of neotropical Tephritidae (Diptera). **Environmental Entomology**, v. 42, n. 4, p. 717–723, 2013.

- PEDERSEN, B. S.; MILLS, N. J. J. Single vs. multiple introduction and niche overlap roles of parasitoid efficiency, antagonism and niche overlap. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 1925, p. 973–984, 2004.
- PEMBERTON, C. E.; WILLARD, H. F. A contribution to the biology of fruit-fly parasites in Hawaii. **Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 8, p. 419–465, 1918.
- PEREZ-ALVAREZ, R.; NAULT, B. A.; POVEDA, K. Effectiveness of augmentative biological control depends on landscape context. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019.
- PINOTTI, M. M. Z.; SANTOS, J. C. P. From the ancient times of the agriculture to the biological control in plants: a little of the history. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1797–1803, 2013.
- PITZER, J. B. et al. Seasonal abundance of stable flies and filth fly pupal parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) at Florida equine facilities. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 3, p. 1108–1115, 2011.
- QUICKE, D. L. J.; FITTON, M. G.; TUNSTEAD, J. R.; INGRAM, S. N.; GAITENS, P. V. Ovipositor structure and relationships with in the Hymenoptera, with special reference to the Ichneumonoidea. **Journal of Natural History**, v. 28, p. 635-682, 1994.
- RAGA, A.; SATO, M. E. **Controle Químico de Moscas-das-Frutas**: Documento Técnico 20. Instituto Biológico, São Paulo, v. 20, p. 1-14, 2016.
- REYES, F. J.; GUILLERMO, M. S.; HERNANDEZ, M. P. **The Mexican fruit fly eradication programme**. In: TAN, K. H. (org.), *Area-Wide Control of Fruit Flies and Other Insect Pests*. Penerbit Universiti Sains, Penang, Malaysia, v. 36, p. 377–383, 2000.
- ROGG, H. W.; CAMACHO, E. History of fruit flies and their control in Bolivia. **Saninet-lica**, n. 1, p. 1–10, 2000.
- ROSENHEIM, J. A. et al. Intraguild predation among biological-control agents: Theory and evidence. **Biological Control**, v. 5, n. 3, p. 303-335, 1995.
- SANTOS, J. M. et al. Interspecific competition between native and exotic fruit fly parasitoids in mixed orchards in Maceió, Alagoas, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 901–909, 2016.
- SILVA, B. K. A. et al. Pupal parasitoids associated with *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) in a semiarid environment in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 2, p. 1–6, 2020.
- SIME, K. R. et al. Evaluation of *Fopius arisanus* as a biological control agent for the olive fruit fly in California. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 10, n. 4, p. 423–431, 2008.
- SIVINSKI, J.; VULINEC, K.; ALUJA, M. Ovipositor length in a guild of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) attacking *Anastrepha* spp. fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southern México. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 94, n. 6, p. 886–895, 2001.

SHIMBORI, E. M.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. Annotated checklist and illustrated key to parasitoids (Hymenoptera: Diapriidae, Eulophidae and Pteromalidae) of fruit flies (Diptera, Tephritidae) in Brazil. **Zootaxa**, v. 4858, n. 1, p. 53–70, 2020.

SMITH, E. L. Evolutionary morphology of the external insect genitalia. 1. Hymenoptera. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 63, n. 1, p. 1-27, 1970.

SUAREZ, L. et al. Biological control of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Argentina: releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) in fruit-producing semi-arid areas of San Juan. **Natural Science**, v. 6, n. 9, p. 664–675, 2014.

TAIRA, T. L. et al. Fruit flies (Diptera, Tephritidae) and their parasitoids on cultivated and wild hosts in the Cerrado-Pantanal ecotone in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 3, p. 300–308, 2013.

VAN NIEUWENHOVE, G. et al. Combined effect of larval and pupal parasitoid use for *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) control. **Biological Control**, v. 95, p. 94–102, 2016.

VARGAS, R. I. et al. Impact of introduction of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) and classical biological control releases of *Fopius arisanus* (Hymenoptera: Braconidae) on economically important fruit flies in French Polynesia. **Biological and Microbial Control**, v. 100, n. 3, p. 670–679, 2007.

WANG, X. G.; BOKONON-GANTA, A. H.; MESSING, R. H. Intrinsic inter-specific competition in a guild of tephritid fruit fly parasitoids: effect of co-evolutionary history on competitive superiority. **Biological Control**, v. 44, n. 3, p. 312–320, 2008.

WANG, X. G.; MESSING, R. H. The ectoparasitic pupal parasitoid, *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae), attacks other primary tephritid fruit fly parasitoids: Host expansion and potential non-target impact. **Biological Control**, v. 31, n. 2, p. 227–236, 2004a.

WANG, X. G.; MESSING, R. H. Potential interactions between pupal and egg- or larval-pupal parasitoids of tephritid fruit flies. **Environmental Entomology**, v. 33, n. 5, p. 1313–1320, 2004b.

WANG, X. G.; MESSING, R. H.; BAUTISTA, R. C. Competitive superiority of early acting species: A case study of opiinae fruit fly parasitoids. **Biocontrol Science and Technology**, v. 13, n. 4, p. 391–402, 2003.

WHARTON, R. A.; YODER, M. J. **Parasitoids of Fruit-Infesting Tephritidae**. Disponível em: <http://paroffit.org>. Acesso em: 17 fev. 2021.

YANG, J. et al. Interspecific competition between *Fopius arisanus* and *Psytalia incisi* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). **Biological Control**, v. 121, n. 1, p. 183–189, 2018.

YANG, L. et al. The pupal ectoparasitoid *Pachycrepoideus vindemmiae* regulates cellular and humoral immunity of host *Drosophila melanogaster*. **Frontiers in Physiology**, v. 10, p. 1–12, 2019.

ZUCCHI, R. A.; MORAES, R. C. B. **Fruit flies in Brazil - Hosts and parasitoids of the Mediterranean fruit fly**. Disponível em: [www.lea.esalq.usp.br/ceratitidis/](http://www.lea.esalq.usp.br/ceratitidis/), atualizado em 10 de novembro de 2020. Acesso em: 20 dez. 2020.

## CAPÍTULO 02

### INTERAÇÃO COMPETITIVA ENTRE O ENDOPARASITOIDE GREGÁRIO *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) E O ECTOPARASITOIDE SOLITÁRIO *Pachycrepoideus vindemmiae* (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE)

#### RESUMO

O controle biológico se destaca como alternativa para o controle de tefritídeos em campo, principalmente com a utilização de diferentes espécies de parasitoides. A liberação simultânea desses inimigos naturais pode resultar no controle eficiente de tefritídeos-praga, ao passo que também pode gerar respostas competitivas em função da sobreposição por recursos (alimento, hospedeiro e habitat), tornando fundamental a triagem para a utilização das melhores combinações de espécies de parasitoides. Com base nisso, este trabalho teve como objetivo avaliar a competição entre o endoparasitoide gregário *Tetrastichus giffardianus* e o ectoparasitoide *Pachycrepoideus vindemmiae* sobre o hospedeiro *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) em condições de laboratório ( $T=25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{UR}=60\pm 10\%$  e Fotofase=12h). Os bioensaios de competição compreenderam duas etapas: na primeira etapa, larvas de terceiro instar de *C. capitata* foram expostas aos parasitoides *T. giffardianus* e *P. vindemmiae*, de forma isolada e em competição. Na segunda etapa, pupários previamente selecionados com as cicatrizes de oviposição de *T. giffardianus* foram expostos a *P. vindemmiae*. Após a exposição ao ectoparasitoide foram dissecadas em três intervalos de tempo (24, 48 e 72 horas), a fim de investigar as interações no interior dos pupários. Os resultados demonstraram que *P. vindemmiae* predomina sobre *T. giffardianus*. O parasitismo *T. giffardianus* isolado foi maior do que quando este parasitoide estava em competição com *P. vindemmiae*. O parasitismo de *P. vindemmiae* não foi afetado pela competição com *T. giffardianus*. As dissecções confirmaram a interferência letal que *P. vindemmiae* é capaz de provocar na sobrevivência de *T. giffardianus*.

**Palavras-chave:** Mosca-do-mediterrâneo. Controle Biológico. Interação interespecífica. Competição intrínseca. Hiperparasitismo.



**CHAPTER 02 — INTERACTION BETWEEN THE GREGARIOUS PARASITOID *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) AND THE SOLITARY PARASITOID *Pachycrepoideus vindemmiae* (HYMENOPTERA: PTEROMALIDAE)**

**ABSTRACT**

Biological control stands out as a viable alternative for the control of tephritids, using different species of parasitoids. The simultaneous release of parasitoids can result in the efficient control of pest tephritids, while it can also generate competitive responses due to the overlap by resources (food, host and habitat), making it essential to screen for the use of the best combinations of parasitoid species. Therefore, this study aimed to evaluate the interactions between the endoparasitoid *Tetrastichus giffardianus* and the ectoparasitoid *Pachycrepoideus vindemmiae* on the host *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) in laboratory conditions ( $T = 25 \pm 2$  ° C,  $RH = 60 \pm 10\%$  and Photophase = 12h). The competition bioassays comprised two stages: In the first stage, third instar larvae of *C. capitata* were exposed to parasitism to *T. giffardianus* and *P. vindemmiae*, in isolation and in competition. In the second stage, pupae previously selected with the oviposition scars of *T. giffardianus* were exposed to *P. vindemmiae* and dissected at three time intervals (24, 48 and 72 hours after exposure to ectoparasitoids), to investigate the interactions inside the pupae. The results showed that *P. vindemmiae* predominates over *T. giffardianus*. The isolated *T. giffardianus* parasitism was greater than when this parasitoid was in competition with *P. vindemmiae*. The parasitism of *P. vindemmiae* was not affected by competition with *T. giffardianus*. The dissections confirmed the lethal interference that *P. vindemmiae* is capable of causing in the survival of *T. giffardianus*.

**Keywords:** Mediterranean fruit fly. Biological Control. Interspecific interaction. Intrinsic competition. Hyperparasitism.

## 1 INTRODUÇÃO

Várias espécies de parasitoides (Hymenoptera) podem explorar o mesmo hospedeiro, criando a possibilidade de competição interespecífica (VET et al., 1984; WANG; MESSING, 2004a; YANG et al., 2018). Quando este tipo de competição ocorre, uma espécie pode chegar a deslocar outras por meio de ataque físico, supressão fisiológica ou ambos os mecanismos (FISHER, 1963; HARDY; ALPHEN; GODFRAY, 1994). Além disso, a competição interespecífica pode ainda ser influenciada pela história de vida, estágio de desenvolvimento, qualidade do hospedeiro, ordem de oviposição, dentre outros fatores (VAN NOUHUYS; PUNJU, 2010; HARVEY; POELMAN; TANAKA, 2013).

Em estudos de interações competitivas entre parasitoides coinobiontes de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), há uma superioridade competitiva das espécies de ação precoce (PARANHOS et al., 2013; WANG; BOKONON-GANTA; MESSING, 2008; MIRANDA et al., 2015; YANG et al., 2018). Contudo, estudos envolvendo interações competitivas entre parasitoides coinobiontes e idiobiontes de tefritídeos-praga vêm mostrando a prevalência do parasitoide que pode utilizar como alimento tanto imaturos do hospedeiro (mosca) quanto de imaturos do parasitoide primário (WANG; MESSING, 2004b; MONTOYA; GÁLVEZ; DÍAZ-FLEISCHER, 2019).

Geralmente os ectoparasitoides induzem mudanças fisiológicas no hospedeiro por meio da injeção de toxinas paralisantes de forma a criar um ambiente fisiológico adequado para o crescimento e desenvolvimento de sua prole que, conseqüentemente, acaba por matar endoparasitoides presentes no hospedeiro multiparasitado (WANG; MESSING, 2004c; HARVEY; POELMAN; TANAKA, 2013). Em virtude disso, são raros os relatos de parasitoides larvais se sobressaindo em competição com parasitoides pupais (VAN NIEUWENHOVE et al., 2016). Devido a não especificidade e características fisiológicas dos parasitoides pupais de tefritídeos, suas interações competitivas com endoparasitoides larvais são pouco conhecidas (WANG; MESSING, 2004c, 2004b; MONTOYA; GÁLVEZ; DÍAZ-FLEISCHER, 2019).

Em estudos com parasitoides de moscas-das-frutas, praticamente todas as pesquisas até agora se concentraram em parasitoides primários e solitários, havendo escassez de informações sobre o que ocorre nas competições entre endoparasitoides gregários e ectoparasitoides pupais, com foco no mecanismo empregado por parasitoides gregários em estágios imaturos de tolerar a presença de outras espécies de parasitoides e quais os

mecanismos envolvidos nesse tipo de interação, principalmente quando as espécies que competem têm histórias de vida diferentes.

De modo geral, o resultado das interações intrínsecas entre parasitoides depende de vários fatores, tais como morfologia do imaturo (presença de mandíbulas ou não em instares iniciais), mobilidade do imaturo dentro do hospedeiro, além do tempo de desenvolvimento (VAN NOUHUYS; PUNJU, 2010; MAGDARAOG; TANAKA; HARVEY, 2013).

Atualmente, existem controvérsias no uso de uma única espécie ou múltiplas espécies de parasitoides no controle biológico, devido ao risco de interações antagônicas entre as espécies envolvidas (DENOTH; FRID; MYERS, 2002; WANG; MESSING, 2004d). No entanto, alguns estudos sugerem o uso combinado de múltiplas espécies de parasitoides, com diferentes nichos de forrageamento, como uma abordagem promissora em programas de supressão de moscas-das-frutas (CANCINO et al., 2014; YANG et al., 2018; MONTOYA; GÁLVEZ; DÍAZ-FLEISCHER, 2019).

*Tetrastichus giffardianus* Silvestri (Hymenoptera: Eulophidae) e *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae) são espécies cosmopolitas que parasitam várias espécies de mosca-das-frutas de importância econômica, dentre elas *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) (WANG; MESSING, 2004b; ARAÚJO et al., 2015; ARAÚJO et al., 2016; MAHMOUD et al., 2019; GARCIA et al., 2020). *Tetrastichus giffardianus* é um endoparasitoide larval coinobionte gregário e *P. vindemmiae* é um ectoparasitoide pupal idiobionte solitário (NOYES, 2019; WHARTON; YODER, 2019) que pode se desenvolver como parasitoide primário (WANG et al., 2016) e como hiperparasitoide facultativo (WANG; MESSING, 2004a; CHEN et al., 2015).

Apesar das diferenças biológicas entre *T. giffardianus* e *P. vindemmiae*, estas espécies podem competir pelo mesmo hospedeiro se coexistirem no mesmo ambiente. No entanto, as interações competitivas entre *T. giffardianus* e *P. vindemmiae* não são conhecidas. Assim, diante do potencial de uso destes parasitoides no controle biológico de *C. capitata*, compreender suas interações competitivas é relevante quando se pensa no uso conjunto desses parasitoides. Portanto, o principal objetivo deste estudo foi investigar as interações competitivas entre *T. giffardianus* e *P. vindemmiae* sobre o hospedeiro *C. capitata*: (1) Avaliar a competição entre *T. giffardianus* e *P. vindemmiae* mediante comparação de parâmetros biológicos; (2) Observar as interações que ocorrem entre imaturos destes parasitoides quando em situação de competição.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Criação dos insetos

As criações dos insetos, *C. capitata*, *T. giffardianus* e *P. vindemmiae*, e os experimentos foram conduzidos em salas climatizadas (temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $60 \pm 10\%$  e fotofase de 12 horas) no Laboratório de Entomologia Aplicada da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. A população de *C. capitata* é criada desde 2016, com a metodologia de Albajes e Santiago-Alvarez (1980) para nutrição das larvas em dieta artificial. As populações iniciais dos parasitoides foram coletadas em 2017, no município de Mossoró (FERNANDES et al., 2019; SILVA et al., 2020), sendo *T. giffardianus* criado de acordo com Fernandes et al. (2020) e *P. vindemmiae* seguindo metodologia descrita por Tormos et al. (2009).

### 2.2 Avaliação da competição

A competição entre *T. giffardianus* e *P. vindemmiae* foi avaliada usando alguns parâmetros biológicos, comparando-se os dados dos tratamentos obtidos na ação isolada de cada parasitoide com os dados obtidos numa situação de competição.

Para avaliar a ação isolada de *T. giffardianus*, larvas de terceiro instar de *C. capitata* foram expostas ao parasitismo em gaiolas de criação de laboratório (30 x 30 x 30 cm) com aproximadamente 400 casais, por 24 horas. Para se certificar do parasitismo, os pupários obtidos foram observados sob microscópio estereoscópio (Leica S8APO) para verificar a presença de cicatrizes de oviposição na cutícula do pupário do hospedeiro, seguindo a metodologia descrita por Montoya et al. (2000). Foram selecionados pupários ( $n = 150$ ) com cicatrizes de oviposição. Em seguida, os pupários foram individualizados em tubos de ensaio, fechados com filme plástico e mantidos em sala climatizada, até a emergência dos adultos (parasitoides e/ou moscas). Os pupários que não originaram adultos foram dissecados sob microscópio estereoscópio (Leica S8APO) para verificar a presença ou não de parasitoides mortos.

Para observar a ação isolada de *P. vindemmiae*, pupários ( $n = 150$ ) de *C. capitata* com três dias de idade foram expostas a 250 fêmeas em uma placa de Petri (60 mm de diâmetro x 15 mm) por um período de 24 horas. A obtenção dos adultos e dissecação dos pupários foi realizada tal qual descrito para *T. giffardianus*.

Para observar as interações competitivas entre os imaturos de *T. giffardianus* e *P. vindemmiae*, pupários ( $n = 150$ ) de *C. capitata* com três dias de idade, previamente selecionados com as cicatrizes de oviposição de *T. giffardianus*, foram expostos ao parasitismo de *P. vindemmiae* como relatado anteriormente, por um período de 24 horas. Posteriormente, em três intervalos de tempo (24, 48 e 72 horas) após o parasitismo de *P. vindemmiae*, 50 pupários foram dissecados sob microscópio estereoscópio (Leica S8APO) em cada intervalo de tempo, e as interações observadas foram registradas.

A mortalidade de *C. capitata* foi corrigida pela fórmula de Abbott (1925). Para isso, pupários ( $n = 150$ ) de *C. capitata*, sem exposição ao parasitismo, foram isolados em tubos de ensaio, fechados com filme plástico e mantidos em sala climatizada até a emergência dos adultos. Com os dados obtidos foi realizada a correção da mortalidade natural da mosca.

### 2.3 Cálculo dos parâmetros biológicos

Foram avaliados os seguintes parâmetros biológicos: percentual de parasitismo  $P$  (%) = número de pupários parasitados  $\times 100$  / número total de larvas/pupas expostas ao parasitismo; Número de descendentes (ND) = número de parasitoides emergidos + número de parasitoides não emergidos; Percentual de emergência  $E$  (%) = número de parasitoides emergidos  $\times 100$  / número total de larvas/pupas expostas ao parasitismo.

### 2.4 Análises dos dados

O teste de Qui-quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ) foi usado para determinar quaisquer diferenças significativas. A análise de correlação de *Spearman* (teste não paramétrico) foi utilizada para avaliar se há correlação entre a presença de larvas e ovos do ectoparasitoide e o número de larvas vivas do endoparasitoide. Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote de *software* R versão 3.4.3 e SAS versão 9.1 (SAS Institute 2009).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Competição

O parasitismo isolado de *T. giffardianus* foi de 78% e o de *P. vindemmiae* foi de 54% (Tabela 1). Quando em competição, o parasitismo de *T. giffardianus* reduziu (33,3%) e diferiu estatisticamente de seu parasitismo isolado ( $X^2 = 6,38$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0,001$ ) (Tabela 1). O parasitismo de *P. vindemmiae* (46,7%) também diminuiu em comparação ao seu parasitismo isolado, mas não diferiu estatisticamente ( $X^2 = 0,05$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0,82$ ). Este resultado mostra que *P. vindemmiae* não discriminou pupas que estavam previamente parasitadas por *T. giffardianus* de pupas que não estavam parasitadas pelo eulofídeo.

O número de descendentes de *T. giffardianus* reduziu de 302 descendentes (4,5 por pupário) no parasitismo isolado para 85 descendentes (1,07 por pupário) quando em competição com *P. vindemmiae* (Tabela 1). Por outro lado, o número de descendentes de *P. vindemmiae* no parasitismo isolado (42 descendentes) foi praticamente inalterado (36 descendentes) quando as larvas hospedeiras foram expostas a *T. giffardianus* e sequencialmente as pupas foram expostas a *P. vindemmiae*.

O número de adultos emergidos de *T. giffardianus* foi de 60,7% no parasitismo isolado e de 12% quando em competição com *P. vindemmiae*, havendo redução significativa ( $X^2 = 18,36$   $df = 1$   $P = 0,0001$ ) na taxa de emergência de *T. giffardianus*. Não foi constatada diferença significativa ( $X^2 = 0,11$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0,7423$ ) na taxa de emergência de *P. vindemmiae* no parasitismo isolado ou em competição com *T. giffardianus*. De maneira geral, a razão sexual de *T. giffardianus* foi de 0,65 e *P. vindemmiae* de 0,71.

**Tabela 1.** Porcentagem de parasitismo P (%), número de descendentes (ND) e percentual de emergência E (%) de *Tetrastichus giffardianus* (Tg) e *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pv) em larvas/pupas de *Ceratitis capitata*, exposta a uma única espécie ou em competição intrínseca.

Formas de exposição dos hospedeiros	<i>T. giffardianus</i>			<i>P. vindemmiae</i>		
	P (%) <sup>1</sup>	ND	E (%)	P (%) <sup>1</sup>	ND	E (%)
<i>Tg</i>	78,0 a	302	60,7 a			
<i>Pv</i>				54,0 a	42	27,3 a
<i>Tg</i> → <i>Pv</i>	33,3 b	85	12,0 b	46,7 a	36	24,0 a

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de qui-quadrado a 5% de probabilidade.

### 3.2 Interações competitivas

Nas dissecações realizadas 24 horas após a exposição das larvas hospedeiras à *T. giffardianus* e posteriormente das pupas à *P. vindemmiae*, mostrou que apenas 6% ( $n = 50$  pupas) das larvas de *T. giffardianus* estavam mortas e 100% dos ovos depositados por *P. vindemmiae* sobre o conteúdo corporal do hospedeiro ainda não haviam eclodido nos hospedeiros multiparasitados. Nos pupários em que haviam larvas mortas de *T. giffardianus* 6% ( $n = 8$  pupas) foram constatadas cicatrizes semelhantes a cicatrizes de oviposição (Figura 1).

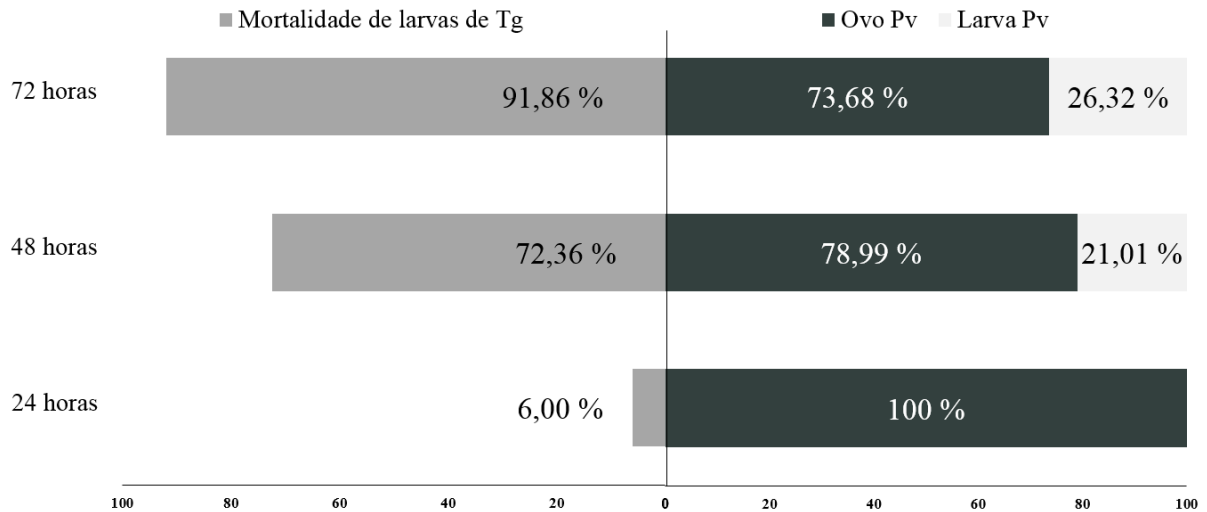


**Figura 1.** Larvas de 2º instar de *Tetrastichus giffardianus* com a presença de cicatrizes (manchas pequenas, escuras e melanizadas, no pupário hospedeiro) depois de ser hiperparasitada por fêmeas de *Pachycrepoideus vindemmiae*.

Com 48 horas, um total de 72,36% das larvas de *T. giffardianus* estavam mortas (Figura 2). Com relação a *P. vindemmiae*, constatou-se que 21,01% dos ovos haviam eclodido e as larvas percorriam o conteúdo corporal do hospedeiro matando ovos ou larvas coespecíficas. Verificou-se que muitas larvas mortas de *T. giffardianus* não tinham cicatrizes de oviposição aparente nos seus corpos.

Após 72 horas, verificou-se que 91,86% das larvas de *T. giffardianus* estavam mortas (Figura 2). Um total de 26,32% das larvas de *P. vindemmiae* havia eclodido e 73,68% ainda permaneciam na fase de ovo. A mortalidade larval do endoparasitoide aumentava na medida em que as larvas do ectoparasitoide pupal se alimentavam no pupário hospedeiro. Apesar disso, a análise de correlação de Spearman não demonstrou haver correlação entre o

desenvolvimento larval de *P. vindemmiae* e a mortalidade dos imaturos de *T. giffardianus* ( $p < 0,05$ ;  $r = 0,100^{ns}$ ).



**Figura 2.** Correlação entre a mortalidade de larvas de *Tetrastichus giffardianus* (Tg) e a presença de imaturos de *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pv) sobre hospedeiros multiparasitados em função do tempo

Freqüentemente foram observadas larvas de *P. vindemmiae* movimentando-se diretamente sobre as larvas de *T. giffardianus* (Figura 3a). Em muitos pupários dissecados, foi comum observar larvas mortas e vivas de *P. vindemmiae* (Figura 3b). Além disso, foi comum verificar larvas de *P. vindemmiae* em combate físico (Figura 3c). Em alguns casos, constatamos o desenvolvimento e emergência de ambas as espécies em um único pupário hospedeiro.



**Figura 3.** Larvas de *Pachycrepoideus vindemmiae* sobre larvas do parasitoide primário *Tetrastichus giffardianus* (A); Larva morta (B); Ataque físico entre larvas de *P. vindemmiae* (C)



#### 4 DISCUSSÕES

A competição entre o endoparasitoide coinobionte larval gregário *T. giffardianus* e o ectoparasitoide idiobionte pupal solitário *P. vindemmiae* demonstrou que *P. vindemmiae* foi um competidor superior, pois o parasitismo, o número de descendentes e a taxa de emergência de *T. giffardianus* reduziram significativamente quando em competição, na comparação a seu parasitismo isolado, mas esses parâmetros não sofreram alterações significativas para *P. vindemmiae*. Modelos populacionais nos quais os parasitoides competem diretamente por meio de multiparasitismo geralmente assumem que uma espécie sempre vence na competição (BRIGGS, 1993). Além disso, a sobrevivência de parasitoides em hospedeiros multiparasitados é mais baixa do que o desenvolvimento de uma única espécie de parasitoide que se desenvolve sem competição (LEBRETON; DARROUZET; CHEVRIER, 2009).

O sucesso de *P. vindemmiae* na competição com outros parasitoides se deve a diversas estratégias, como, por exemplo, a disputa por alimento, combate físico, supressão fisiológica a partir da liberação de toxinas e hiperparasitismo (HARVEY; POELMAN; TANAKA, 2013).

No presente estudo, a competição por alimento praticamente não ocorreu, pois os pupários de *C. capitata* foram expostos a *P. vindemmiae* três dias após o parasitismo de *T. giffardianus*. Como o tempo de desenvolvimento dos estágios imaturos de ovo e larva de 1º instar de *T. giffardianus* é rápido (FERNANDES et al., 2020), muitas vezes nas dissecações realizadas 24h após o parasitismo de *P. vindemmiae* constatou-se que as larvas de *T. giffardianus* já haviam consumido todo o conteúdo corporal do hospedeiro e já se encontravam bem desenvolvidas.

Não foi verificado combate físico entre *P. vindemmiae* e *T. giffardianus*, porque *T. giffardianus* é um endoparasitoide e *P. vindemmiae* é um ectoparasitoide. Mesmo quando ocorria o encontro direto dos imaturos de ambas as espécies, devido ao rápido desenvolvimento dos imaturos de *T. giffardianus*, esse combate físico não foi constatado, possivelmente porque *T. giffardianus* é um parasitoide gregário, sem comportamento competitivo e sem estruturas físicas para combate, tais como mandíbulas desenvolvidas (FERNANDES et al., 2019).

As cicatrizes observadas no corpo de algumas larvas de *T. giffardianus* nas dissecações realizadas com 24h provavelmente foram provocadas por fêmeas adultas de *P. vindemmiae* durante as tentativas de parasitismo. Por outro lado, a eliminação de ovos e larvas coespecíficas de *P. vindemmiae* por meio do ataque e combate físico, observada nas

dissecações realizadas com 48h, demonstra que há acentuada competição intraespecífica em hospedeiros multiparasitados por *P. vindemmiae*.

Os resultados obtidos e as observações realizadas neste estudo sugerem que em várias situações ocorreu supressão fisiológica de *P. vindemmiae* sobre os imaturos de *T. giffardianus*. Essa supressão pode ter ocorrido a partir da injeção de toxinas pelas fêmeas de *P. vindemmiae* no momento da oviposição a fim de paralisar o desenvolvimento hospedeiro, ou pela liberação de substâncias tóxicas durante a alimentação larval de *P. vindemmiae*. Em alguns casos, verificou-se que as substâncias injetadas pelas fêmeas de *P. vindemmiae* durante o parasitismo não afetaram de imediato os primeiros estádios larvais de *T. giffardianus*, mas ficou evidente que na medida em que as larvas de *P. vindemmiae* foram eclodindo e se desenvolvendo aumentou significativamente a mortalidade larval de *T. giffardianus*, o que sugere que as toxinas injetadas por *P. vindemmiae* no momento da oviposição ou liberadas na hemolinfa do hospedeiro durante a alimentação larval de *P. vindemmiae* pode ter um efeito retardado na mortalidade dos imaturos de *T. giffardianus*.

Outra ação que favoreceu *P. vindemmiae* na competição com *T. giffardianus* foi a capacidade de *P. vindemmiae* agir como hiperparasitoide. As dissecações realizadas com 72 horas constataram que as larvas de primeiro instar *P. vindemmiae* eram móveis e ativas, atacando diretamente a progênie de *T. giffardianus*. Esse hiperparasitismo ocorreu quando as larvas de *T. giffardianus* haviam consumido todo o conteúdo corporal da mosca hospedeira, forçando as larvas de *P. vindemmiae* a se alimentarem das larvas de *T. giffardianus* como forma de sobrevivência. Assim, *P. vindemmiae* pode ser considerado um hiperparasitoide facultativo de *T. giffardianus*. Parasitoides secundários e/ou hiperparasitoides facultativo apresentam maior plasticidade fisiológica, uma vez que se alimentam tanto do hospedeiro quanto do parasitoide primário em diferentes estágios de desenvolvimento. Esta estratégia de hiperparasitismo facultativo de *P. vindemmiae* não afeta a sobrevivência de sua prole (WANG; MESSING, 2004c).

O desenvolvimento e emergência de *T. giffardianus* e *P. vindemmiae* observados em um único pupário hospedeiro possivelmente se deve ao hábito gregário de *T. giffardianus* e, nestes casos, as larvas do ectoparasitoide não conseguem matar todas as larvas do endoparasitoide gregário. Carvalho; D'Almeida; Mello (2005) obtiveram taxa de 3,5% de superparasitismo de *P. vindemmiae* com emergências duplas em relação ao endoparasitoide larval gregário *Tachinaephagus zealandicus* e ao ectoparasitoide pupal gregário *Nasonia vitripennis*. Ainda segundo estes autores, *N. vitripennis* demonstrou capacidade de sobreviver

ao multiparasitismo tanto com *T. zealandicus* quanto com *P. vindemmiae* sobre o hospedeiro *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados demonstraram que, nas condições avaliadas, as formas imaturas de *P. vindemmiae* vencem *T. giffardianus* na competição pelo hospedeiro porque a progênie do endoparasitoide gregário *T. giffardianus* é afetada negativamente pela interferência interespecífica de *P. vindemmiae*. Este estudo apoia a hipótese de que o ectoparasitoide idiobionte *P. vindemmiae* é um generalista fisiológico.

Além do baixo incremento reprodutivo dos parasitoides testados, descarta-se o uso combinado das espécies para o controle de *C. capitata*, uma vez que há uma interação negativa entre elas (competição) com efeitos prejudiciais ao desenvolvimento e ação (parasitismo).

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265–267, 1925.
- ALBAJES, R.; SANTIAGO-ALVAREZ, C. Influencia de la temperatura en el desarrollo de *Ceratitis capitata* (Wied.). **Anales, INIA, Serie Agricola**, v. 13, p. 183–190, 1980.
- ARAÚJO, A. A. R. et al. *Tetrastichus giffardianus* on pupae of *Anastrepha* in Brazil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1134–1135, 2016.
- ARAUJO, E. L. et al. Parasitoides (Hymenoptera) de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) no semiárido do estado do Ceará, Brasil 1. p. 610–616, 2015.
- BRIGGS, C. J. Competition among parasitoid species on a stage-structured host and its effect on host suppression. **Source: The American Naturalist The American Naturalist**, v. 141, n. 3, p. 372–397, 1993.
- CANCINO, J. et al. Parasitism by *Coptera haywardi* and *Diachasmimorpha longicaudata* on *Anastrepha* flies with different fruits under laboratory and field cage conditions. **BioControl**, v. 59, n. 3, p. 287–295, 2014.
- CARVALHO, A. R.; D'ALMEIDA, J. M.; MELLO, R. P. Ocorrência de multiparasitismo em larvas de terceiro ínstar e pupas de *Chrysomya megacephala* (Fabricius) em condições de campo. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49, n. 1, p. 162–164, 2005.
- DENOTH, M.; FRID, L.; MYERS, J. H. Multiple agents in biological control: Improving the odds? **Biological Control**, v. 24, n. 1, p. 20–30, 2002.
- FERNANDES, E. C. et al. Rearing technique and demographic parameters of *Tetrastichus giffardianus* Silvestre (Hymenoptera: Eulophidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2201-2208, 2019.
- FERNANDES, E. C.; SOUZA, M. M.; NAVA, D. E.; SILVA, J. G.; ARAUJO, E. L. Fertility life table and biology of *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae) in the larvae of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Bulletin of Entomological Research**, p. 1–8, 2020.
- FISHER, R. C. Oxygen requirements and the physiological suppression of supernumerary insect parasitoids. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 40, p. 605–638, 1963.
- GARCIA, F. R. M. et al. Biological control of tephritid fruit flies in the Americas and Hawaii: A review of the use of parasitoids and predators. **Insects**, v. 11, n. 10, p. 1–32, 2020.
- HARDY, I. C. W.; ALPHEN, J. J. M.; GODFRAY, H. C. J. Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology. **The Journal of Animal Ecology**, v. 63, n. 4, p. 1009, 1994.
- HARVEY, J. A.; POELMAN, E. H.; TANAKA, T.; Intrinsic inter- and intraespecific competition in parasitoid wasps. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, 58, p. 333-351, 2013.

LEBRETON, S.; DARROUZET, E.; CHEVRIER, C. Could hosts considered as low quality for egg-laying be considered as high quality for host-feeding? **Journal of Insect Physiology**, v. 55, n. 8, p. 694–699, 2009.

MAGDARAOG, P. M.; TANAKA, T.; HARVEY, J. A. Inter- and intra-specific host discrimination in gregarious and solitary endoparasitoid wasps. **BioControl**, v. 58, n. 6, p. 745–754, 2013.

MAHMOUD, M. E. E. et al. The role of *Tetrastichus giffardianus* Silvestri (Eulophidae: Hymenoptera) in natural control of *Bactrocera zonata* (Saunders) (Tephritidae: Diptera) and its temporal abundance in Sudan. **EPPO Bulletin**, v. 49, n. 2, p. 359–363, 2019.

MIRANDA, M. et al. Niche breadth and interspecific competition between *Doryctobracon crawfordi* and *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), native and introduced parasitoids of *Anastrepha* spp. fruit flies (Diptera: Tephritida), **Biological Control**, v. 82, s.n., p. 86-95, 2015.

MONTOYA, P.; GÁLVEZ, C.; DÍAZ-FLEISCHER, F. Host availability affects the interaction between pupal parasitoid *Coptera haywardi* (Hymenoptera: Diiapridae) and larval-pupal parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 109, n. 1, p. 15–23, 2019.

MONTOYA, P. et al. Functional Response and Superparasitism by *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), a Parasitoid of Fruit Flies (Diptera: Tephritidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 93, n. 1, p. 47–54, 2000.

NOYES, J. S. (2019). **Universal Chalcidoidea Database**. World Wide Web Electronic Publication. Disponível em: <http://www.nhm.ac.uk/chalcidoids>. Acesso em: 20 out. 2020.

PARANHOS, B. A. J. et al. Intrinsic competition and competitor-free-space influence the coexistence of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) of Neotropical Tephritidae (Diptera), **Environmental Entomology**, v. 42, n. 4, p. 717–723, 2013.

R CORE TEAM, R. **A language and environment for statistical computing**, Copyright (C) The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. 2020. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

SAS INSTITUTE, 2002. SAS system for Windows, version 9.1. SAS Institute, Cary.

SILVA, B. K. A. et al. Pupal parasitoids associated with *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) in a semiarid environment in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 2, p. 1–6, 2020.

TORMOS, J. et al. The preimaginal phases and development of *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera, Pteromalidae) on mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). **Microscopy Microanalysis**, v. 15, p. 422–434, 2009.

VAN NIEUWENHOVE, V. et al. Combined effect of larval and pupal parasitoid use for *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) control. **Biological Control**, v. 95, n. 1, p. 94–102, 2016.

VAN NOUHUYS, S.; PUNJU, E. Coexistence of competing parasitoids: which is the fugitive and where does it hide? **Oikos**, v. 119, n. 1, 61–70, 2010.

VET, L. E. M.; MEYER, M.; BAKKER, K.; ALPHEN, J. J. M. V. A. N. Intra- and interspecific host discrimination in *Asobara* (Hymenoptera) larval endo-parasitoids of Drosophilidae: comparison between closely related and less closely related species. **Animal Behaviour**, v. 32, n. 2, p. 871–874, 1984.

WANG, X. G.; BOKONON-GANTA, A.; MESSING, R. Intrinsic inter-specific competition in a guild of tephritid fruit fly parasitism: effects of co-evolutionary history on competitive superiority. **Biological Control**, Bangalore, v. 44, p. 312–320, 2008.

WANG, X. G. et al. Foraging efficiency and outcomes of interactions of two pupal parasitoids attacking the invasive spotted wing drosophila. **Biological Control**, 2016.

WANG, X. G.; MESSING, R. H. Potential interactions between pupal and egg or larval-pupal parasitoids of tephritid fruit flies. **Environmental Entomology**, v. 33, p. 1313–1320, 2004a.

WANG, X. G.; MESSING, R. H. The ectoparasitic pupal parasitoid, *Pachycrepoideus vindemmiae* (Hymenoptera: Pteromalidae), attacks other primary tephritid fruit fly parasitoids: host expansion and potential non-target impact. **Biological Control**, v. 31, p. 227–236, 2004b.

WANG, X. G.; MESSING, R. H. Two different life-history strategies determine the competitive outcome between *Dirhinus giffardii* (Chalcididae) and *Pachycrepoideus vindemmiae* (Pteromalidae), ectoparasitoids of cyclorrhaphous Diptera. **Bulletin of Entomological Research**, v. 94, n. 5, p. 473–480, 2004c.

WHARTON, R.; YODER, M. **Parasitoids of Fruit-Infesting Tephritidae**. Disponível em: <http://paroffit.org>. Acesso em: 18 out. 2019.

YANG, J. et al. Interspecific competition between *Fopius arisanus* and *Psytalia incisi* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). **Biological Control**, Bangalore, v. 121, p. 183–189, 2018.

## CAPÍTULO 03

### **CAPACIDADE DE PARASITISMO DE *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) EM LARVAS DE *Ceratitis capitata* (DIPTERA: TEPHRITIDAE) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO**

#### **RESUMO**

Liberações inundativas de parasitoides para o controle de moscas-das-frutas com importância econômica são prioridades em programas de controle biológico clássico e aplicado ao redor do mundo, em especial para o manejo de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Estudos bases em condições de laboratório e semicampo são imprescindíveis para avaliar a eficiência desse inimigo natural visando futuras aplicações práticas em campo. Logo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficácia de *T. giffardianus* no parasitismo de *C. capitata* em condições de semicampo, bem como verificar o local preferencial de forrageamento (copa e solo), em ambiente semiárido. Os testes foram conduzidos em gaiolas de campo, onde frutos de goiaba infestados com larvas de terceiro instar de *C. capitata* foram expostos ao parasitismo de *T. giffardianus* em dois locais (copa da árvore e solo). Frutos infestados não expostos ao parasitismo e submetidos às mesmas condições experimentais foram utilizados como controle da mosca. Foram registrados vários parâmetros como parasitismo, redução populacional da mosca, número de parasitoides emergidos e razão sexual. *Tetrastichus giffardianus* apresentou parasitismo geral médio de 63,1% e foi capaz de forragear e parasitar larvas de *C. capitata* tanto na copa quanto no solo, com índices de parasitismo de 64,6% e 61,6%, respectivamente.

**Palavras-chave:** Local de forrageamento. Localização hospedeira. Parasitoide gregário. Semiárido brasileiro.



**CHAPTER 03 — PARASITISM CAPACITY OF *Tetrastichus giffardianus* (HYMENOPTERA: EULOPHIDAE) ON LARVAS OF *Ceratitis capitata* (DIPTERA: TEPHRITIDAE) IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT**

**ABSTRACT**

Parasitoid releases for the control of fruit flies of economic importance are priorities in programs of Classic and Applied Biological Control around the world, especially for the control of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Basic studies in laboratory and semi field conditions are essential to evaluate the efficiency of this natural enemy in order to make practical applications in the field. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effectiveness of *T. giffardianus* in the parasitism of *C. capitata* under semi field conditions, as well as to verify the preferential foraging site, in a semiarid environment. The tests were conducted in field cages, where guava fruits infested with third instar larvae of *C. capitata* were exposed to parasitism of *T. giffardianus* in two sites (tree canopy and soil). Infested fruits not exposed to parasitism and submitted to the same experimental conditions were used as fly control. Several parameters were recorded, such as parasitism, population reduction of the fly, number of emerged parasitoids and sex ratio. *Tetrastichus giffardianus* showed an average general parasitism of 63.1% and was able to parasitize larvae of *C. capitata* both in the tree canopy and in the soil, with parasitism of 64.6 and 61.6%, respectively.

**Keywords:** Foraging site. Host location. Gregarious parasitoids. Brazilian semiarid.

## 1 INTRODUÇÃO

O controle biológico de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) tem sido empregado em várias partes do mundo, sendo os endoparasitoides de larva/pupa os agentes de biocontrole mais utilizados para este fim (ALUJA et al., 2013; ARAUJO; ZUCCHI, 2002; OVRUSKI et al., 2000; PARANHOS et al., 2013; SIVINSKI; PIÑERO; ALUJA, 2000).

No Brasil, o controle biológico de moscas-das-frutas teve início em 1937, com a introdução do parasitoide africano *Tetrastichus giffardianus* Silvestri (Hymenoptera: Eulophidae), liberado em São Paulo para o controle de larvas de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) (CARVALHO, 2006). Este parasitoide também foi introduzido em outros países da América Latina a partir do Havaí (CARVALHO, 2006; PARRA, 2014; PURCELL; VAN NIEUWENHOVENL; BATCHELOR, 1996). O esforço não logrou êxito no Brasil, talvez pela escassez de estudos base (COSTA et al., 2005; FERNANDES et al., 2019).

Nos últimos anos, a intensificação das pesquisas relacionadas aos parasitoides de moscas-das-frutas tem demonstrado maior frequência deste eulofídeo em algumas localidades do semiárido brasileiro (ARAÚJO et al., 2016; ARAUJO et al., 2015).

Como uma das vantagens de *T. giffardianus*, cita-se seu hábito gregário, que resulta em uma progênie múltipla, bem como a maior emergência de fêmeas por hospedeiro (FERNANDES et al., 2019; MAHMOUD et al., 2019). Além disto, o tamanho dos frutos não constitui empecilho para o forrageamento das fêmeas, uma vez que pequenas aberturas possibilitam sua entrada no fruto e oviposição direta sobre as larvas (COSTA et al., 2005; PEMBERTON; WILLARD, 1918). Supõe-se que este parasitoide funcione principalmente sobre o solo, não havendo evidências concretas da sua penetração na polpa firme ou através da casca da fruta (PEMBERTON; WILLARD, 1918).

Geralmente, a interação entre os fatores genéticos, fisiológicos e ambientais é que determina os padrões de forrageamento dos inimigos naturais (VET; LEWIS; CARDÉ, 1995) e o sucesso do parasitoide vai depender, dentre outros fatores, da eficiência de localização dos recursos (alimentação, reprodução e abrigo) e da capacidade de resposta às variabilidades ambientais (LEWIS et al., 1990), decisivos para o parasitismo e sobrevivência da espécie.

O sucesso de utilização desses organismos em campo depende basicamente do conhecimento acerca das suas características bioecológicas, da sua interação com o hospedeiro-alvo e das condições edafoclimáticas do ambiente de liberação (PEREIRA et al., 2009). Além disso, o ambiente de forrageamento preferido pelo inimigo natural é um fator

ecológico de extrema importância em liberações múltiplas de parasitoides (PEDERSEN; MILLS, 2004), uma vez que a separação de nichos é essencial à não ocorrência de competição entre essas espécies. As estratégias utilizadas pelos parasitoides em relação ao seu nicho de exploração resultaram na especialização do inimigo natural em relação ao seu hospedeiro.

Avaliações do índice de parasitismo, por meio de amostragens semanais de frutos, permitem inferir o possível impacto de parasitoides introduzidos em relação a seus hospedeiros (MONTROYA et al., 2017; SIVINSKI et al., 1996). Contudo, esse método subestima o real percentual de parasitismo da espécie nas condições de campo, uma vez que não se pode extrapolar os resultados obtidos para o total de indivíduos presentes na área e suscetíveis ao ataque, além da mortalidade de imaturos induzida pelos parasitoides que não são incluídas na estimativa do parasitismo calculado.

Desde sua introdução no Brasil, não foram realizados estudos com *T. giffardianus* em outras regiões do país, de modo a serem avaliadas as características adaptativas e de eficiência de parasitismo sob condições de semicampo e campo. Contudo, os levantamentos demonstram aparente adaptabilidade às condições semiáridas, evidenciando o potencial de utilização desse inimigo natural para o controle de tefritídeos-praga nessa região.

Até o presente momento, a maior parte dos estudos com *T. giffardianus* foi realizada em laboratório, sob condições abióticas controladas e, embora com resultados promissores, há necessidade de avaliação do desempenho desta espécie em condições de campo. Assim, o principal objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de parasitismo de *T. giffardianus* sobre larvas de *C. capitata* e verificar se há influência do local de forrageamento (copa da árvore e solo) em condição de campo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Criação dos insetos

As populações de *C. capitata* e *T. giffardianus* utilizadas neste estudo foram criadas em salas climatizadas (temperatura  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa  $70 \pm 10\%$  e fotofase 12 horas), no Laboratório de Entomologia Aplicada da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. As metodologias utilizadas para criação de *C. capitata* e *T. giffardianus* foram as mesmas descritas por Fernandes et al. (2019).

### 2.2 Condições experimentais

Os ensaios foram realizados em gaiolas de campo localizadas na UFERSA ( $5^\circ 12' 48.0''$ ;  $37^\circ 18' 36.1''$ ; 16 m de altitude) nas seguintes condições climáticas: temperatura média de  $30 \pm 5^\circ\text{C}$ , umidade relativa média do ar de  $70 \pm 10\%$ , precipitação pluvial média de 4,4 mm e radiação solar que chegou a  $3148 \text{ kJ/m}^2$  (INMET, 2020).

As gaiolas foram sobrepostas em plantas de goiabeira ( $\pm 1,50$  m de altura) e o acesso ao seu interior se dava por meio de uma abertura (2,0 x 0,60 m) na parte frontal (porta), fechada com velcro e tela antiafídeo. Para evitar escape, a entrada e a saída dos insetos ao longo das margens inferiores eram impedidas pelo enterramento das bordas da gaiola no solo (Figura 1).

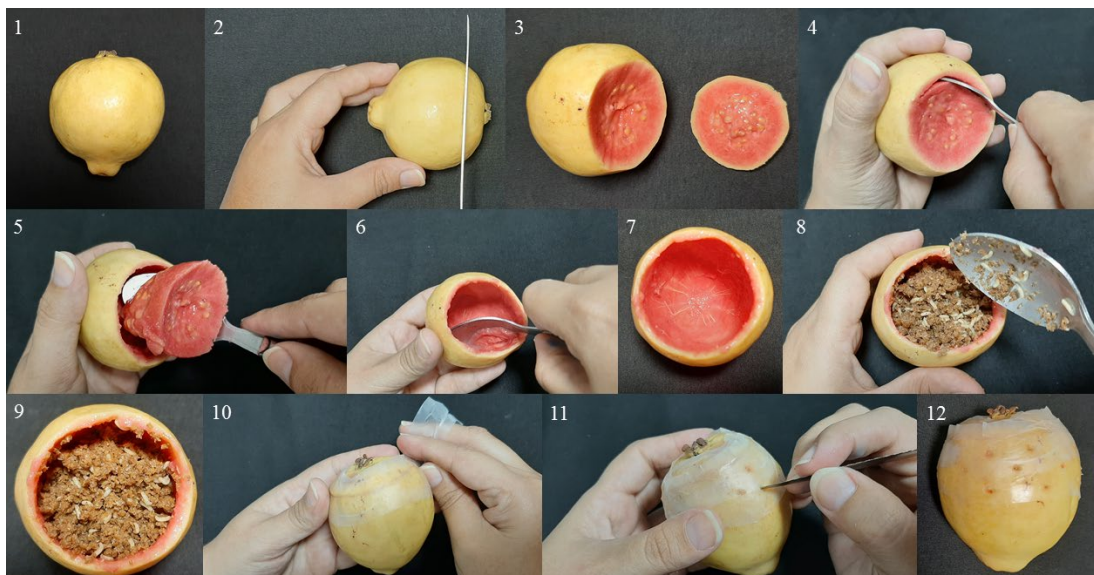


**Figura 1.** Gaiola de campo: A) Vista frontal geral; B) Visão interna.

### 2.1.1 Unidades de oviposição

As larvas eram ofertadas aos adultos em frutos, chamados de unidades de oviposição, cada um deles representando uma repetição. Essas unidades de oviposição consistiam de frutos de goiaba (*Psidium guajava*) ( $\pm 100\text{g}$ ), infestados manualmente com larvas de segundo/terceiro instar de *C. capitata*, considerado o estágio ideal para oviposição desta espécie de parasitoide.

Utilizando metodologia adaptada de Aluja et al. (2009), cada fruto de goiaba era cortado transversalmente, a polpa (mesocarpo) era retirada de forma a criar uma cavidade, preenchendo-se o espaço com 50 larvas de *C. capitata* em dieta artificial. Cada fruto era fechado com filme plástico (parafilme de 1,5 cm) na junção das duas partes do fruto (tampa e a base) (Figura 2).



**Figura 2.** Descrição fotográfica do substrato de oviposição utilizado para exposição em gaiolas de campo à *Tetrastichus giffardianus*

### 2.1.2 Oferta dos frutos em campo

Para avaliar a capacidade de parasitismo e o local preferido de forrageamento (copa da planta ou solo) de *T. giffardianus*, em cada gaiola foram ofertados frutos aos parasitoides. Para ofertar os frutos na copa da planta, os frutos ( $n = 5$ ) foram colocados dentro de uma rede plástica e em seguida pendurados a 1,0m de altura do solo. Para ofertar os frutos ao nível do solo, os frutos ( $n = 5$ ) foram colocados dentro de recipientes plásticos que foram acondicionados em uma bandeja plástica contendo vermiculita e em seguida as bandejas foram colocadas sobre o solo. Os frutos ofertados ao nível do solo foram perfurados (orifícios com  $\pm 2$  mm), para simular aberturas naturais resultantes da queda dos frutos. Os frutos ficaram expostos ao parasitismo por oito horas, no período das 08:00 às 16:00h. Frutos infestados manualmente, utilizando a mesma metodologia descrita anteriormente e não expostos ao parasitismo, foram utilizados como testemunha controle, para avaliar a mortalidade natural da mosca.

Em cada gaiola, foram liberados 1.000 parasitoides adultos, sexualmente maduros, sem experiência de oviposição e com três dias de idade (pico de oviposição). Durante o experimento, foi ofertada água *ad libitum* disponível em fitas absorventes (Spontex<sup>®</sup>), que eram mergulhadas em uma garrafa plástica de 250 mL, e açúcar cristal como fonte alimentar disponível em uma placa de Petri ( $\varnothing = 10$ cm).

Após o período de exposição, os frutos foram recolhidos, levados para o laboratório e colocados em bandejas plásticas com vermiculita, devidamente identificados por local de forrageamento (copa ou solo), para obtenção dos pupários. Os pupários obtidos foram

individualizados em tubos de ensaio com vermiculita, fechados com filme plástico e mantidos em salas climatizadas (temperatura  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa  $70 \pm 10\%$  e fotofase 12 horas) até a emergência dos adultos (moscas e parasitoides). Os pupários intactos, sem emergência de moscas ou parasitoides, foram dissecadas sob microscópio estereoscópio (Leica, MZ9.5) para verificar a presença ou não de parasitismo.

Este experimento foi replicado três vezes. Em cada replica foram utilizados diferentes espécimes de *C. capitata* e *T. giffardianus* em cada gaiola.

## 2.2 Caracteres avaliados

Os seguintes parâmetros foram avaliados:

- a. Percentual de emergência dos parasitoides (%) = (número de parasitoides adultos emergidos/número de larvas ofertadas) x 100.
- b. Razão sexual da prole originada pelos parasitoides = (número de fêmeas/número de fêmeas + machos) (SILVEIRA-NETO et al., 1976).
- c. Índice de parasitismo (%) = (número de larvas parasitadas/número de pupários ofertados) x 100 (PARANHOS; WALDER; ALVARENGA, 2007).
- d. Média de descendentes produzidos por pupário = número de parasitoides emergidos/número de larvas parasitadas
- e. Mortalidade induzida por parasitoides (%) ou mortalidade corrigida = ((Mortalidade do tratamento % - Mortalidade do Controle %)/(100 - Mortalidade do Controle %))\*100 (SCHNEIDER-ORELLI, 1947).
- f. Redução da população = Parasitismo (%) + Mortalidade induzida (%)

## 2.3 Análises estatísticas

Quando os dados não seguirem uma distribuição normal, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis seguido de comparações médias pelo teste de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) ( $\alpha \leq 0,05$ ) (R CORE TEAM, 2020). Para comparar o número de descendentes emergidos por nicho de forrageamento (copa e solo), foi utilizado o teste de Mann-Whitney ( $p \leq 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS

Constatou-se que o parasitismo geral médio de *T. giffardianus* sobre larvas de *C. capitata* foi de 63,1% (Tabela 1). O local de forrageamento, copa da árvore ou solo, não influenciou o parasitismo de *T. giffardianus*. O número médio de larvas parasitadas nos frutos situados na copa da árvore foi de  $64,6 \pm 5,6\%$  e nos frutos situados no solo foi de  $61,6 \pm 3,9\%$ , não diferindo estatisticamente entre si (Teste t;  $p > 0,05$ ) (Tabela 1). *Tetrastichus giffardianus* foi capaz de causar redução média de 65,4% na população de *C. capitata* (Tabela 1).

Observou-se que 2.294 fêmeas (66,9%) e 1.137 machos emergiram dos frutos ofertados na copa das plantas e 2.276 fêmeas (61,3%) e 1.437 machos nos frutos do solo. A razão sexual foi de 0,61 e 0,67 para o solo e copa, respectivamente, não diferindo estatisticamente pelo teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) a 5% de probabilidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados da atividade parasitária (média  $\pm$  erro padrão) de *Tetrastichus giffardianus* sobre larvas de *Ceratitidis capitata* sob condições de semicampo, em um ambiente semiárido, Mossoró/RN, Brasil.

Local de forrageamento	Índice de parasitismo de <i>Tetrastichus giffardianus</i> (%) <sup>NS</sup>	Redução populacional de <i>Ceratitidis capitata</i> (%) <sup>NS</sup>	Razão Sexual	* $p > \chi^2$
Copa	$64,6 \pm 5,2$	$64,6 \pm 3,0$	0,67	0,9608
Solo	$61,6 \pm 3,9$	$66,1 \pm 2,7$	0,61	
Médias	$63,1 \pm 3,2$	$65,4 \pm 1,9$		

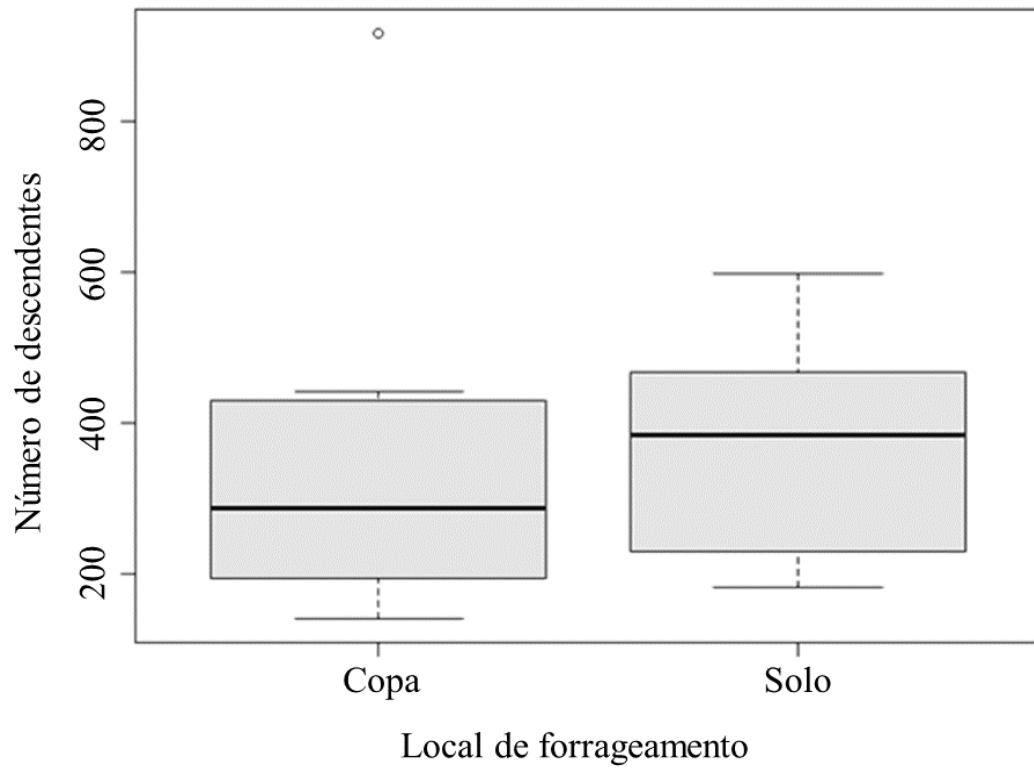
<sup>NS</sup>Não significativo pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

\*Valores de  $\chi^2$  não significativos ao nível de 5% de probabilidade (gl=1)

Não houve diferença significativa na produção de descendentes entre os locais de forrageamento avaliados (teste t;  $p > 0,05$ ) (Figura 3). Foram contabilizados 3431 adultos emergidos dos frutos na copa e 3713 adultos emergidos dos frutos do solo, com média de descendentes de 13,4 e 15,7 indivíduos por pupário na copa e solo, respectivamente.

O número de parasitoides emergidos de frutos situados na copa da árvore variou de 140 a 514 adultos, ao passo que no solo emergiram de 181 a 597 adultos. Em mediana, o número de descendentes emergidos por fruto na copa (286,5) não diferiu do número de descendentes emergidos por fruto no solo (383,5) ( $U = 38$ ,  $p = 0,393$ ) (Figura 3).





**Figura 3.** Boxplot do número de descendentes de *Tetrastichus giffardianus* emergidos de *Ceratitis capitata*, em dois locais de forrageamento (copa e solo).

#### 4 DISCUSSÕES

A alta taxa de parasitismo verificado deste estudo mostra que *T. giffardianus* apresenta potencial para ser utilizado no controle de *C. capitata*, nas condições do semiárido brasileiro. O parasitismo geral médio de *T. giffardianus* em larvas de *C. capitata* neste estudo (63,1%) foi superior aos observados por Purcell; Van Nieuwenhoven; Batchelor (1996) sobre *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet) (4,6%), *C. capitata* (20,5%) e *Bactrocera dorsalis* (Handel) (36,7%), sob condições controladas, e por Octrina (2010) sobre *Bactrocera* sp. Walker (38,1%), em condições de campo.

Vale salientar que *T. giffardianus* foi introduzido na região sudeste (Estado de São Paulo) do Brasil, na década de 1930, visando ao controle de *C. capitata*, mas a introdução foi considerada mal sucedida, pois o parasitoide não foi mais recapturado em campo (COSTA et al., 2005). Sessenta anos após essa introdução, *T. giffardianus* foi redescoberto em vários locais da região nordeste (ARAÚJO et al., 2015; COSTA et al., 2005), sugerindo que este parasitoide pode ser mais bem adaptado às condições do semiárido brasileiro. Estudos realizados por Fernandes et al. (2020) demonstraram que *T. giffardianus* conseguiu se desenvolver e parasitar larvas de *C. capitata* confinados em câmara climatizada de demanda biológica de oxigênio (BOD), em uma temperatura constante de 30°C.

A avaliação do local de forrageamento (copa da árvore e solo) demonstrou que a localização do fruto não comprometeu a eficiência de busca e parasitismo de *T. giffardianus* em larvas de *C. capitata*. Contudo, Vargas et al. (2001) verificaram a ausência de *T. giffardianus* em frutos coletados diretamente nas plantas, sugerindo que eles forrageiam principalmente larvas dentro dos frutos caídos ao solo, ressaltando, no entanto, que os frutos coletados no solo podiam ser recém-caídos e ter abrigado parasitoides que estavam em seu interior ainda quando eles estavam na planta.

Purcell; Duan; Messing (1997) relataram que *T. giffardianus* foi capaz de parasitar larvas de *Procecidochares alani* (Steyskal) (Diptera: Tephritidae) no interior de galhas, indicando que esse parasitoide tem a capacidade de penetrar na planta em busca das larvas hospedeiras. Além disso, Pemberton; Willard (1918) colheram frutos de *Thevetia neriifolia* diretamente das árvores e obtiveram larvas de moscas-das-frutas parasitadas por *T. giffardianus*.

Neste estudo, constatou-se que nos frutos ofertados no solo, os parasitoides adultos penetraram nos frutos em busca das larvas, através de orifícios previamente realizados no laboratório ou através de aberturas naturais deixadas por algumas larvas ao saírem dos frutos

para pupar. No entanto, apesar de não terem sido realizados orifícios nos frutos ofertados na copa da árvore, observou-se que durante o forrageamento nesses frutos, os parasitoides adultos rasgaram o parafilme com as mandíbulas (Figura 4) para penetrar nos frutos em busca das larvas e/ou penetraram no fruto por aberturas naturais realizadas pela saída de algumas larvas. As observações diferem do hábito de forrageamento dos parasitoides da família Braconidae, que parasitam o hospedeiro inserindo ovipositor através da polpa do fruto para ovipositar diretamente nos ovos e/ ou larvas hospedeiras em desenvolvimento dentro do fruto (SIVINSKI; VULINEC; ALUJA, 2001).

A redução da população de *C. capitata* ocasionada por *T. giffardianus* também mostra o potencial de uso desse parasitoide, pois a redução populacional da praga é o objetivo principal dos programas de controle biológico desse tefritídeo. Contudo, é importante lembrar que a redução da população da praga com inimigos naturais pode ser influenciada, dentre outros fatores, pelas variações edafoclimáticas locais (KASER; NIELSEN; ABRAM, 2018; MORAITI; KYRITSIS; PAPADOPOULOS, 2020; PEDRO et al., 2017a, 2017b, 2018).

O número médio de descendentes por pupário entre os locais de forrageamento avaliados não diferiu, com média de 14,6 parasitoides por pupário hospedeiro, resultado superior aos encontrados na literatura. Avaliando parâmetros biológicos de *T. giffardianus*, Ramadan; Wong (1990) obtiveram um máximo de 15 parasitoides, com média de 6,1 e 6,7 parasitoides por pupário sobre os hospedeiros *Dacus dorsalis* e *C. capitata*, respectivamente. Autuori (1942) e Pemberton; Willard (1918) relataram média de 10,5 e 8,6 parasitoides obtidos por pupário de *C. capitata*, respectivamente, ambos abaixo dos resultados obtidos na presente pesquisa.

No geral, o número de larvas parasitadas por fêmea de *T. giffardianus* é baixo quando comparado com braconídeos opiíneos, mas isto é compensado pelo hábito gregário da espécie (COSTA et al., 2005). A taxa de reprodução líquida observada ( $R_0$ ) em *T. giffardianus* é de 69,96 (FERNANDES et al., 2020), bem superior à taxa de reprodução líquida de muitas espécies de parasitoides solitários, como, por exemplo, *D. longicaudata* com  $R_0$  de 45,56 utilizando *C. capitata* como hospedeiro, a 25°C (MEIRELLES; REDAELLI; OURIQUE, 2013). Essa informação contribui diretamente para conhecer o potencial de aumento populacional da espécie e a possibilidade de sucesso e adaptação frente às condições ambientais locais.

Quanto à razão sexual, observou-se que, independentemente do local de forrageamento avaliado, os resultados indicam maior proporção de fêmeas (60%) em relação aos machos. O local de forrageamento não resultou em diferença significativa para

emergência de fêmeas, reforçando a expressão genética desta característica sobre o parasitoide estudado, não havendo interferência ambiental para o caractere avaliado. De maneira semelhante aos nossos resultados, Fernandes et al. (2019) observaram maior emergência de fêmeas, com razão sexual de 0,74 e Ramadan; Wong (1990) relataram razão sexual de 0,75, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo.

A alta proporção de fêmeas entre os descendentes desta espécie é uma característica positiva, pois as fêmeas são responsáveis diretas pelo parasitismo da praga em campo. Pemberton; Willard (1918) afirmaram que apenas um a cada agrupamento de 6 a 8 ovos colocados por fêmeas acasaladas está destinado a produzir um macho.

Apesar dos resultados obtidos no presente estudo, é fundamental a realização de novos estudos em condições de campo, para avaliar a real capacidade do uso de *T. giffardianus* no controle biológico de *C. capitata* em pomares de frutíferas, em ambientes semiáridos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Tetrastichus giffardianus* apresentou elevada capacidade de parasitismo em larvas de *Ceratitis capitata* em condições de semicampo, em um ambiente semiárido. A eficiência de parasitismo e os demais parâmetros biológicos avaliados foram semelhantes em frutos situados tanto na copa da árvore quanto no solo. A razão sexual do parasitoide foi sempre tendenciosa ao sexo feminino. Este tipo de estudo apresenta relevância para o controle biológico deste tefritídeo-praga, pois mostra a distribuição espacial de forrageamento deste parasitoide em condições de semicampo.

## REFERÊNCIAS

- ALUJA, M. et al. Colonization and domestication of seven species of native new world hymenopterous larval-prepupal and pupal fruit fly (Diptera: Tephritidae) parasitoids. **Biocontrol Science and Technology**, v. 19, n. 1, p. 49–79, 2009.
- ALUJA, M. et al. Inter-specific competition and competition-free space in the tephritid parasitoids *Utetes anastrephae* and *Doryctobracon areolatus* (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae). **Ecological Entomology**, v. 38, n. 5, p. 485–496, 2013.
- ARAÚJO, A. A. R. et al. *Tetrastichus giffardianus* on pupae of *Anastrepha* in Brazil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1134–1135, 2016.
- ARAUJO, E. L. et al. Parasitoides (Hymenoptera) de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) no semiárido do Estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 610–616, 2015.
- ARAUJO, E. L.; ZUCCHI, R. A. Parasitoides (Hymenoptera: Braconidae) de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) na região de Mossoró/Assu, Estado do Rio Grande do Norte. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 69, n. 2, p. 65–68, 2002.
- AUTUORI, M. Dados a respeito de *Tetrastichus giffardianus* Sil., parasita de *Ceratitis capitata* Wied. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 13, p. 149–162, 1942.
- CARVALHO, R. DA S. Biocontrole de moscas-das-frutas: histórico, conceitos e estratégias. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, p. 14–17, 2006.
- COSTA, V. A. et al. Redescoberta de *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae) após 60 anos da sua introdução no Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 72, n. 4, p. 539–541, 2005.
- FERNANDES, E. C. et al. Rearing technique and demographic parameters of *Tetrastichus giffardianus* Silvestre (Hymenoptera: Eulophidae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2201–2208, 2019.
- FERNANDES, E. C. et al. Fertility life table and biology of *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae) in the larvae of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Bulletin of Entomological Research**, p. 1–8, 2020.
- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- KASER, J. M.; NIELSEN, A. L.; ABRAM, P. K. Biological control effects of non-reproductive host mortality caused by insect parasitoids. **Ecological Applications**, v. 28, n. 4, p. 1081–1092, 2018.
- LEWIS, W. J. et al. Variations in parasitoid foraging behavior: essential element of a sound biological control theory. **Environmental Entomology**, v. 19, n. 5, p. 1183–1193, 1990.

- MAHMOUD, M. E. E. et al. The role of *Tetrastichus giffardianus* Silvestri (Eulophidae: Hymenoptera) in natural control of *Bactrocera zonata* (Saunders) (Tephritidae: Diptera) and its temporal abundance in Sudan. **Bulletin OEPP/EPP Bulletin**, v. 49, n. 2, p. 359–363, 2019.
- MEIRELLES, R. N.; REDAELLI, L. R.; OURIQUE, C. B. Comparative biology of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Florida Entomologist**, v. 96, n. 2, p. 412-418, 2013.
- MONTOYA, P. et al. Effect of *Diachasmimorpha longicaudata* releases on the native parasitoid guild attacking *Anastrepha* spp. larvae in disturbed zones of Chiapas, Mexico. **BioControl**, v. 62, p. 581–593, 2017.
- MORAITI, C. A.; KYRITSIS, G. A.; PAPADOPOULOS, N. T. Effect of the olive fruit size on the parasitism rates of *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) by the figitid wasp *Aganaspis daci* (Hymenoptera: Figitidae), and first field releases of adult parasitoids in olive grove. **Hellenic Plant Protection Journal**, v. 13, n. 2, p. 66–77, 2020.
- OCTRIANA, L. Identifikasi dan analisis tingkat parasitasi jenis parasitoid terhadap hama lalat buah *Bactrocera tau* pada tanaman markisa. **Jurnal Hortikultura**, v. 20, n. 2, p. 179–185, 2010.
- OVRUSKI, S. et al. Hymenopteran parasitoids on fruit-infesting Tephritidae (Diptera) in Latin America and the Southern United States: Diversity, distribution, taxonomic status and their use in fruit fly biological control. **Integrated Pest Management Reviews**, v. 5, n. 2, p. 81–107, 2000.
- PARANHOS, B. A. J.; WALDER, J. M. M.; ALVARENGA, C. D. Parasitismo de larvas da mosca-do-mediterrâneo por *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) em diferentes cultivares de goiaba. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 2, p. 243–246, 2007.
- PARANHOS, B. J. et al. Intrinsic competition and competitor-free-space influence the coexistence of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) of neotropical Tephritidae (Diptera). **Environmental Entomology**, v. 42, n. 4, p. 717–723, 2013.
- PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: An overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 345–355, 2014.
- PEDERSEN, B. S.; MILLS, N. J. J. Single vs. multiple introduction and niche overlap roles of parasitoid efficiency, antagonism and niche overlap. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 1925, p. 973–984, 2004.
- PEDRO, L. et al. Effect of host density and location on the percentage parasitism, fertility and induced mortality of *Aganaspis daci* (Hymenoptera: Figitidae), a parasitoid of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Crop Protection**, v. 92, n. 1, p. 160–167, 2017.

PEDRO, L. et al. Parasitism of *Aganaspis daci* against *Ceratitis capitata* under mediterranean climate conditions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 163, n. 3, p. 287–295, 2017.

PEDRO, L. et al. Combined use of the larvo-pupal parasitoids *Diachasmimorpha longicaudata* and *Aganaspis daci* for biological control of the medfly. **Annals of Applied Biology**, v. 174, n. 1, p. 1–11, 2018.

PEMBERTON, C. E.; WILLARD, H. F. A contribution to the biology of fruit-fly parasites in Hawaii. **Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 8, p. 419–465, 1918.

PEREIRA, F. F. et al. Reproductive performance of *Palmistichus elaeisis* Delvare and LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) with previously refrigerated pupae of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 3, p. 865–869, 2009.

PURCELL, M. F.; DUAN, J. J.; MESSING, R. H. Response of three hymenopteran parasitoids introduced for fruit fly control to a gall-forming Tephritid, *Procecidochares alani* (Diptera: Tephritidae). **Biological Control**, v. 9, p. 193–200, 1997.

PURCELL, M. F.; VAN NIEUWENHOVEN, A.; BATCHELOR, M. A. Bionomics of *Tetrastichus giffardianus* (Hymenoptera: Eulophidae): an endoparasitoid of tephritid fruit flies. **Biological Control**, v. 25, n. 1, p. 198–206, 1996.

R CORE TEAM, R. **A language and environment for statistical computing**, Copyright (C) The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

RAMADAN, M. M.; WONG, T. T. Y. Biological observations on *Tetrastichus giffardianus* a gregarious endoparasitoid of the mediterranean fruit fly and the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). **Proceedings, Hawaiian Entomological Society**, v. 30, n. 1, p. 59–62, 1990.

SCHNEIDER-ORELLI, O. **Entomologisches Praktikum**. Sauerlande ed. Aarau, Switzerland, 1947.

SILVEIRA-NETO, S. et al. **Manual de ecologia dos insetos**. Piracicaba: Ceres, 1976.

SIVINSKY, J.; VULINEC, K.; ALUJA, M. Ovipositor length in a guild of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) attacking *Anastrepha* spp. fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southern Mexico. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 94, n. 6, p. 886–895, 2001.

SIVINSKI, J. M. et al. Suppression of a caribbean fruit fly *Anastrepha suspensa* (Loew) (Diptera: Tephritidae) population through augmented releases of the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). **Biological Control**, v. 6, n. 2, p. 177–185, 1996.

SIVINSKI, J.; PIÑERO, J.; ALUJA, M. The distributions of parasitoids (Hymenoptera) of *Anastrepha* fruit flies (Diptera: Tephritidae) along an altitudinal gradient in Veracruz, Mexico. **Biological Control**, v. 18, n. 3, p. 258–269, 2000.



VARGAS, R. I. et al. Potential for areawide integrated management of mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) with a braconid parasitoid and a novel bait spray. **Journal of Economic Entomology**, v. 94, n. 4, p. 817–825, 2001.

VET, L. E. M.; LEWIS, W. J.; CARDÉ, R. T. Parasitoid foraging and learning. In: CARDE, R. T.; BELL, W. J. (org.). **Chemical Ecology of Insects 2**. Chapman e Hall, Boston, p. 65–101, 1995.