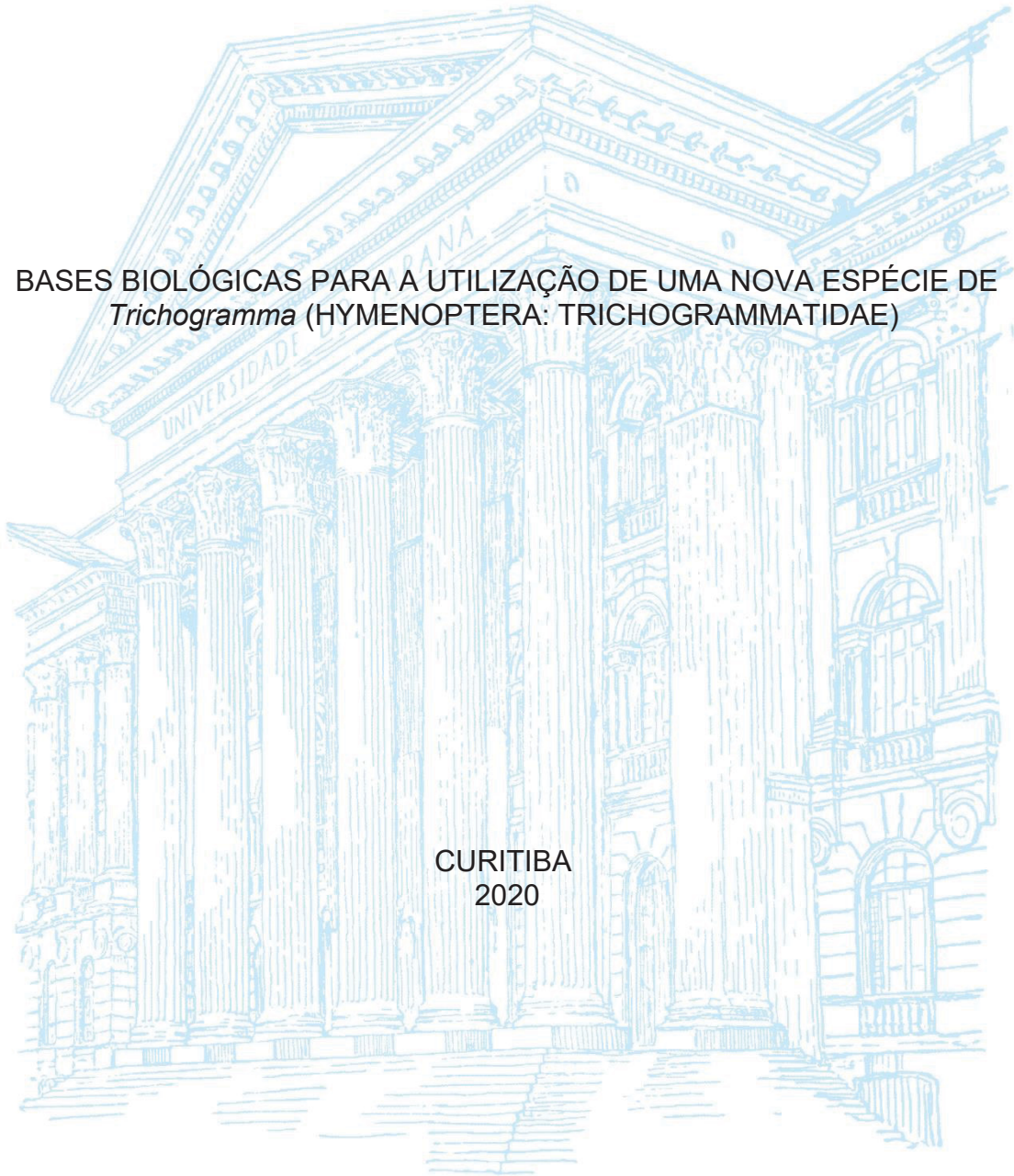


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME NISHIMURA

BASES BIOLÓGICAS PARA A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA ESPÉCIE DE  
*Trichogramma* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

CURITIBA  
2020



GUILHERME NISHIMURA

BASES BIOLÓGICAS PARA A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA ESPÉCIE DE  
*Trichogramma* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Amilton Foerster

CURITIBA  
2020

Nishimura, Guilherme

Bases biológicas para a utilização de uma nova espécie de *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). / Guilherme Nishimura. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Orientador: Luís Amilton Foerster.

1. Controle Biológico. 2. Parasitoide de ovos. 3. *Anticarsia gemmatalis*.  
I. Foerster, Luís Amilton. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA  
EDUCAÇÃO SETOR DE  
CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GUILHERME NISHIMURA** intitulada: **BASES BIOLÓGICAS PARA A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA ESPÉCIE DE *Trichogramma* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)**, sob orientação do Prof. Dr. LUÍS AMILTON FOERSTER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Outubro de 2020.

Assinatura Eletrônica

26/10/2020 16:30:12.0

LUÍS AMILTON FOERSTER

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

26/10/2020 17:01:28.0

GERALDO ANDRADE DE CARVALHO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS)

Assinatura Eletrônica

27/10/2020 13:51:11.0

BRUNO ALEXIS ZACHRISSON SALAMINA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE NACIONAL DO PANAMÁ)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná -  
Brasil CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail:  
pgapv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 57544

**Para autenticar este documento/assinatura, acesse**  
**<https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 57544**

À minha noiva Camila Santos Silveira e ao meu filho Antônio Silveira Nishimura, pelo incentivo, companheirismo e amor incondicional.

Aos meus pais, Milton Nishimura e Maria Suzuki Nishimura e à minha irmã Camila Nishimura, por acreditarem no meu crescimento profissional e pessoal, me apoiando em todos os momentos desta jornada.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Luís Amilton Foerster, pela orientação, ensinamentos, oportunidade concedida, confiança e principalmente pela compreensão nos momentos que precisei.

À minha família, em especial à minha noiva Camila Santos Silveira, por me apoiar e principalmente pela enorme dedicação e cuidado com o nosso pequeno Antônio, dando tempo para que eu conseguisse finalizar esta dissertação.

À grande amiga e parceira de laboratório Tamara Akemi Takahashi, pelos valiosos ensinamentos sobre criação de insetos, pelas ideias, discussões científicas, auxílio com os experimentos e estatística, agindo como uma coorientadora para mim desde a minha chegada ao laboratório.

À Dra. Magda Fernanda Paixão, pela amizade, conversas científicas, apoio e ajuda com os experimentos.

Aos membros da banca avaliadora, professor Dr. Geraldo Andrade Carvalho e Dr. Bruno Alexis Zachrisson Salamina pelas sugestões que contribuíram para a melhoria dessa dissertação.

À Professora Dra. Marion do Rocio Foerster, pela amizade, ensinamentos e por sempre me apoiar e acreditar no meu potencial. Agradeço também pelas sugestões concedidas durante a pré-defesa.

Ao Professor Dr. Cesar Augusto Marchioro pelas considerações e contribuições realizadas na pré-defesa.

À Ana, pela amizade e por auxiliar com as criações de insetos.

A todos que fizeram parte do grupo de pesquisa do Laboratório de Controle Integrado de Insetos durante este período.

Aos professores do curso de pós-graduação em Agronomia e Zoologia pelos ensinamentos que adquiri durante as disciplinas ministradas.

À Lucimara Antunes, secretária do programa de pós-graduação em agronomia, pela disposição em ajudar em todos os momentos que precisei.

À Sandra Magro da Koppert, por ceder espécies hospedeiras, embora não tenha entrado nesta dissertação, ajudou a compreender mais sobre a espécie de *Trichogramma* estudada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante o período do curso.

Muito obrigado!

***“The important thing is to never stop questioning”***

**Abert Einstein**

## RESUMO

Uma nova espécie de parasitoide, *Trichogramma foersteri* Takahashi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), foi descoberta em São José dos Pinhais – PR, parasitando ovos de *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Lepidoptera: Erebidae) na cultura da soja na safra de 2017/2018. Com o objetivo de conhecer as características de desenvolvimento e reprodução dessa espécie, a dissertação foi dividida em três capítulos. No primeiro, avaliou-se a influência de cinco temperaturas constantes, entre 15°C e 30°C, sobre os parâmetros de desenvolvimento, capacidade de parasitismo e mortalidade não reprodutiva de *T. foersteri* em ovos de *A. gemmatalis*, e também se determinou a constante térmica (K) e a temperatura base (T<sub>b</sub>) da espécie. Tendo em vista o pior desempenho da espécie a 30°C, no segundo capítulo testou-se a hipótese de adaptação térmica ao longo de 30 gerações consecutivas a 30°C. Por fim, no terceiro capítulo foi avaliada a influência da idade das fêmeas na eficiência de controle de ovos de *A. gemmatalis*. A faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento foi de 20°C a 28°C. O limite térmico inferior estimado foi de 9,5°C e a constante térmica de 162,49 graus-dia (GD). O parasitismo ocorreu em quase sua totalidade nas primeiras 24 horas de oferta dos ovos, sendo de 73,4 a 183,84 ovos parasitados/fêmea a 30°C e 25°C. Além do alto parasitismo, *T. foersteri* provocou a mortalidade de forma não reprodutiva superior a 275 ovos na faixa de 20°C a 28°C. Durante os quatro dias, a mortalidade total dos ovos de *A. gemmatalis* variou de 151,21 a 465,65 ovos/fêmea. O segundo capítulo comprova os benefícios da aclimação por meio da criação em laboratório de gerações subsequentes a 30°C. O parasitismo nas primeiras 24 horas aumentou de 52,20 para 135,00 ovos na 5ª e 30ª geração. O controle total do hospedeiro se manteve acima de 233 ovos após a 20ª geração e a longevidade dobrou em relação às gerações iniciais. No experimento sobre a influência da idade das fêmeas, evidenciou-se que até seis dias as fêmeas continuam com um elevado controle dos ovos hospedeiro, o que sustenta ainda mais o potencial de uso dessa nova espécie. No quarto dia de vida, as fêmeas apresentaram a maior taxa de parasitismo, com 211 ovos parasitados; entretanto, o controle total não diferiu significativamente até o 5º dia, controlando aproximadamente 100% dos ovos ofertados. Conclui-se que *T. foersteri* tem um grande potencial para uso em programas de controle biológico de *A. gemmatalis*.

Palavras-chave: Controle biológico. parasitoide de ovos. *Anticarsia gemmatalis*.

## ABSTRACT

A new species of parasitoid, *Trichogramma foersteri* Takahashi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), was discovered in São José dos Pinhais, Paraná, Brazil, parasitizing eggs of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebidae) in the soybean 2017/2018 crop season. In order to better understand the biological characteristics and potential of this species in controlling *A. gemmatalis*, this dissertation was divided into three chapters. In the first one, we evaluated the influence of five constant temperatures, between 15°C and 30°C, on the development, parasitism rate and non-reproductive mortality of *T. foersteri* in *A. gemmatalis* eggs; the thermal constant (K) and the base temperature (T<sub>b</sub>) of the species were also determined. Due to the poorer performance of the species at 30°C, the second chapter tested the hypothesis of thermal adaptation over 30 consecutive generations at 30°C. In the third chapter, the influence of female age on the reproductive performance of *A. gemmatalis* was evaluated. We estimated that the ideal temperature for development ranged from 20°C to 28°C. The estimated lower thermal threshold was 9.5°C and the thermal constant was 162.49 degree-days. Parasitism occurred almost entirely in the first 24 hours of egg supply, ranging from 73.4 to 183.84 parasitized eggs / female at 30°C and 25°C, respectively. In addition to high parasitism rate, *T. foersteri* caused non-reproductive mortality up to 275 eggs in the range of 20°C to 28°C. During the four days, the total mortality of *A. gemmatalis* eggs varied from 151.21 to 465.65 eggs/female. The second chapter proves the benefits of acclimatization through laboratory rearing of subsequent generations at 30°C. During the first 24 hours parasitism increased from 52.2 to 135.00 eggs in the 5th and 30th generation, respectively. The total host mortality remained above 233 eggs after the 20th generation and the longevity doubled in relation to the initial generations. In the experiment on the influence of the female age on parasitism, it was shown that up to six days, the females continue to have a high control of the host eggs, which further supports the potential for using this new species. On the fourth day of life, females had the highest rate of parasitism, with 211 parasitized eggs, however the total control did not differ significantly until the 5th day, controlling approximately 100% of the eggs offered. We concluded that the *T. foersteri* has potential for use in *A. gemmatalis* biological control programs.

Key words: Biological control. egg parasitoid. *Anticarsia gemmatalis*.

## Lista de ilustrações – Capítulo I

- Figura 1: Número (Média  $\pm$  Erro padrão) de parasitoides adultos provenientes do primeiro dia de parasitismo de ovos de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* criados em diferentes temperaturas (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 horas) (N=25). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 27
- Figura 2: Controle total (%) (Média  $\pm$  Erro padrão) de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri*, durante quatro dias, submetidos a diferentes temperaturas constantes (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dia, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 28
- Figura 3: Tempo de desenvolvimento e curvas de taxa de desenvolvimento de *Trichogramma foersteri* criados em ovos de *Anticarsia gemmatalis* em diferentes temperaturas (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h). Tb = limiar térmico inferior; K = constante térmica..... 29

## Lista de ilustrações – Capítulo II

- Figura 1: Número (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos de *Anticarsia gemmatalis* parasitados por *Trichogramma foersteri* durante 24 horas, mantidos por 30 gerações a 30°C (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h) (N= 15). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dia, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 46
- Figura 2: Número (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos de *Anticarsia gemmatalis* controlados através da mortalidade não reprodutiva de *Trichogramma foersteri* durante 24 horas, mantidos por 30 gerações a 30°C (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h) (N= 15). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 47
- Figura 3: Controle total (%) (Média  $\pm$  Erro padrão) de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* durante 24 horas, mantidos por 30 gerações a 30°C (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h) (N= 15). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 47

## Lista de ilustrações – Capítulo III

- Figura 1: Número de ovos de *Anticarsia gemmatalis* parasitados por *Trichogramma foersteri* com diferentes idades por um período de 24 horas (Nº de ovos ofertados = 300). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 58
- Figura 2: Número de ovos de *Anticarsia gemmatalis* controlados de forma não reprodutiva por *Trichogramma foersteri* com diferentes idades por um período de 24 horas (Nº de ovos ofertados = 300). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 58

Figura 3: Controle total (%) de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* com diferentes idades por um período de 24 horas (Nº de ovos ofertados = 300). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )..... 59

### Lista de tabelas - Capítulo I

- Tabela 1: Viabilidade (%), tempo de desenvolvimento (dias), razão sexual e nº de parasitoides *Trichogramma foersteri* emergidos por ovo de *Anticarsia gemmatalis*, submetidos a diferentes temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h)..... 25
- Tabela 2: Longevidade (dias) (Média  $\pm$  erro padrão) de *Trichogramma foersteri*, em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, em diferentes temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h) (N= 25 casais)..... 26
- Tabela 3: Número médio (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos de *Anticarsia gemmatalis* parasitados por *Trichogramma foersteri*, durante quatro dias consecutivos, em diferentes temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h)..... 26
- Tabela 4: Número (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos inviabilizados (sem ocorrer o parasitismo) de *Trichogramma foersteri* em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, durante quatro dias, em cinco temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h)..... 28

### Lista de tabelas - Capítulo II

- Tabela 1: Tempo de desenvolvimento (dias), número (Média  $\pm$  Erro padrão) de parasitoides emergidos por ovo, total de parasitoides adultos produzidos por fêmea em 24 horas, viabilidade (%) e razão sexual de *Trichogramma foersteri*, em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, durante 30 gerações..... 45
- Tabela 2: Longevidade (Média  $\pm$  erro padrão) de *Trichogramma foersteri*, em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, avaliado durante 30 gerações mantidos a  $30^{\circ}\text{C}$  (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h) (N= 15)..... 45

### Lista de tabelas – Capítulo III

- Tabela 1: Viabilidade (%), nº de parasitoides emergidos e razão sexual (Média  $\pm$  erro padrão) de *Trichogramma foersteri* com diferentes idades, em ovos de *Anticarsia gemmatalis* (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h)..... 60

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	14
CAPÍTULO I: Influência da temperatura no desenvolvimento e capacidade de parasitismo de <i>Trichogramma foersteri</i> (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de <i>Anticarsia gemmatalis</i> (Lepidoptera: Erebidae).....	18
RESUMO.....	18
ABSTRACT .....	19
1. INTRODUÇÃO .....	20
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1. CRIAÇÃO E MANUTENÇÃO .....	22
2.1.1. LAGARTA <i>A. gemmatalis</i> .....	22
2.1.2. <i>Trichogramma foersteri</i> .....	23
2.2 EFEITO DA TEMPERATURA NO DESENVOLVIMENTO E REPRODUÇÃO DE <i>Trichogramma foersteri</i> .....	23
2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	24
3. RESULTADOS .....	25
4. DISCUSSÃO .....	29
5. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS .....	34
CAPÍTULO II: Adaptação térmica de <i>Trichogramma foersteri</i> (Hymenoptera: Trichogrammatidae) a 30°C ao longo de 30 gerações .....	39
RESUMO.....	39
ABSTRACT .....	40
1. INTRODUÇÃO .....	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3. RESULTADOS .....	44
4. DISCUSSÃO .....	47

5. CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS .....	50
CAPÍTULO III: Efeito da idade de fêmeas de <i>Trichogramma foersteri</i> no controle de <i>Anticarsia gemmatalis</i> .....	53
RESUMO.....	53
ABSTRACT .....	54
1. INTRODUÇÃO .....	55
2. MATERIAL DE MÉTODOS .....	56
3. RESULTADOS .....	57
4. DISCUSSÃO .....	60
5. CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS .....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## INTRODUÇÃO GERAL

---

O Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de produtos agrícolas do mundo (PIGNATI et al., 2017), com a área cultivada de aproximadamente 77,8 milhões de hectares para a safra de 2019 (SIDRA – IBGE, 2020). Um dos principais desafios enfrentados por este setor é reduzir a perda econômica provocada pelo ataque de insetos-praga, que no país tem gerado prejuízos estimados em 12 bilhões de dólares por ano (OLIVEIRA et al., 2013).

O modelo de agricultura presente no Brasil é composto por áreas extensivas cujo controle de pragas é realizado prioritariamente por meio da pulverização de inseticidas químicos, o que tem feito do país o maior usuário e consumidor de pesticidas do mundo (PIGNATI et al., 2017). Porém, a utilização de inseticidas quando realizada de forma abusiva, pode acarretar diversos impactos negativos ao ambiente, à saúde humana e à fauna benéfica, bem como, selecionar populações de insetos resistentes às moléculas químicas e aumentar os custos de produção (SOSA-GÓMEZ; OMOTO, 2012).

Para reduzir esses impactos, buscam-se estratégias mais sustentáveis, ambientalmente e economicamente. Dentro desse contexto, o controle biológico vem crescendo em ritmo acelerado nos últimos anos (VAN LENTEREN et al., 2017; ZANG et al., 2020). Essa prática consiste na utilização de um organismo para manter a população de insetos-praga abaixo do nível de ação (COCK et al., 2010; VAN LENTEREN, 2012). O controle biológico aplicado, que visa a supressão das pragas por meio de liberações massais de inimigos naturais, tem uma boa aceitação entre os produtores, apresentando diversos casos de sucesso ao redor do mundo (VAN LENTEREN et al., 2017; ZANG et al., 2020).

Dentre os agentes de controle biológico, os parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) são os inimigos naturais mais utilizados no mundo (SMITH, 1996; VAN LENTEREN; BUENO, 2003; PARRA; COELHO, 2019). Este gênero possui cerca de 235 espécies descritas (QUERINO; ZUCCHI, 2019), sendo estudado em mais de 50 países para o controle de espécies de lepidópteros de importância agrícola (SMITH, 1996). No Brasil, estudos com *Trichogramma* já foram realizados para o controle de pragas em diversas culturas, como soja, milho, algodoeiro, tomateiro, cana-de-açúcar e frutíferas (PARRA; ZUCCHI, 2004; FOERSTER; FOERSTER, 2009; OLIVEIRA et al., 2017; LAURENTIS et al.; 2019; MORAIS et al., 2020). Algumas das características responsáveis pela grande adesão ao

uso desses parasitoides incluem a facilidade de criação em laboratório, ampla distribuição geográfica, grande diversidade de hospedeiros e em matar o inseto praga no estágio de ovo, evitando que as lagartas provoquem danos na cultura (HASSAN, 1993; PARRA; ZUCCHI, 2004).

Ao selecionar as espécies de *Trichogramma* utilizadas em programas de controle biológico aplicado, deve-se priorizar a utilização de espécies nativas com alta eficiência de controle da praga alvo. Previamente à sua liberação em campo, é importante conhecer as características das espécies que serão liberadas e assim estabelecer a melhor recomendação e estratégia de liberação. Comumente, os atributos analisados em laboratório são fecundidade, viabilidade de emergência, razão sexual, longevidade e tolerância às condições climáticas (SMITH, 1996).

A principal característica que avalia a eficiência dos parasitoides é a capacidade de parasitismo. No entanto, além do parasitismo, há mecanismos não reprodutivos que provocam a morte dos ovos hospedeiros (ABRAM et al., 2019). A nutrição dos adultos pelo consumo do hospedeiro, após perfurar os ovos, é o mais conhecido desse modo de mortalidade, denominada “*host-feeding*” (JERVIS; KIDD, 1986). Porém há outras causas ainda pouco exploradas que provocam a mortalidade não reprodutiva, e em alguns casos representam a maior parte de toda a mortalidade causada pelo parasitoide (ABRAM et al., 2019). Portanto, avaliar apenas o parasitismo pode subestimar o real potencial de controle das espécies de *Trichogramma* (VÁSQUEZ et al., 1997; MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015). Analisar esses efeitos não reprodutivos se torna ainda mais relevante para a seleção de espécies utilizadas em liberações inundativas visando ao controle da praga a curto prazo, uma vez que nesses casos não é essencial que os parasitoides se multipliquem em campo (ABRAM et al., 2019).

Dentre os principais fatores que interferem nas características biológicas dos insetos estão a temperatura, umidade relativa, fotoperíodo, alimentação e interação com o hospedeiro. Dentre os fatores abióticos, a temperatura é a principal variável que afeta o desenvolvimento e o desempenho reprodutivo dos parasitoides em campo (JALALI; MOHANRAJ; LAKSHMI, 2016), sendo essencial e amplamente estudado para se estabelecer programas de controle biológico para as diferentes espécies de *Trichogramma* (BUENO; PARRA; BUENO, 2009; FOERSTER; FOERSTER, 2009; BUENO; PARRA; BUENO, 2012; FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014).

Algumas espécies/linhagens, como *Trichogramma acacioi* Brun, *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner (FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014;

KRECHEMER; FOERSTER, 2015), *Trichogramma rojasi* Nagaraja & Nagarkatti e *Trichogramma lassalei* Pinto, Moraes & Soares (FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014), são negativamente afetadas por temperaturas acima de 30°C, resultando na redução da capacidade de parasitismo e da longevidade desses insetos. Visando diminuir esses impactos, algumas pesquisas sugerem que tratamentos de aclimação térmica, em que se alteram as condições ambientais de criação em laboratório, levam à modificação nas características dos insetos, podendo trazer respostas benéficas no desempenho dos parasitoides (SCOTT; BERRIGAN; HOFFMANN, 1997; HOFFMANN; HEWA-KAPUGE, 2000; SGRÒ; TERBLANCHE; HOFFMANN, 2016).

Em *Trichogramma* spp., estudos de aclimação têm ocorrido por meio da exposição dos insetos à altas temperaturas por poucas horas, resultando em alterações na mesma geração (SCOTT; BERRIGAN; HOFFMANN, 1997; HOFFMANN; HEWA-KAPUGE, 2000; THOMSON; ROBINSON; HOFFMANN, 2001). Nesses casos o tempo em que os parasitoides são expostos e a fase de desenvolvimento devem ser rigorosamente controlados, pois, dependendo do tratamento realizado, gera custos em seu *fitness*, reduzindo a capacidade de parasitismo dos insetos. Por exemplo, Scott, Berrigan e Hoffmann (1997) aclimataram *Trichogramma carverae* Oatman & Pinto por meio da exposição dos ovos parasitados durante o quinto dia de desenvolvimento, por 13 e 25,5 horas à 33°C, o que resultou no aumento da resistência dos insetos a altas temperaturas, entretanto provocou redução do parasitismo. Posteriormente, Thomson, Robinson e Hoffmann (2001) alteraram o tratamento de *T. carverae* para 8 horas de exposição à 33°C durante o último dia de pupa (dia 10), e relataram que além do aumento da resistência desses insetos, não houve redução do parasitismo. Outra alternativa é a aclimação térmica ao longo de várias gerações subsequentes mantidas em temperatura constante (SGRÒ; TERBLANCHE; HOFFMANN, 2016). Esta técnica apresenta maior facilidade para ser executada por biofábricas, devido principalmente ao fato de manter os mesmos processos de criação, apenas alterando a temperatura constante em que os insetos são mantidos. No entanto, em *Trichogramma* spp. os efeitos da adaptação térmica ao longo de gerações subsequentes ainda são desconhecidos (SGRÒ; TERBLANCHE; HOFFMANN, 2016).

Apesar do grande avanço das pesquisas com *Trichogramma* spp. realizadas nas últimas décadas e da grande diversidade de espécies encontradas ao redor do mundo, no Brasil apenas *Trichogramma pretiosum* Riley e *Trichogramma galloi* Zucchi são

liberadas comercialmente (AGROFIT, 2020), evidenciando a necessidade de se buscar novos agentes de controle biológico no país (PARRA; COELHO, 2019).

O grupo de pesquisa do Laboratório de Controle Integrado de Insetos (LCII) da Universidade Federal do Paraná, há mais de duas décadas tem realizado levantamentos de campo em busca de parasitoides que possam ser utilizados no controle de pragas de diferentes culturas. Na cultura da soja, diversos autores registraram o parasitismo natural de *Trichogramma* spp. em ovos de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebidæ), uma das principais pragas desfolhadoras da cultura. Foerster e Avanci (1999) registraram o parasitismo de *T. pretiosum*, *T. rojasi* e *T. atopovirilia*; posteriormente Avanci, Foerster e Cañete (2005) coletaram, além das espécies citadas anteriormente, *T. acacioi* e *T. lasallei*; e Dudczak et al. (2017) encontraram, também em ovos de *A. gemmatalis*, *Trichogramma bruni* Nagaraja. Recentemente, durante a safra de soja de 2017/2018, Takahashi et al. (2021) coletaram uma nova espécie, *Trichogramma foersteri* Takahashi, parasitando ovos de *A. gemmatalis* no município de São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. Visando contribuir para a inserção dessa nova espécie em programas de controle biológico de pragas, esta dissertação tem como objetivo estudar o comportamento e as características de desenvolvimento e reprodução de *T. foersteri* em ovos de *A. gemmatalis*.

A dissertação foi dividida em três capítulos; no primeiro, avaliou-se a influência de cinco temperaturas constantes, entre 15°C e 30°C, sobre os parâmetros de desenvolvimento, capacidade de parasitismo e mortalidade não reprodutiva de *T. foersteri* em ovos de *A. gemmatalis*, e também se determinou a constante térmica (K) e a temperatura base (T<sub>b</sub>) da espécie. A partir dos resultados obtidos no capítulo 1, foram traçados outros objetivos apresentados nos capítulos 2 e 3. Tendo em vista a menor adequação da espécie a 30°C, no segundo capítulo testou-se a hipótese de adaptação térmica ao longo de 30 gerações consecutivas a 30°C. No terceiro capítulo foi avaliada a influência da idade das fêmeas de *T. foersteri* na eficiência de controle de *A. gemmatalis*.

---

**Influência da temperatura no desenvolvimento e capacidade de parasitismo de *Trichogramma foersteri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebidae)**

**RESUMO**

Um dos principais gargalos do controle biológico no Brasil é o baixo número de espécies de inimigos naturais disponíveis comercialmente. Recentemente, uma nova espécie, *Trichogramma foersteri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), foi descoberta parasitando ovos de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebidae) na cultura da soja. Avaliou-se a influência de cinco temperaturas constantes (15, 20, 25, 28, 30°C) sobre o desenvolvimento, capacidade de parasitismo, mortalidade não reprodutiva e controle total de *T. foersteri* em ovos de *A. gemmatalis*. Os ovos foram colados em cartelas e ofertados diariamente durante quatro dias consecutivos; no primeiro dia as cartelas continham 250 ovos e nos demais dias 100 ovos. A temperatura afetou o tempo de desenvolvimento, viabilidade, razão sexual e número de adultos produzidos por fêmea. A faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento foi de 20 a 28°C. O limite térmico inferior estimado foi de 9,5°C e a constante térmica de 162,49 graus-dia (GD). O parasitismo ocorreu em quase sua totalidade nas primeiras 24 horas de oferta dos ovos, variando de 73,4 a 183,84 ovos parasitados/fêmea a 30°C e 25°C. Além do alto parasitismo, *T. foersteri* provocou a mortalidade de forma não reprodutiva superior a 275 ovos na faixa de 20°C a 28°C. Durante os quatro dias, a mortalidade total dos ovos de *A. gemmatalis* variou de 151,21 a 465,65 ovos/fêmea. Os resultados demonstraram que *T. foersteri* apresenta maior capacidade de controle comparado às espécies de *Trichogramma* descritas na literatura, tendo grande potencial para ser utilizado em programas de controle biológico.

Palavras-chave: Mortalidade não reprodutiva. exigência térmica. controle biológico.

## ABSTRACT

One of the main bottlenecks for the implementation of biological control in Brazil is the low number of species of natural enemies commercially available. Recently, a new species, *Trichogramma foersteri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), was discovered parasitizing eggs of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebidae) in soybean. The influence of five constant temperatures (15, 20, 25, 28, 30°C) was evaluated on parasitism capacity, non-reproductive mortality and total control of *T. foersteri* in *A. gemmatalis* eggs. The eggs were glued on cardboard strips and daily offered to females during four consecutive days; on the first day 250 eggs were offered and on the other days 100 eggs. Temperature affected development time, survival, sex ratio and number of adults produced per female. The most suitable temperature range for development was between 20°C and 28°C. The estimated lower thermal threshold was 9.5°C and the thermal constant was 162.49 degree-days (DD). Parasitism occurred almost entirely in the first 24 hours of egg supply, ranging from 73,4 to 183,84 parasitized eggs / female at 30°C and 25°C. In addition to the high parasitism rate, *T. foersteri* caused non-reproductive mortality of more than 275 eggs in the range between 20°C to 28°C. During the four days, total mortality of *A. gemmatalis* eggs varied from 151.21 to 465.65 eggs/female. The results show that *T. foersteri* has greater control capacity than other *Trichogramma* species described in the literature, showing great potential to be used in biological control programs.

Key words: Non-reproductive mortality. thermal requirements. biological control.

## 1. INTRODUÇÃO

Parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) estão entre os inimigos naturais mais estudados no mundo (SMITH, 1996; ZANG et al., 2020). No Brasil, as pesquisas com *Trichogramma* iniciaram na década de 80 (PARRA; ZUCCHI, 2004) e com o passar dos anos, foram estudadas várias espécies para o controle de pragas-chave da soja, cana-de-açúcar, algodoeiro, grãos armazenados, hortaliças, milho e tomateiro (PARRA; ZUCCHI, 2004; FOERSTER; FOERSTER, 2009; OLIVEIRA et al., 2017; LAURENTIS et al.; 2019; MORAIS et al., 2020). Apesar da diversidade de espécies de *Trichogramma* encontradas no país (QUERINO; ZUCCHI, 2019), os programas de controle biológico aplicado se concentraram em poucas espécies e atualmente apenas *Trichogramma pretiosum* Riley e *Trichogramma galloi* Zucchi são registradas para uso comercial.

*Trichogramma pretiosum* é registrado para o controle de lepidópteros pragas de diversas culturas. Em 2014, havia uma estimativa de liberação em 250 mil hectares de soja para controle de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebidiae), *Chrysodeixis includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) e *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) (PARRA, 2014). *Trichogramma galloi*, impulsionado pela utilização do parasitoide larval *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), foi liberado em aproximadamente 2 milhões de hectares para o controle de *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar, tornando-se um dos maiores programas de controle biológico do mundo (PARRA; COELHO, 2019). Essas informações indicam que o interesse pelo controle biológico tem crescido substancialmente no país (TOGNI et al., 2019). Entretanto, ainda há desafios para o avanço deste setor (PARRA, 2014), sendo o principal a baixa disponibilidade de espécies de inimigos naturais comercializados (PARRA; COELHO, 2019).

Inúmeros estudos comprovam a eficácia de liberações massais de *Trichogramma* spp. em diversos países (SMITH, 1996; VAN LENTEREN; BUENO, 2003; DAVIES et al., 2011; OS; VAN LENTEREN et al., 2017; VARSHNEY, 2018; PARRA; COELHO, 2019). No entanto, as liberações inundativas de espécies exóticas de *Trichogramma* não são indicadas, uma vez que tal ação gera o risco de competição e eliminação das espécies nativas (SMITH, 1996).

Assim, para o sucesso de programas de controle biológico aplicado, é fundamental selecionar espécies nativas que apresentem alta eficácia no controle da praga alvo e que estejam adaptadas às condições ambientais do agroecossistema

(SMITH, 1996). A busca por novos agentes nativos de controle biológico se tornou ainda mais necessária após a Instrução Normativa (IN) 5/2016 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, que restringe a importação de inimigos naturais para o Brasil (IBAMA, 2016).

Para se registrar um produto biológico no Brasil, os órgãos governamentais competentes exigem a caracterização do organismo a ser registrado, incluindo a sua classificação taxonômica, características morfológicas, biologia, distribuição geográfica e informações sobre a eficiência do inimigo natural. Para tornar o processo de registro mais fácil e rápido, informações científicas de artigos já publicados podem ser utilizadas para estabelecer especificações de referência (TOGNI et al., 2019). Nesse contexto, estudos laboratoriais são essenciais para se conhecer o potencial deste agente; tais estudos devem abordar a capacidade de parasitismo, emergência, razão sexual (porcentagem de progênie do sexo feminino), longevidade e tolerância às condições climáticas (SMITH, 1996).

Entre os fatores abióticos que afetam o desempenho de *Trichogramma* spp., a temperatura é o mais influente, alterando significativamente a taxa de parasitismo e as características biológicas de espécies do gênero (FOERSTER; FOERSTER, 2009; BUENO; PARRA; BUENO, 2012; FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014). Portanto, determinar a temperatura ideal para o desenvolvimento dos parasitoides, contribui para a escolha dos locais a serem utilizados e o momento da liberação, além de fornecer subsídios para a criação massal em laboratório (ZUIM et al., 2017).

Normalmente, a taxa de parasitismo é o principal ponto avaliado na eficiência de *Trichogramma* spp., no entanto algumas pesquisas demonstram que as fêmeas também podem causar a inviabilização do ovo hospedeiro sem que haja o parasitismo (VÁSQUEZ et al., 1997; HANSEN; JENSEN, 2009; MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015; ABRAM et al., 2016). Essa mortalidade não reprodutiva pode ser causada através da perfuração do ovo e/ou pelo efeito da injeção de compostos químicos, geralmente para a alimentação do parasitoide adulto (JERVIS; KIDD, 1986). Em algumas espécies, esse comportamento pode apresentar um impacto na mortalidade do hospedeiro até maior que o próprio parasitismo (JERVIS; KIDD, 1986; VÁSQUEZ et al., 1997; ABRAM et al., 2016).

Recentemente, uma nova espécie de *Trichogramma*, *Trichogramma foersteri* Takahashi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), foi coletada em ovos de *A. gemmatalis* na cultura da soja (TAKAHASHI et al., 2021). Devido à pouca informação existente sobre

esta nova espécie, o presente estudo tem como objetivo investigar o comportamento de *T. foersteri* parasitando ovos do seu hospedeiro natural, *A. gemmatalis*, em diferentes temperaturas. Avaliou-se o desenvolvimento, capacidade de parasitismo, mortalidade não reprodutiva e controle total dos ovos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Tanto os experimentos como a criação de *A. gemmatalis* e de *T. foersteri* foram conduzidos no Laboratório de Controle Integrado de Insetos (LCII), do Departamento de Zoologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

### 2.1. Criação e manutenção

#### 2.1.1. Lagarta *A. gemmatalis*

A criação de *A. gemmatalis* foi iniciada a partir da coleta de lagartas provenientes de lavouras de soja de São José dos Pinhais, Paraná. Posteriormente, as lagartas foram levadas ao LCII, onde foram mantidas de acordo com a metodologia de Hoffman-Campo, Oliveria e Moscardi (1985) com adaptações.

As lagartas foram criadas em sala climatizada à  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $60 \pm 10\%$  e fotofase de 14 horas e alimentadas com a dieta artificial desenvolvida por Hoffman-Campo, Oliveria e Moscardi (1985). Após a eclosão, cerca de 200 lagartas permaneciam em potes plásticos (2,5 litros), contendo em torno de 80 mL de dieta, até atingirem aproximadamente 1,5 cm de comprimento. Em seguida, foram transferidas para copos plásticos de 50 mL, contendo 10 mL de dieta. Em cada copo foram acondicionadas três lagartas mantidas até a formação das pupas.

Os adultos foram mantidos em gaiolas de vidro de 45 cm x 33 cm x 35 cm, com aberturas cobertas com telas na face superior e nas laterais. As paredes laterais eram revestidas com placas de acrílico, como substrato para oviposição. Com a finalidade de separar os ovos aderidos nas placas de acrílico, estas foram lavadas com água e os ovos removidos manualmente e coletados em bandejas com água. Em seguida, os ovos foram filtrados e retidos em tecidos tipo *voile*. Os adultos foram alimentados com solução nutritiva à base de mel, açúcar, conservantes e cerveja lager (HOFFMAN-CAMPO; OLIVEIRA; MOSCARDI, 1985), acondicionada em frascos plásticos com algodão embebido.

### 2.1.2. *Trichogramma foersteri*

Esta nova espécie de *Trichogramma* foi coletada em ovos de *A. gemmatalis* em cultivo de soja durante a safra de 2017/2018, no município de São José dos Pinhais, Paraná, Brasil (25°36'46.0"S, 49°08'21.5"O) (TAKAHASHI et al., 2021). Para a manutenção da colônia, ovos de *A. gemmatalis* de no máximo 24 horas eram fixados com água, com o auxílio de um pincel de ponta fina, em cartelas de cartolina de coloração azul celeste de 0,5 cm x 4 cm. Em seguida, as cartelas eram ofertadas aos parasitoides em tubos de vidro de 1,0 cm de diâmetro x 15 cm de altura com a extremidade superior fechada com tampões de algodão. Para a alimentação era ofertado mel puro depositado em filetes na lateral do tubo.

## 2.2 Efeito da temperatura no desenvolvimento e reprodução de *Trichogramma foersteri*

Duzentos ovos distribuídos em cada cartela foram expostos ao parasitismo por 24 horas à 25°C e, em seguida, cada cartela foi transferida para condições com temperaturas de 15, 20, 25, 28 e 30°C; UR: 70 ± 10% e fotofase: 14 horas. Os parasitoides foram criados nas respectivas temperaturas por uma geração e os descendentes obtidos em cada tratamento foram utilizados no experimento.

Após a emergência dos adultos da primeira geração nas respectivas temperaturas, foram individualizadas 25 fêmeas de até 12 horas de idade. Para avaliar a capacidade de parasitismo e a mortalidade não reprodutiva de *T. foersteri*, as fêmeas foram mantidas em tubos de vidro (7,5 cm de altura x 1,0 cm de diâmetro) contendo um filete de mel puro como alimento. Ovos de *A. gemmatalis* com menos de 24 horas de idade foram ofertados para as fêmeas, sendo substituídos diariamente, no mesmo horário, durante quatro dias consecutivos. Por meio de resultados observados em pré-testes, se optou por ofertar no primeiro dia de parasitismo, cartelas contendo 250 ovos e nos demais dias cartelas contendo 100 ovos. Após cada dia de parasitismo, as cartelas contendo os ovos foram individualizadas em tubos e mantidas nas respectivas câmaras climatizadas até a emergência dos adultos.

Avaliou-se a duração do período ovo-adulto (dias), número de parasitoides por ovo, total de parasitoides produzidos por fêmea, longevidade de machos e fêmeas e determinou-se a razão sexual [(fêmeas/ (fêmeas + machos)]. Esses dados foram avaliados em parasitoides emergidos no primeiro dia de parasitismo, visto que a partir

do segundo dia de oviposição a taxa de parasitismo era menor que 5% do total de ovos parasitados. Os ovos foram observados diariamente a fim de verificar a data da emergência dos parasitoides. A viabilidade de parasitismo foi determinada pela porcentagem de ovos parasitados que apresentaram orifício de saída dos adultos.

A capacidade de parasitismo foi contabilizada através do número de ovos enegrecidos, indicando que o parasitoide havia atingido o estágio de pupa. A mortalidade não reprodutiva foi calculada subtraindo o número total de ovos parasitados da mortalidade total corrigida. A mortalidade total foi corrigida pela infertilidade dos ovos hospedeiros, verificada através de ovos de *A. gemmatalis* sem contato com os parasitoides (testemunha) utilizando a fórmula de Abbott (1925):

$$MT(t) = [(PLDc - PLDt) / PLDc] \times 100,$$

onde MT (t) é a mortalidade total na temperatura t, PLDc é a porcentagem de larvas desenvolvidas dos ovos controle, e PLDt é a porcentagem de larvas desenvolvidas na temperatura t. Como testemunha, para cada temperatura testada foram individualizadas em tubos de vidro (7,5 cm de altura x 1,0 cm de diâmetro) 25 cartelas contendo 25 ovos cada. Os ovos viáveis foram considerados através do surgimento da cápsula cefálica ou da eclosão da lagarta.

Para avaliar a longevidade de *T. foersteri* nas diferentes temperaturas, 25 casais recém emergidos foram individualizados em tubos de vidro (7,5 cm de altura x 1,0 cm de diâmetro) contendo um filete de mel puro como alimento e sem a oferta de ovos de *A. gemmatalis*. Diariamente, os parasitoides foram verificados e a data da morte das fêmeas e dos machos foi registrada.

A partir dos resultados do tempo de desenvolvimento (D) obtidos nas temperaturas testadas (T), determinou-se a temperatura base ou limite térmico inferior (Tb) e a constante térmica (K) por meio do método da hipérbole (HADDAD; PARRA; MORAES, 1999). Para cada temperatura (T) foi calculada a taxa de desenvolvimento (1/D) e por meio da recíproca da equação de Réaumur,  $1/D = -Tb/K + 1/K(T)$ , os valores de Tb e K (HADDAD; PARRA; MORAES, 1999).

### 2.3. Análise estatística

Os dados foram analisados pelo modelo linear generalizado (GLM). Devido a superdispersão dos dados, as análises de razão sexual e viabilidade foram realizadas seguindo a distribuição de Quasi-binomial, enquanto para os demais parâmetros avaliados utilizou-se a distribuição de Quasi-poisson. No caso de diferenças

significativas entre as temperaturas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) utilizando a função glht do pacote multcomp. As análises foram realizadas no programa estatístico R, versão 3.6.1.

### 3. RESULTADOS

O tempo de desenvolvimento de *T. foersteri* foi significativamente afetado entre todas as temperaturas, apresentando uma correlação inversa com o aumento da temperatura. Verificou-se redução no período de desenvolvimento de 34,36 dias a 15°C a 8,04 dias a 30°C (Tabela 1).

A viabilidade de emergência de *T. foersteri* variou de 87,21 a 99,79% nas cinco temperaturas analisadas. Na faixa de temperatura intermediária (20°C a 28°C), a viabilidade foi acima de 99,7%, sendo significativamente superior do que a 15°C e 30°C. O número de parasitoides emergidos por ovo foi significativamente afetado pela temperatura, variando de 1,06 a 1,34 a 15°C e 30°C. Não houve diferença na razão sexual na faixa de temperatura de 15°C a 28°C, ficando acima de 0,90, diferindo apenas à 30°C, a qual foi reduzida para 0,70 (Tabela 1).

A longevidade de fêmeas e machos de *T. foersteri* decresceu com o aumento da temperatura, exceto à 25°C e 28°C onde não ocorreram diferenças significativas em ambos os sexos. À 30°C, a longevidade foi de 2,04 dias para fêmeas e 1,68 dia para machos. Em todas as temperaturas as fêmeas foram mais longevas que os machos (Tabela 2).

Tabela 1: Viabilidade (%), tempo de desenvolvimento (dias), razão sexual e nº de parasitoides *Trichogramma foersteri* emergidos por ovo de *Anticarsia gemmatalis*, submetidos a diferentes temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h).

Temperatura (°C)	Viabilidade (%)	Tempo de desenvolvimento (Dias)	Razão sexual	Parasitoides por ovo
15	87,21 ± 0,01 c	34,36 ± 0,01 a	0,91 ± 0,02 a	1,06 ± 0,02 c
20	99,73 ± 0,00 a	14,24 ± 0,16 b	0,90 ± 0,01 a	1,25 ± 0,04 bc
25	99,79 ± 0,00 a	10,24 ± 0,08 c	0,91 ± 0,01 a	1,13 ± 0,02 ab
28	99,75 ± 0,00 a	9,00 ± 0,00 d	0,93 ± 0,00 a	1,23 ± 0,05 bc
30	93,04 ± 0,00 b	8,04 ± 0,04 e	0,69 ± 0,04 b	1,34 ± 0,04 a
P	0,001	0,001	0,001	0,916
F	170,79	9662,1	22,464	8,89
Df	4	4	4	4

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Tabela 2: Longevidade (dias) (Média  $\pm$  erro padrão) de *Trichogramma foersteri*, em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, em diferentes temperaturas constantes (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h) (N= 25 casais).

Temperatura (°C)	Fêmea	Macho	Df	F	P
15	24,88 $\pm$ 1,57 aA	14,40 $\pm$ 0,72 aB	1	40,219	0,001
20	16,76 $\pm$ 0,90 bA	11,16 $\pm$ 0,50 bB	1	30,657	0,001
25	9,40 $\pm$ 0,53 cA	5,92 $\pm$ 0,29 cB	1	34,555	0,001
28	8,64 $\pm$ 0,61 cA	5,28 $\pm$ 0,41 cB	1	20,833	0,001
30	2,04 $\pm$ 0,07 dA	1,68 $\pm$ 0,11 dB	1	7,1216	0,01
<b>Df</b>	4	4			
<b>F</b>	142,2	152,97			
<b>P</b>	0,001	0,001			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O número de ovos parasitados foi afetado significativamente pela temperatura, variando de 73,4 a 183,84 ovos/fêmea, no primeiro dia de parasitismo, a 30°C e 25°C (Tabela 3). A quase totalidade do parasitismo ocorreu nas primeiras 24 horas de vida da fêmea, sendo que em todas as temperaturas mais de 95% dos ovos foram parasitados durante esse período. A partir do segundo dia de oferta dos ovos, devido ao baixo número de ovos parasitados não foram realizadas as análises estatísticas.

Tabela 3: Número médio (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos de *Anticarsia gemmatalis* parasitados por *Trichogramma foersteri*, durante quatro dias consecutivos, em diferentes temperaturas constantes (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h).

T (°C)	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4	
	[n=250]	(N)	[n=100]	(N)	[n=100]	(N)	[n=100]	(N)
15	102,20 $\pm$ 4,48 b	25	5,20 $\pm$ 2,31	25	0,12 $\pm$ 0,06	25	0,00 $\pm$ 0,00	25
20	157,20 $\pm$ 7,55 a	25	0,84 $\pm$ 0,35	25	0,08 $\pm$ 0,05	25	0,04 $\pm$ 0,04	24
25	183,48 $\pm$ 5,61 a	25	0,32 $\pm$ 0,12	25	0,04 $\pm$ 0,04	24	0,00 $\pm$ 0,00	24
28	160,16 $\pm$ 6,29 a	25	0,12 $\pm$ 0,07	25	0,00 $\pm$ 0,00	24	0,00 $\pm$ 0,00	23
30	73,40 $\pm$ 5,15 c	25	0,00 $\pm$ 0,00	12	-	-	-	-
<b>Df</b>	4		-		-		-	
<b>F</b>	58,67		-		-		-	
<b>P</b>	0,001		-		-		-	

As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). [n] = número de ovos ofertados; (N) = número de repetições (fêmeas).

A média de parasitoides adultos produzidos por fêmea diferiu significativamente entre as temperaturas ( $F=117,2$ ;  $Df=4$ ;  $p<0,001$ ), sendo maior na faixa de 20°C a 28°C

(Figura 1). Nas temperaturas de 15°C e 30°C esse parâmetro foi reduzido, com 93,96 e 81,36 adultos emergidos, sem diferença estatística entre si (Figura 1).

A temperatura influenciou significativamente a mortalidade não reprodutiva (Tabela 4). No primeiro dia esse parâmetro foi superior na faixa de temperatura entre 20°C a 30°C, diferindo apenas a 15°C. Devido à morte das fêmeas após 48 horas a 30°C, a coleta de dados nessa temperatura foi interrompida. A 15°C a mortalidade não reprodutiva se manteve constante ao longo dos quatro dias, fazendo com que no último dia de oferta não diferisse significativamente das demais temperaturas (Tabela 4).

A porcentagem do controle total (ovos parasitados + mortalidade não reprodutiva) diferiu significativamente durante o primeiro ( $F=45,4$ ;  $Df=4$ ;  $p<0,001$ ), segundo ( $F=115,83$ ;  $Df=4$ ;  $p<0,001$ ) e terceiro dias ( $F=6,8163$ ;  $Df=3$ ;  $p<0,001$ ), não havendo diferença estatística no último dia de avaliação ( $F=0,9474$ ;  $Df=3$ ;  $p>0,4212$ ) (Figura 2). A média da mortalidade total provocada por *T. foersteri* nos ovos de *A. gemmatalis* foi de 309,05; 463,55; 465,65; 451,44 e 151,21 ovos a 15, 20, 25, 28 e 30°C, respectivamente.

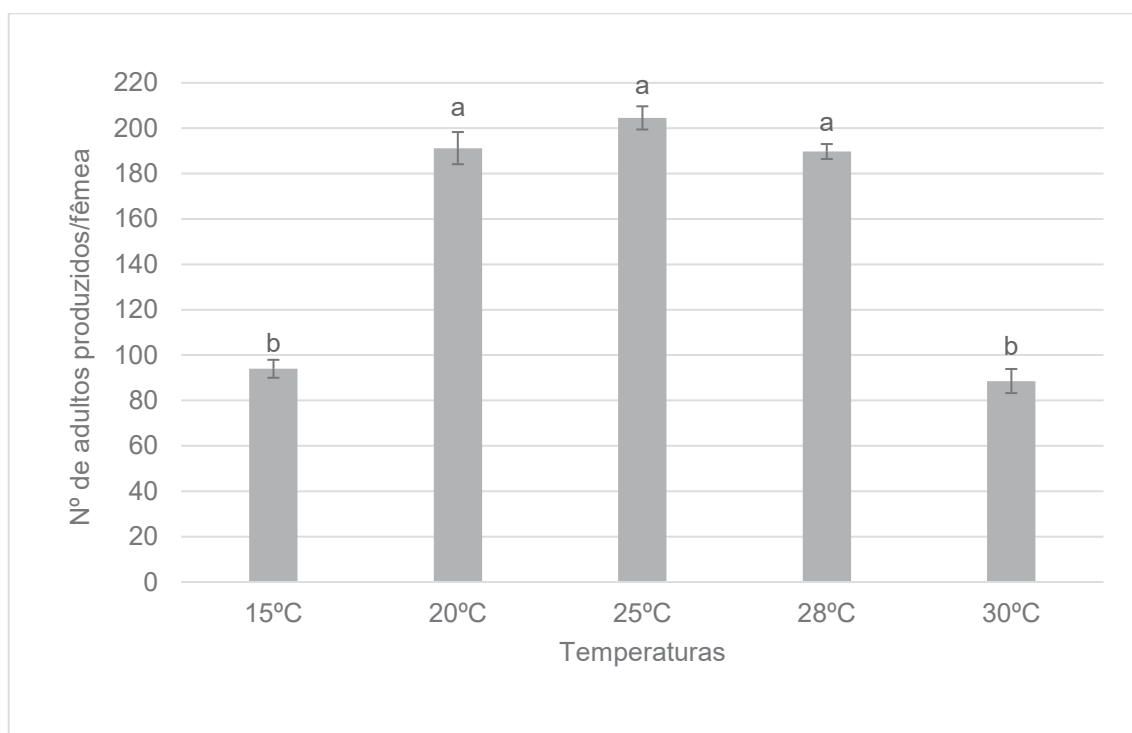


Figura 1: Número (Média ± Erro padrão) de parasitoides adultos provenientes do primeiro dia de parasitismo de ovos de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* criados em diferentes temperaturas (UR: 70±10%; Fotofase: 14 horas) (N=25). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 4: Número (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos inviabilizados (sem ocorrer o parasitismo) de *Trichogramma foersteri* em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, durante quatro dias, em cinco temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h).

T (°C)	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4 <sup>NS</sup>		Total	
	[n=250]	(N)	[n=100]	(N)	[n=100]	(N)	[n=100]	(N)	[n=550]	(N)
15	49,97 $\pm$ 7,79 b	25	53,81 $\pm$ 5,70 b	25	47,11 $\pm$ 5,33 b	25	50,72 $\pm$ 5,31	25	201,47 $\pm$ 11,94 b	25
20	84,22 $\pm$ 6,58 a	25	96,15 $\pm$ 0,81 a	25	76,80 $\pm$ 5,89 a	25	48,41 $\pm$ 7,60	24	303,74 $\pm$ 11,35 a	25
25	65,37 $\pm$ 5,60 ab	25	97,31 $\pm$ 1,60 a	25	80,10 $\pm$ 5,05 a	24	38,34 $\pm$ 7,63	24	276,36 $\pm$ 13,17 a	25
28	87,34 $\pm$ 5,82 a	25	94,47 $\pm$ 2,66 a	25	71,67 $\pm$ 6,49 a	24	37,64 $\pm$ 5,54	23	285,29 $\pm$ 12,16 a	25
30	76,93 $\pm$ 8,27 a	25	0,88 $\pm$ 0,34 c	12	-	-	-	-	77,32 $\pm$ 8,31 c	25
Df	4		4		3		3		4	
F	48,647		113,51		69,038		0,9444		69,265	
P	0,01		0,001		0,001		0,4226		0,001	

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). [n] = número de ovos ofertados; (N) = número de repetições (fêmeas)

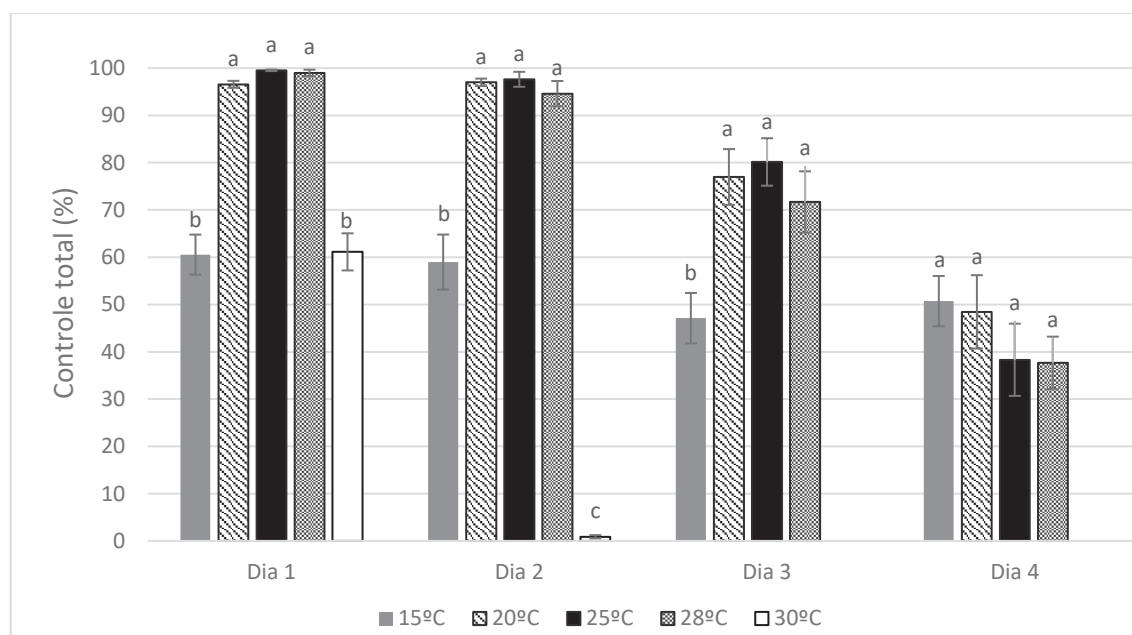


Figura 2: Controle total (%) (Média  $\pm$  Erro padrão) de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* em, durante quatro dias, submetidos a diferentes temperaturas constantes (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dia, não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A temperatura base de *T. foersteri* foi de  $9,55^\circ\text{C}$  e a constante térmica de 162,49 GD (Figura 3). O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo da regressão linear

foi de 0,99, demonstrando um bom ajuste do modelo.

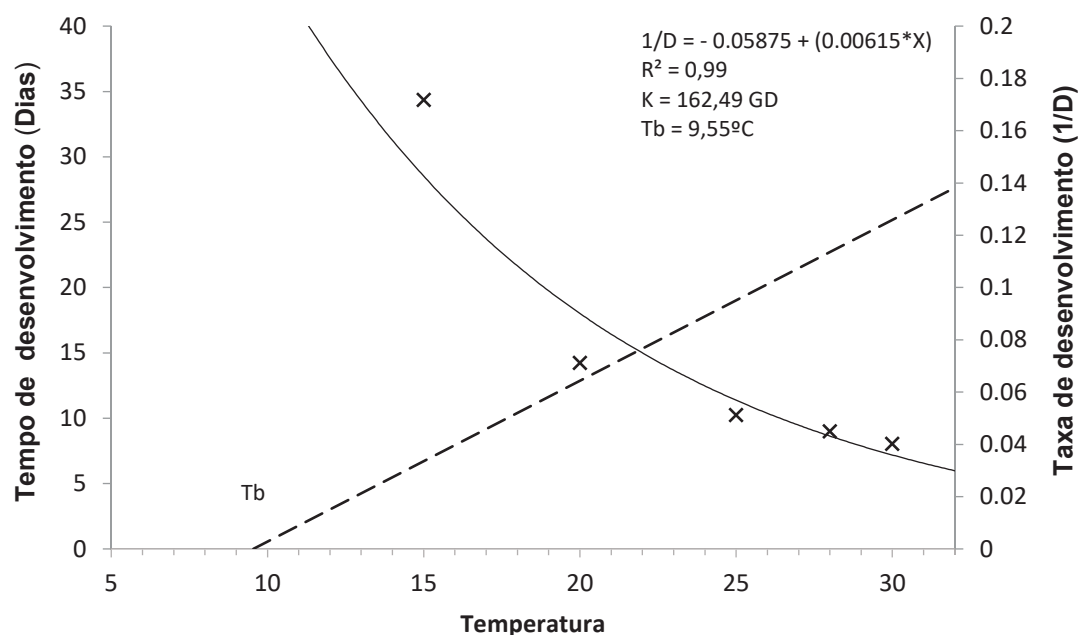


Figura 3: Tempo de desenvolvimento e curvas de taxa de desenvolvimento de *Trichogramma foersteri* criados em ovos de *Anticarsia gemmatalis* em diferentes temperaturas (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h).  $T_b$  = limiar térmico inferior;  $K$  = constantetérmica.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que *T. foersteri* é uma espécie com grande potencial de parasitismo e mortalidade não reprodutiva dos ovos hospedeiros; o parasitoide completou o desenvolvimento de ovo a adulto em todas as temperaturas testadas e o tempo de desenvolvimento apresentou uma relação inversa em função da variação da temperatura, como relatado para outras espécies de *Trichogramma* (CÔNSOLI; PARRA, 1995a; BUENO; PARRA; BUENO, 2009; FOERSTER; FOERSTER, 2009; OLIVEIRA et al., 2017). *Trichogramma foersteri* apresentou maior similaridade com o tempo de desenvolvimento de *Trichogramma rojasi* Nagaraja & Nagarkatti e *Trichogramma acacioi* Brun, as quais mostraram maior adaptação a temperaturas menores quando comparadas a *T. pretiosum*, *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner e *Trichogramma lasallei* Pinto, Moraes & Soares (FOERSTER; FOERSTER, 2009).

A taxa de emergência dos parasitoides foi elevada na faixa entre 20°C e 28°C, ficando acima de 99%, e apesar de ter sido menor nas temperaturas extremas foi superior a 85%, valor considerado satisfatório em análise de qualidade de *Trichogramma* spp. (ALMEIDA; SILVA; MEDEIROS, 1998). Esta alta taxa de emergência também é relatada em diferentes espécies de *Trichogramma* em ovos de *A. gemmatalis* (BUENO;

PARRA; BUENO, 2009; FOERSTER; FOERSTER, 2009; VIANNA et al., 2011). A alta taxa de emergência de *Trichogramma* spp. deve ser priorizada em programas de controle biológico, apresentando melhor capacidade de colonizar a área onde os parasitoides são liberados (SOARES et al., 2012).

A predominância de fêmeas é importante em liberações massais de parasitoides pelo fato de que apenas as fêmeas fazem o controle da praga (CAÑETE; FOERSTER, 2003). Na faixa de temperatura de 15°C a 28°C a razão sexual de *T. foersteri* foi superior a 90% de fêmeas, no entanto esse valor foi significativamente reduzido à 30°C. A redução da razão sexual em temperaturas elevadas também foi registrada em *Trichogramma semifumatum* (Perkins), *T. pretiosum* e *T. galloi* (BOWEN; STERN, 1966; CÔNSOLI; PARRA, 1995b; BUENO; PARRA; BUENO, 2009).

O número de adultos emergidos por ovo foi abaixo da quantidade relatada por Vianna et al. (2011), que obtiveram valores entre 1,53 a 2,35 adultos/ovo ao avaliarem 12 espécies/linhagens de *Trichogramma* em ovos de *A. gemmatalis*. No entanto, esses autores forneceram apenas 20 ovos à cada fêmea, o que pode ter contribuído para uma maior oviposição nos ovos disponíveis e, conseqüentemente, um aumento no número de parasitoides emergidos por ovo. Este parâmetro está relacionado à densidade de ovos disponíveis para cada fêmea (PEREIRA; BARROS; PRATISSOLI, 2004; HARBA; IDRIS, 2018), o tamanho do ovo hospedeiro e à espécie hospedeira (RORIZ; OLIVEIRA; GARCIA, 2006; SHOEB; EL-HENEIDY, 2010). A oviposição de um menor número de ovos por *Trichogramma* spp. no hospedeiro resulta em descendentes mais fortes e competitivos, com maior eficiência de parasitismo no campo, devido à maior disponibilidade de nutrientes para o seu desenvolvimento (BESERRA; DIAS; PARRA, 2003; MOREIRA et al., 2009).

De forma semelhante a estudos anteriores (CÔNSOLI; PARRA, 1995a; BUENO; PARRA; BUENO, 2012; HANSEN; JENSEN, 2009; FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014), a longevidade de *T. foersteri* diminuiu com o aumento da temperatura em ambos os sexos. A rápida mortalidade de adultos de *T. foersteri* a 30°C demonstra uma menor adaptação a temperaturas elevadas. Quando comparado ao estudo de Bueno, Parra e Bueno (2012), verifica-se que em temperaturas mais baixas as fêmeas de *T. foersteri* foram mais longevas que fêmeas de *T. pretiosum*; no entanto a 30°C este resultado foi inverso ao registrado por esses autores. Por outro lado, Foerster, Marchioro e Foerster (2014) também relataram longevidade inferior a dois dias em *T. atopovirilia*, *T. lasallei*, *T. acacioi* e *T. rojasi* criados no mesmo hospedeiro a 30°C.

Os limites térmicos mínimos e máximos determinam a faixa de temperatura em que o parasitoide tem a capacidade de manter a sua atividade (FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014). A temperatura basal estimada para *T. foersteri*, é menor que a média de temperatura encontrada durante o inverno na região sul do Brasil (13 a 15°C) (KRECHEMER; FOERSTER, 2015), o que indica que esta espécie pode se manter em atividade durante o ano todo. A localidade onde a espécie/linhagem de *Trichogramma* foi coletada influencia na capacidade de tolerar diferentes faixas de temperatura (PIZZOL et al., 2010; SAMARA et al., 2011); linhagens coletadas em regiões subtropicais do Brasil tem menores temperaturas base quando comparadas a populações de regiões tropicais (FOERSTER; FOERSTER, 2009).

A capacidade de parasitismo de *T. foersteri* foi excepcionalmente alta comparada com as principais espécies/linhagens de *Trichogramma* encontradas no Brasil. Foerster, Marchioro e Foerster (2014) avaliaram o parasitismo de cinco espécies de *Trichogramma* em ovos de *A. gemmatalis*; dessas espécies, *T. atopovirilia* e *T. pretiosum* apresentaram o maior parasitismo, com 55,7 e 41,0 ovos parasitados. Em um estudo de seleção de espécies/linhagens de *Trichogramma* para o controle de *C. includens*, Bueno et al. (2009) relataram que a linhagem de *T. pretiosum* de Rio Verde (RV) foi a mais eficiente. Posteriormente, Bueno, Parra e Bueno (2012) relataram que a capacidade de parasitismo dessa linhagem, em ovos de *A. gemmatalis* e *C. includens*, foi de aproximadamente 45 ovos. Em outra pesquisa, a linhagem de *T. pretiosum* RV também foi a mais eficaz no controle de *H. armígera*, parasitando 63,85 ovos por fêmea (PEREIRA et al., 2019). Laurentis et al. (2019) avaliaram o parasitismo de uma linhagem comercial de *T. pretiosum* durante 24 e 48 horas de exposição à ovos de *H. armígera*, resultando no parasitismo de 49,7% dos 30 ovos ofertados; devido ao reduzido número de ovos parasitados, sugeriram que liberações de *T. pretiosum* em campo precisam ser combinadas com outras ferramentas para controlar a praga efetivamente. Cónsoli e Parra (1996) ao avaliarem *T. galloi* em ovos de *D. saccharalis* relataram capacidade de parasitismo de aproximadamente 50 ovos, também inferior à apresentada no presente trabalho. É importante ressaltar que os métodos aplicados nos estudos citados acima foram diferentes da presente pesquisa, especialmente no número de ovos ofertados, fato que pode ter contribuído com as diferenças encontradas.

A média de descendentes produzidos por fêmea seguiu uma tendência semelhante à capacidade de parasitismo, sendo maior na faixa de temperatura de 20°C a 28°C, com mais de 190 parasitoides provenientes da mesma fêmea. Foerster,

Marchioro e Foerster (2014) também relataram a maior produção de descendentes nas temperaturas intermediárias para *T. atopovirilia*, *T. lassallei* e *T. rojasi* parasitando ovos de *A. gemmatalis*. Entretanto, o número de adultos produzidos por fêmea de *T. foersteri* foi mais que o dobro do encontrado por esses autores.

Outro fator que favorece a eficiência de controle exercido por *T. foersteri* em liberações massais, é a velocidade de parasitismo da espécie, pois além de proporcionar um rápido controle dos ovos hospedeiros, reduz a exposição dos parasitoides às condições adversas que podem ser encontradas em campo. De acordo com Parra (2010) para um controle bem sucedido, é fundamental selecionar espécies que concentrem a atividade de parasitismo durante os primeiros dias do estágio adulto, principalmente em regiões tropicais onde a vida útil do parasitoide é reduzida pelas altas temperaturas.

Em outras espécies de *Trichogramma*, apesar do pico de oviposição também ocorrer no primeiro dia após a emergência dos adultos (CÔNSOLI; PARRA, 1996; BUENO; PARRA; BUENO, 2012; ZUIM et al., 2017), a capacidade de parasitismo total ocorre de forma mais espaçada comparada a *T. foersteri*. Por exemplo, *T. pretiosum* em ovos de *A. gemmatalis* a 25°C, atingiu o parasitismo acumulado de 80% no quinto dia após a emergência do adulto (BUENO; PARRA; BUENO, 2012) e *T. galloi* em *D. saccharalis* quatro dias após a emergência (CÔNSOLI; PARRA, 1996).

O comportamento de *T. foersteri* de inviabilizar os ovos sem ocorrer o parasitismo intensifica ainda mais o potencial da espécie. Esse hábito provocou um impacto na mortalidade total ao longo dos dias, até mesmo, superior ao próprio parasitismo. Apesar do aumento da efetividade (ZANG; LIU, 2009), em *Trichogramma* spp. a mortalidade não reprodutiva ainda é pouco explorada, sendo normalmente avaliado somente o parasitismo (MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015). Entretanto, avaliar apenas o parasitismo pode subestimar o potencial de algumas espécies (VÁSQUEZ et al., 1997; MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015; ABRAM et al., 2016). Vásquez et al. (1997) demonstraram que este comportamento varia entre as espécies; *Trichogramma minutum* Riley e *Trichogramma platneri* Nagarkatti provocaram a mortalidade não reprodutiva de aproximadamente 60%, enquanto em *T. pretiosum*, *Trichogramma ostrinae* Pang & Chen e *Trichogramma brassicae* Bezdenko essa mortalidade foi inferior a 30%.

Na faixa de temperatura de 20°C a 28°C, as médias da mortalidade não reprodutiva tiveram tendência inversa ao parasitismo; durante o primeiro dia a porcentagem de ovos parasitados foi superior, resultando em um pequeno número de

ovos não parasitados, os quais, foram controlados pela mortalidade não reprodutiva. É provável que se fossem ofertados mais ovos, os parasitoides provocariam uma maior mortalidade, no entanto, em campo dificilmente uma fêmea encontraria tal volume de ovos de *A. gemmatalis* em 24 horas. No segundo e terceiro dias de oferta dos ovos, apesar do parasitismo ser praticamente nulo, o impacto da mortalidade não reprodutiva foi extremamente alta, provocando mais de 94% e 72% de controle respectivamente. À 15°C houve um comportamento diferente; nos primeiros dias o número de ovos inviabilizados foi menor que nas demais temperaturas, porém o valor se manteve até o último dia de oferta. Este fato provavelmente é devido à alteração na atividade metabólica provocada pela baixa temperatura, a qual reduziu o gasto energético mantendo a atividade ao longo dos dias; sendo assim presume-se que o controle continuaria semelhante por mais dias. Hansen; Jensen (2009) constataram que a 15°C a mortalidade não reprodutiva ao longo da vida de *Trichogramma turkestanica* Meyer foi superior quando comparada a outras temperaturas, fato que se deve ao prolongamento da sobrevivência e a necessidade de aumentar a sua nutrição através dos exsudatos que saem através da perfuração dos ovos.

Analisar o controle total e não apenas o parasitismo, é fundamental para a escolha da espécie mais adequada a ser utilizada em diferentes estratégias de controle biológico (MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015). Quando se quer realizar o controle rápido através de liberações inundativas, são mais indicadas espécies com maiores taxas de controle total; nessas circunstâncias a mortalidade não reprodutiva deve ser considerada tão importante quanto o parasitismo (ABRAM et al., 2016). De outro modo, espécies que possuem maior capacidade de parasitismo associadas a altos níveis de emergência e razão sexual, podem ser indicadas para liberações inoculativas mantendo o controle durante sucessivas gerações (MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015). No presente estudo, entre 15°C a 28°C, *T. foersteri* demonstrou ter potencial para ser utilizada tanto em liberações inundativas como inoculativas, pois além do alto parasitismo, a espécie é capaz de continuar efetivamente o controle dos ovos hospedeiros após esgotar a sua capacidade reprodutiva, aumentando a mortalidade total dos ovos. No entanto, a 30°C, devido à menor capacidade de parasitismo e a redução na longevidade, é mais favorável que a estratégia de liberação seja de forma inundativa.

Apesar da presente pesquisa ter sido realizada em condições controladas, a eficiência demonstrada em experimentos laboratoriais é um bom indicativo do sucesso em liberações em campo (COELHO et al., 2016). Porém, para desenvolver

completamente um programa de controle biológico é necessário realizar trabalhos adicionais, incluindo estudos de dispersão, capacidade de busca, densidade de liberação e controle em campo, confirmando os resultados encontrados no laboratório. Em estudos preliminares, *T. foersteri* demonstrou ser uma espécie generalista, parasitando eficientemente diversas pragas de importância econômica, incluindo *H. armigera* e espécies do complexo *Spodoptera*, além de ser possível ser criada em larga escala com ovos do hospedeiro alternativo *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) Zeller (TAKASHI et al., 2021).

## 5. CONCLUSÃO

A faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento e reprodução de *T. foersteri* é de 20°C a 28°C, com capacidade de parasitismo elevada e concentrada no primeiro dia de vida das fêmeas. A 15°C, apesar do parasitismo diminuir, ainda é consideravelmente alto, indicando que a espécie também tem potencial para ser utilizada em baixas temperaturas. A 30°C, tanto a longevidade quanto o parasitismo foram reduzidos. Em todas as temperaturas testadas esta espécie controlou uma grande quantidade de ovos hospedeiros de forma não reprodutiva. Conclui-se que *T. foersteri* apresenta grande potencial para controle de *A. gemmatilis*.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p. 265–267, 1925.
- ABRAM, P. K.; BRODEUR, J; BURTE, V.; BOIVIN, G. Parasitoid-induced host egg abortion: an underappreciated component of biological control services provided by egg parasitoids. **Biological Control**, v. 98, p. 52–60, 2016.
- ALMEIDA, R. P. de.; SILVA, C. A. D. da.; MEDEIROS, M. B. de. Biotecnologia de produção massal para o manejo de *Trichogramma* para o controle biológico de pragas. **Embrapa Algodão**. Documentos, 60, 1998.
- BESERRA, E. B.; DIAS, C. T. dos. S.; PARRA, J. R. P. Características biológicas de linhagens de *Trichogramma pretiosum* desenvolvidas em ovos de *Spodoptera frugiperda*. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 479–483, 2003.
- BOWEN, W. R.; STERN, V. M. effect of temperature on the production of males and sexual mosaics in a uniparental race of *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 4, p. 823–834, 1966.

BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 154–162, 2012.

BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F. Biological characteristics and thermal requirements of a Brazilian strain of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* reared on eggs of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis*. **Biological Control**, v. 51, n. 3, p. 355–361, 2009.

BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F.; HADDAD M.L. Desempenho de tricogramatídeos como potenciais agentes de controle de *Pseudoplusia includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 389–394, 2009.

CAÑETE, C. L.; FOERSTER, L. A. Incidência natural e biologia de *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, 1983 (Hymenoptera, Trichogrammatidae) em ovos de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera, Noctuidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 2, p. 201–204, 2003.

COELHO, A. Jr.; RUGMAN-JONES, P. F., REIGADA, C.; STOUTHAMER, R.; PARRA, P.. Laboratory performance predicts the success of field releases in inbred lines of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* (hymenoptera: Trichogrammatidae). **PLOS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1–16, 2016.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology II.- parasitism capacity and longevity. **Journal of Applied Entomology**, v. 9, p. 667–670, 1995a.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology. I. Development and thermal requirements. **Journal of Applied Entomology**, v. 119, n. 1–5, p. 415–418, 1995b.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Biology of *Trichogramma galloi* and *T. pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared in vitro and in vivo. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 89, n. 6, p. 828–834, 1996.

DAVIES, A. P.; CARR C. M.; SCHOLZ B. C. G.; ZALUCKI M. P. Using *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for insect pest biological control in cotton crops: An Australian perspective. **Australian Journal of Entomology**, v. 50, n. 4, p. 424–440, 2011.

FOERSTER, M. R.; FOERSTER, L. A. Effects of temperature on the immature development and emergence of five species of *Trichogramma*. **BioControl**, v. 54, n. 3, p. 445–450, 2009.

FOERSTER, M. R.; MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. Temperature-dependent parasitism, survival, and longevity of five species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) associated with *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 2, p. 176–182, 2014.

HADDAD, M. L.; PARRA J. R. P.; MORAES R. C. B. Métodos para estimar os limites térmicos inferiores e superior de desenvolvimento de insetos. Piracicaba, **FEALQ**, 29p., 1999.

HANSEN, L. S.; JENSEN, K. M. V. Effect of temperature on parasitism and host-feeding of *Trichogramma turkestanica* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 95, n. 1, p. 50–56, 2009.

HARBA, M; IDRIS I. The effect of host density and viability on superparasitism behavior of *Trichogramma cacoeciae* and *T. principium* females. **Agriculture, Forestry and Fisheries**, v. 7, n. 1, p. 11, 2018

HOFFMAN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, E. B.; MOSCARDI, F. Criação massal da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*). **EMBRAPA-CNPSo**. Documentos, 10, 23p. 1985.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Instrução Normativa IBAMA 5/2016, 2016. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=29/08/2016&jornal=1&pagina=46&totalArquivos=68>> Acesso em: 31 Mar. 2019.

JERVIS, M. A.; KIDD, N. A. C. Host-feeding strategies in hymenopteran parasitoids. **Biological Reviews**, v. 61, p395-434, 1986.

LAURENTIS, V. L.; RAMALHO, D. G.; SANTOS, N. A.; CARVALHO, F. P.; VACARI, A. M.; BORTOLI, S. A. de.; VENEZIANI, R. C. S.; INÁCCIO, G. da. C.; DAMI, B. G. Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–8, 2019.

MARCHIORO, C. A.; KRECHEMER, F. S.; FOERSTER, L. A. Assessing the total mortality caused by two species of *Trichogramma* on its natural host *Plutella xylostella* (L.) at different temperatures. **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 3, p. 270–277, 2015.

MORAIS, R. M.; MORO, T. S.; SALDANHA, C., W.; STEFFEN, G. P. K.; MISSIO, E. L.; MALDANER, J.; STEFFEN, R. B. *Trichogramma pretiosum* in field release and under diferente temperatures in laboratory. **Arquivos do Instituto Biológico**, vol. 87, p. 1-6, 2020.

MOREIRA, M. D.; SANTOS, M. C. F. dos; BESERRA, E. B.; TORRES, J. B.; ALMEIDA R. P. de. Parasitismo e superparasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Sitotroga cerealella* (Oliver) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 2, p. 237–242, 2009.

OLIVEIRA, C. M. de.; OLIVEIRA, J. V. de.; BARBOSA, D. R. S.; BREDA, M. O.; FRANÇA, S. M.; DUARTE, B. L. R. Biological parameters and thermal requirements of

*Trichogramma pretiosum* for the management of the tomato fruit borer (Lepidoptera: Crambidae) in tomatoes. **Crop Protection**, v. 99, p. 39–44, 2017.

OS, N.; VARSHNEY, R. Utilization of Trichogrammatid egg parasitoid in pest management. **Acta Scientific Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 49–53, 2018.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: An overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420–429, 2014.

PARRA J. R. P. Mass rearing of egg parasitoids for biological control programs, In CÔNSOLI F. L.; PARRA J. R. P.; ZUCCHI R. A. [eds.], **Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma***. Springer, Heidelberg, London, New York, p. 267–292, 2010.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied Biological Control in Brazil: From Laboratory Assays to Field Application. **Journal of insect science (Online)**, v. 19, n. 2, p. 1-6, 2019.

PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. *Trichogramma* in Brazil: feasibility of use after twenty years of research. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 3, p. 271–281, 2004.

PEREIRA, F. F.; BARROS, R.; PRATISSOLI, D. Desempenho de *Trichogramma pretiosum* Riley e *T. exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) submetidos a diferentes densidades de ovos de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Ciência Rural**, v. 3, n. 6, p. 1669–1674, 2004.

PEREIRA, F. P.; REIGADA, C.; DINIZ, A. J. F.; PARRA, J. R. P. Potential of Two Trichogrammatidae species for *Helicoverpa armigera* control. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 6, p. 966–973, 2019.

PIZZOL, J.; PINTUREAU, B.; KHOUALDIA, O.; DESNEUX, N.. Temperature-dependent differences in biological traits between two strains of *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Pest Science**, v. 83, n. 4, p. 447–452, 2010.

QUERINO, R. B.; ZUCCHI, R. A. Annotated checklist and illustrated key to the species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from South America. **Zootaxa**. v. 4656 (2), p. 201-231, 2019.

RORIZ, V.; OLIVEIRA, L.; GARCIA, P. Host suitability and preference studies of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biological Control**, v. 36, n. 3, p. 331–336, 2006.

SAMARA, R.; MONJE, J. C.; ZEBITZ, G. P. W.; QUBBAJ, T.. Comparative biology and life tables of *Trichogramma aurosom* on *Cydia pomonella* at constant temperatures. **Phytoparasitica**, v. 39, n. 2, p. 109–119, 2011.

SHOEB, M. A.; EL-HENEIDY, A. H. Incidence of superparasitism in relation to some biological aspects of the egg parasitoid, *Trichogramma evanescens* west. (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 20, n. 1, p. 61–66, 2010.

SMITH, S. M. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use. **Annual Review of Entomology**, v. 41, n. 49, p. 375–406, 1996.

SOARES, M. A.; LEITE, G. L. D.; ZANUNCIO, J. C.; MENDES DE SÁ, V. G.; FERREIRA, C. S.; ROCHA, S. L.; PIRES, E. M.; SERRÃO, J. E.. Quality control of *Trichogramma atopovirilia* and *Trichogramma pretiosum* (Hym.: Trichogrammatidae) adults reared under laboratory conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 2, p. 305–311, 2012.

TAKAHASHI, T. A.; NISHIMURA, G. N.; QUERINO, R. B.; FOERSTER, L. A. An integrative taxonomy of a new species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) with high reproductive capacity. **Neotropical Entomology**. 2021 DOI. 10.1007/s13744-020-00834-2.

TOGNI, P. H. B. VENZON, M.; LAGÔA, A. C. G.; SUJII, E. R. Brazilian legislation leaning towards fast registration of biological control agents to benefit organic agriculture. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 2, p. 175–185, 2019.

VAN LENTEREN, J. C.. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39–59, 2017.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. **BioControl**, v. 48, n. 2, p. 123–139, 2003.

VÁSQUEZ, L. A.; SHELTON, A. M.; HOFFMANN, M. P.; ROUSH, R. T. Laboratory evaluation of commercial Trichogrammatid products for potential use against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Biological Control**, v. 9, n. 2, p. 143–148, 1997.

VIANNA, U. R.; PRATISSOLI, D.; ALENCAR, J. R. C. C.; ZINGER, F. D. *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) species and strains for the control of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico (São Paulo)**, v. 78, n. 1, p. 81–87, 2011.

ZANG, L. S.; LIU, T. X. Food-deprived host-feeding parasitoids kill more pest insects. **Biocontrol Science and Technology**, v. 19, n. 6, p. 573–583, 2009.

ZANG, L. S.; WANG, S.; ZHANG, F.; DESNEUX, N. Biological control with *Trichogramma* in China: history, present status and perspectives. **Annual Review of Entomology**, v. 66, p. 24.1-24.22, 2020.

ZUIM, V.; RODRIGUES, H. S.; PRATISSOLI, D.; TORRES, J. B. Thermal requirements and performance of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs under variable temperatures. **Environmental Entomology**, v. 46, n. 5, p. 1156–1164, 2017.

---

**Adaptação térmica de *Trichogramma foersteri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) a 30°C ao longo de 30 gerações****RESUMO**

A espécie recém descoberta, *Trichogramma foersteri*, apresenta enorme potencial de controle de *Anticarsia gemmatalis*. Na faixa de temperatura entre 20°C a 28°C, o controle total dos ovos hospedeiros foi superior a 240 ovos em 24 horas, porém, ao aumentar a temperatura para 30°C o desempenho da espécie foi drasticamente reduzido. Visando aumentar o controle dos ovos e a longevidade de *T. foersteri* em temperaturas elevadas, neste capítulo estudaram-se os efeitos da adaptação térmica ao longo de 30 gerações consecutivas mantidas em ovos de *A. gemmatalis* a 30°C. No início da adaptação os resultados evidenciam uma queda no desempenho da população, no entanto, com o passar das gerações, em resposta aos custos adaptativos iniciais, houve um aumento significativo no controle do hospedeiro e na longevidade dos adultos. O parasitismo em 24 horas aumentou de 52,20 para 135,00 ovos, nas 5ª e 30ª geração. O controle total do hospedeiro em 24 horas se manteve acima de 233 ovos após a 20ª geração e a longevidade dobrou em relação às gerações iniciais. Esses resultados comprovam os benefícios da aclimação de *T. foersteri* por meio de gerações subsequentes em laboratório para o uso da espécie à temperatura de 30°C em programas de controle biológico de pragas.

Palavras-chave: Controle biológico. Aclimação. Altas temperaturas.

### ABSTRACT

The newly discovered species, *Trichogramma foersteri* has enormous potential for controlling *Anticarsia gemmatalis*. In the temperature range between 20°C and 28°C the total control of the host eggs was higher than 240 eggs in 24 hours, however, at 30°C, the performance of the species was drastically reduced. In order to increase the control of eggs and the longevity of *T. foersteri* at elevated temperatures, the effects of thermal adaptation over 30 consecutive generations in eggs of *A. gemmatalis* at 30°C were studied. Although a reduction in the performance of females was recorded in the first generations, a significant increase in host control and adult longevity was observed in further generations. Parasitism in 24 hours increased from 52.20 to 135.00 eggs in the 5th and 30th generation, respectively. The total control of the host in 24 hours remained above 233 eggs after the 20th generation and the longevity doubled in relation to the initial generations. These results demonstrate the benefits of acclimatizing *T. foersteri* through subsequent generations in the laboratory for the use of the species at a temperature of 30°C.

Key words: Biological control. Acclimation. High temperatures.

## 1. INTRODUÇÃO

Os parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) são utilizados em diversos países por meio de liberações inundativas para o controle de lepidópteros pragas em diversas culturas (SMITH, 1996). Isso se deve principalmente à facilidade de criação em laboratório e ao controle da praga no estágio de ovo, antes que qualquer dano seja causado (SMITH, 1996).

Em liberações massais, o sucesso de controle depende de diversos fatores, entre eles a qualidade dos parasitoides liberados (SMITH, 1996) e a capacidade das espécies/linhagens de tolerar as condições climáticas no momento das liberações (KALYEBI et al., 2005). Em pesquisas com *Trichogramma* spp. o controle normalmente é avaliado apenas por meio do parasitismo (MARCHIORO; KRECHEMER; FOERSTER, 2015), no entanto há espécies que apresentam o comportamento de matar os ovos sem que gerem descendentes (“mortalidade não reprodutiva”) (ABRAM et al., 2016). Tendo em vista que a mortalidade não reprodutiva pode ser superior ao parasitismo (VÁSQUEZ et al., 1997), esse comportamento deve ser levado em consideração ao selecionar espécies/linhagens utilizadas em liberações inundativas (ABRAM et al., 2016).

No capítulo 1 foi relatado que a temperatura influenciou o desenvolvimento, longevidade e o controle de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebididae) por *Trichogramma foersteri* Takahashi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), apresentando melhor desempenho entre 20°C a 28°C. Essa espécie além de possuir alta capacidade de parasitismo, provoca a mortalidade não reprodutiva, aumentando significativamente o controle total dos ovos hospedeiros. No entanto, apesar do potencial para ser utilizada em programas de controle biológico, com o aumento da temperatura para 30°C a espécie foi impactada negativamente. Durante as primeiras 24 horas de oferta dos ovos, a média de parasitismo diminuiu de 183,48 para 73,40 ovos parasitados e o controle total de 248,85 a 150,66 ovos, em 25°C e 30°C. A longevidade de machos e fêmeas também foi reduzida de 5,92 e 9,40 dias a 25°C para apenas 1,68 e 2,04 dias a 30°C.

Tendo em vista que, assim como relatado para *T. foersteri* (capítulo 1), a partir de 30°C a eficiência de diversas espécies e linhagens de *Trichogramma* é prejudicada (FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014; KRECHEMER; FOERSTER, 2015), é importante estudar estratégias para aumentar o desempenho dos parasitoides nessas condições climáticas. Pesquisas sugerem que podem ser utilizados tratamentos de aclimação (HUEY; BERRIGAN, 1996; THOMSON; ROBINSON; HOFFMANN, 2001; SGRÒ; TERBLANCHE; HOFFMANN, 2016), nos quais os espécimes alteram os seus

níveis de tolerância térmica por terem passado por temperaturas extremas durante algum período de sua vida (ANGILLETTA, 2009).

Porém, apesar da importância prática da adaptação climática em insetos benéficos, pesquisas com este intuito ainda são pouco exploradas. Em *Trichogramma* spp. comumente são realizadas por meio da exposição dos parasitoides a temperaturas sub-letais por curtos períodos, conhecido como “*hardening*”, proporcionando efeitos na mesma geração (SCOTT; BERRIGAN; HOFFMANN, 1997; HOFFMANN; HEWA-KAPUGE, 2000; THOMSON; ROBINSON; HOFFMANN, 2001). Com esse método os impactos da aclimação dependem principalmente do tempo de exposição e da fase de desenvolvimento em que os parasitoides são expostos, podendo aumentar a resistência dos adultos e melhorar a eficiência em campo (HOFFMANN; HEWA-KAPUGE, 2000; THOMSON; ROBINSON; HOFFMANN, 2001). Entretanto, em alguns casos os benefícios proporcionados refletem em custos, provocando prejuízos no parasitismo e na longevidade dos parasitoides (SCOTT; BERRIGAN; HOFFMANN, 1997).

Outra forma de adaptação pode ocorrer com a criação dos parasitoides ao longo de gerações subsequentes nas mesmas temperaturas, prática que pode ser facilmente utilizada em criações massais em laboratório. No entanto, informações sobre as alterações fenotípicas de parasitoides provocada pela adaptação climática ao longo de várias gerações são inexistentes (SGRÒ; TERBLANCHE; HOFFMANN, 2016). Neste contexto, devido ao enorme potencial de controle de *T. foersteri*, estudaram-se os efeitos da aclimação dessa espécie a 30°C ao longo de 30 gerações, com o objetivo de aumentar a longevidade e o controle do hospedeiro em temperaturas elevadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A população de *T. foersteri* foi coletada em ovos de *A. gemmatalis* na cultura da soja, durante a safra de 2017/2018, em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil (25°36'46.0" S, 49°08'21.5" O) (TAKAHASHI et al., 2021). Em laboratório, os parasitoides foram mantidos em ovos de *A. gemmatalis* em temperatura controlada a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotofase de 14 horas. A criação de *A. gemmatalis* e a coleta dos ovos utilizados no experimento seguiram a metodologia descrita no capítulo 1.

A aclimação a 30°C iniciou com ovos de *A. gemmatalis* parasitados por *T. foersteri* oriundos da criação a 25°C, esses foram transferidos a uma estufa incubadora com temperatura controlada de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotofase de 14

horas. Os parasitoides foram acondicionados em tubos de vidro de 1,5 cm de diâmetro por 15 cm de altura e multiplicados por 30 gerações em ovos de *A. gemmatalis*. A cada geração, 200 a 300 ovos fixados com água em cartelas de cartolina azul (1,5 cm x 6 cm) foram expostos às fêmeas por 24 horas. Posteriormente, as cartelas contendo os ovos foram transferidas para um novo tubo para o desenvolvimento dos parasitoides, evitando que após a emergência os adultos se misturassem com a sua progênie. Para a alimentação dos adultos um filete de mel puro era depositado na lateral do tubo.

Tendo como base os dados a 30°C do capítulo 1, as avaliações deste experimento se iniciaram a partir da quinta geração, posteriormente a cada cinco gerações eram feitos novos testes, resultando no total de seis gerações avaliadas (F5, F10, F15, F20, F25, F30). Para padronizar as avaliações, nas gerações antecedentes às avaliadas, mais de 200 ovos de *A. gemmatalis* eram ofertados para uma única fêmea, com o intuito de evitar o superparasitismo. A partir dos adultos emergidos desses ovos, foram individualizadas 15 fêmeas com menos de 12 horas após sua emergência, em tubos de vidro (1,0 cm de diâmetro x 7,5 cm de altura) contendo uma gota de mel. Ovos de *A. gemmatalis* de até 24 horas eram fixados com água em cartelas de cartolina azul (0,7 cm x 5,5 cm) e ofertados para as fêmeas e mantidos por um período de 24 horas. Posteriormente, as fêmeas eram retiradas e os tubos mantidos nas mesmas condições até a emergência dos adultos. Considerando que o parasitismo inicial foi de 73,40 ovos (capítulo 1), nas gerações F5, F10, e F15, foram ofertadas cartelas contendo 150 ovos e, devido ao aumento do parasitismo na geração F15, nas gerações seguintes (F20, F25 e F30) foram ofertadas cartelas com 250 ovos. Para avaliar a longevidade, após a emergência dos adultos em cada geração analisada, 20 casais foram individualizados em tubo de vidro (1,0 cm x 7,5 cm) contendo um filete de mel, sem receberem ovos para parasitar. Todo o experimento foi conduzido nas mesmas condições controladas (30 ± 1°C; UR: 70 ± 10 e fotofase: 14h).

Os parâmetros avaliados foram: número de ovos parasitados, número de ovos controlados através da mortalidade não reprodutiva e total de ovos controlados em um período de 24 horas; viabilidade dos ovos parasitados [(número de ovos com orifício de emergência/número de ovos parasitados) x 100]; número de parasitoides emergidos por ovo (total de adultos/ número de ovos parasitados com orifício de emergência); proporção de machos e fêmeas para cálculo da razão sexual [fêmea/(fêmea + macho)]; tempo de desenvolvimento (ovo-adulto) e longevidade dos adultos.

Após a oferta dos ovos, os tubos foram verificados diariamente para remover e contabilizar as lagartas neonatas de *A. gemmatalis*, evitando que danificassem os ovos.

A capacidade de parasitismo foi contabilizada pelo número de ovos escuros, indicando que o parasitoide atingiu o estágio de pupa. A mortalidade total foi corrigida considerando a viabilidade dos ovos hospedeiros não expostos ao parasitismo, aplicado na fórmula de Abbott (1925):  $MT = [(PLDc - PLDt) / PLDc] \times 100$ , onde MT é a mortalidade total, PLDc é a porcentagem de larvas desenvolvidas dos ovos sem contato com os parasitoides (controle), e PLDt é a porcentagem de larvas desenvolvidas na geração avaliada (tratamento). Para analisar a viabilidade dos ovos hospedeiros, em cada geração foram individualizadas em tubos de vidro (7,5 cm x 1,0 cm) 10 cartelas contendo 25 ovos cada e mantidas sem o contato dos parasitoides. A mortalidade não reprodutiva foi calculada subtraindo o número de ovos parasitados da mortalidade total corrigida.

Os dados foram analisados pelo modelo linear generalizado (GLM). Devido a superdispersão dos dados, as análises de razão sexual e viabilidade foram realizadas seguindo a distribuição de Quasi-binomial, enquanto para os demais parâmetros avaliados utilizou-se a distribuição de Quasi-poisson. No caso de diferenças significativas entre as temperaturas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) utilizando a função `glht` do pacote `multcomp`. As análises foram realizadas no programa estatístico R, versão 3.6.1.

### 3. RESULTADOS

Ao longo das gerações, não houve diferença significativa no tempo de desenvolvimento e no número de parasitoides emergidos por ovo de *A. gemmatalis* a 30°C (Tabela 1). A viabilidade diferiu significativamente entre as gerações, apresentando a menor média na geração F10, nas demais avaliações se mantiveram acima de 90% (Tabela 1).

Nas gerações iniciais ocorreram as menores médias de adultos produzidos por fêmea, aumentando significativamente a partir da geração F15, se mantendo acima de 136 adultos emergidos até o fim das avaliações. Apesar da razão sexual ter oscilado entre as gerações, se manteve com maior proporção de fêmeas em todas as avaliações (Tabela 1).

A longevidade de machos e fêmeas foi significativamente menor nas gerações F5 e F10, seguindo uma tendência crescente com o passar das gerações, variando de 1,45 a 4,40 para machos e 1,75 a 5,65 para as fêmeas (Tabela 2).

Tabela 1: Tempo de desenvolvimento (dias), número (Média  $\pm$  Erro padrão) de parasitoides emergidos por ovo, total de parasitoides adultos produzidos por fêmea em 24 horas, viabilidade (%) e razão sexual de *Trichogramma foersteri*, em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, durante 30 gerações.

Geração	Tempo de desenvolvimento <sup>ns</sup>	Parasitoides por ovo <sup>ns</sup>	Parasitoides produzidos	Viabilidade	Razão sexual
F5	8,00 $\pm$ 0,00	1,28 $\pm$ 0,05	59,93 $\pm$ 4,44 c	90,44 $\pm$ 0,01 b	0,66 $\pm$ 0,04 b
F10	8,13 $\pm$ 0,07	1,23 $\pm$ 0,03	26,20 $\pm$ 2,24 d	61,87 $\pm$ 0,03 c	0,86 $\pm$ 0,01 a
F15	8,00 $\pm$ 0,00	1,31 $\pm$ 0,04	143,80 $\pm$ 2,80 a	98,29 $\pm$ 0,00 a	0,82 $\pm$ 0,02 ab
F20	8,00 $\pm$ 0,00	1,21 $\pm$ 0,04	140,60 $\pm$ 3,70 a	93,79 $\pm$ 0,00 b	0,70 $\pm$ 0,05 ab
F25	8,00 $\pm$ 0,00	1,19 $\pm$ 0,03	136,93 $\pm$ 4,32 b	98,18 $\pm$ 0,27 a	0,84 $\pm$ 0,02 a
F30	8,06 $\pm$ 0,05	1,13 $\pm$ 0,03	148,67 $\pm$ 2,42 a	98,12 $\pm$ 0,00 a	0,75 $\pm$ 0,04 ab
Df	5	5	5	5	5
F	1,4805	1,5591	110,24	45,737	3,9047
P	0,2048	0,1806	0,001	0,001	0,003

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 2: Longevidade (Média  $\pm$  Erro padrão) de *Trichogramma foersteri*., em ovos de *Anticarsia gemmatalis*, avaliado durante 30 gerações mantidos a 30°C (UR: 70  $\pm$  10%; Fotofase de 14 h) (N= 15).

Geração	Machos	Fêmeas
F5	1,45 $\pm$ 0,11 c	1,75 $\pm$ 0,10 c
F10	1,75 $\pm$ 0,10 c	2,05 $\pm$ 0,13 c
F15	2,80 $\pm$ 0,26 b	5,60 $\pm$ 0,58 a
F20	2,80 $\pm$ 0,22 b	3,55 $\pm$ 0,19 b
F25	4,40 $\pm$ 0,38 a	5,35 $\pm$ 0,38 a
F30	3,45 $\pm$ 0,29 ab	5,65 $\pm$ 0,35 a
Df	5	5
F	21,899	37,618
P	0,001	0,001

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O número de ovos parasitados em 24 horas na geração F5 foi de 52,2 ovos e após cinco gerações o parasitismo caiu para 34,67 ovos; em compensação, a partir da geração F15 houve um aumento significativo, permanecendo sem diferir estatisticamente até a geração 30, com média variando entre 114,87 a 135,00 ovos parasitados nas primeiras 24 horas após a emergência ( $F=65,861$ ;  $Df=5$ ;  $p<0,001$ ) (Figura 1).

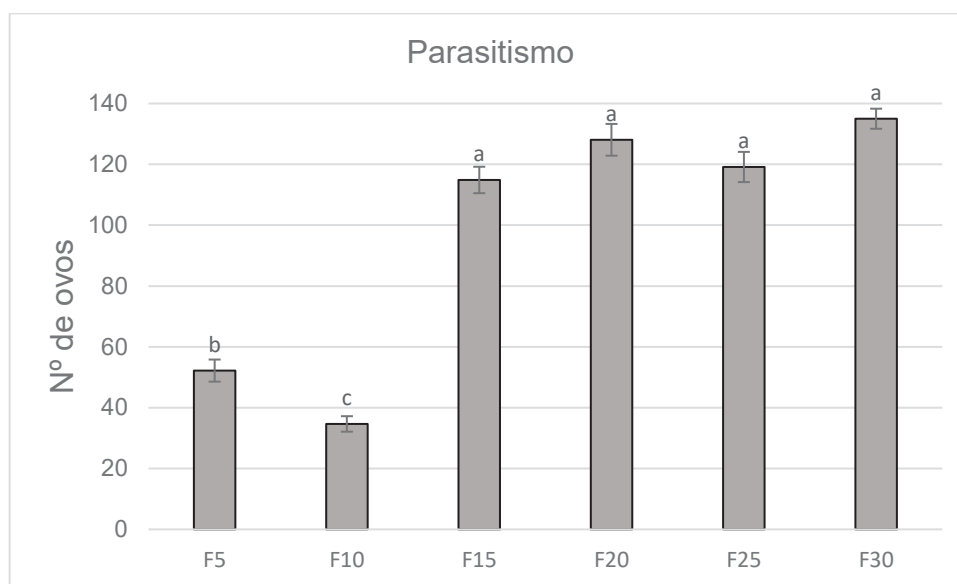


Figura 1: Número (Média  $\pm$  Erro padrão) de ovos de *Anticarsia gemmatalis* parasitados por *Trichogramma foersteri* durante 24 horas, mantidos por 30 gerações a 30°C (UR:  $70 \pm 10\%$ ; Fotofase de 14 h) (N= 15). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A mortalidade não reprodutiva proporcionou um impacto no controle dos ovos tão importante quanto o parasitismo, diferindo entre as gerações avaliadas ( $F=28,752$ ;  $Df=5$ ;  $p<0,001$ ). As maiores médias de controle através de efeitos não reprodutivos ocorreram entre as gerações F20 e F30, variando entre 98,33 a 127,33 ovos durante 24 horas, sem diferir estatisticamente entre si (Figura 2). Na geração F15 a mortalidade não reprodutiva foi significativamente menor (Figura 2), porém, até essa geração o número de ovos ofertados também foi inferior ( $n=150$  ovos). É provável que se fossem ofertados mais ovos nessa geração a mortalidade não reprodutiva seria superior, tendo em vista que a média do controle total foi de 147,03 dos 150 ovos ofertados (Figura 3).

Ao longo das gerações *T. foersteri* também demonstrou aumento do controle total dos ovos hospedeiros, variando de 93,73 a 246,46 ovos controlados em um período de 24 horas ( $F=84,771$ ;  $Df=5$ ;  $p<0,001$ ) (Figura 3). O controle total se estabilizou a partir da geração F20, mantendo sem diferença significativa até o fim das avaliações (Figura 3).

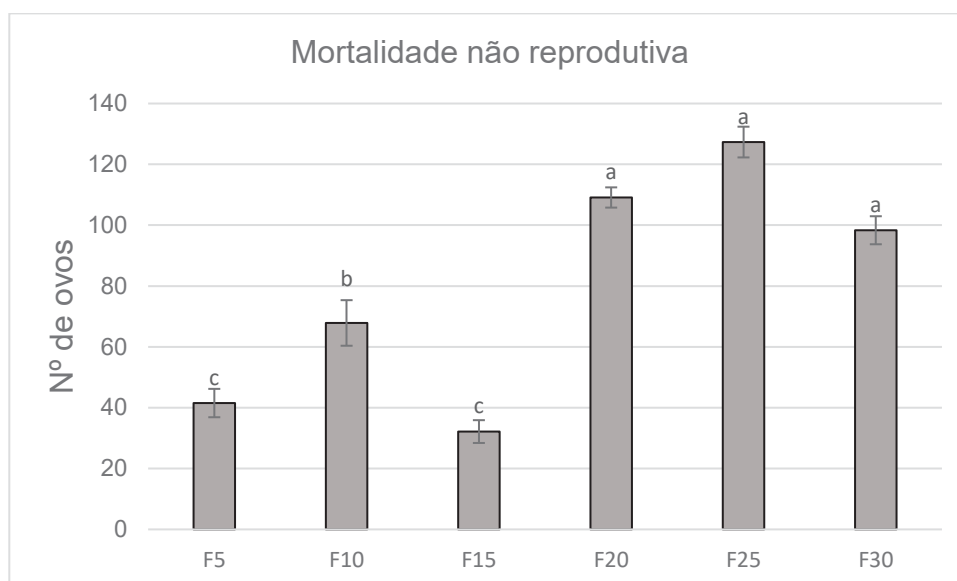


Figura 2: Número (Média ± Erro padrão) de ovos de *Anticarsia gemmatalis* controlados através da mortalidade não reprodutiva de *Trichogramma foersteri* durante 24 horas, mantidos por 30 gerações a 30°C (UR: 70 ± 10%; Fotofase de 14 h) (N= 15). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

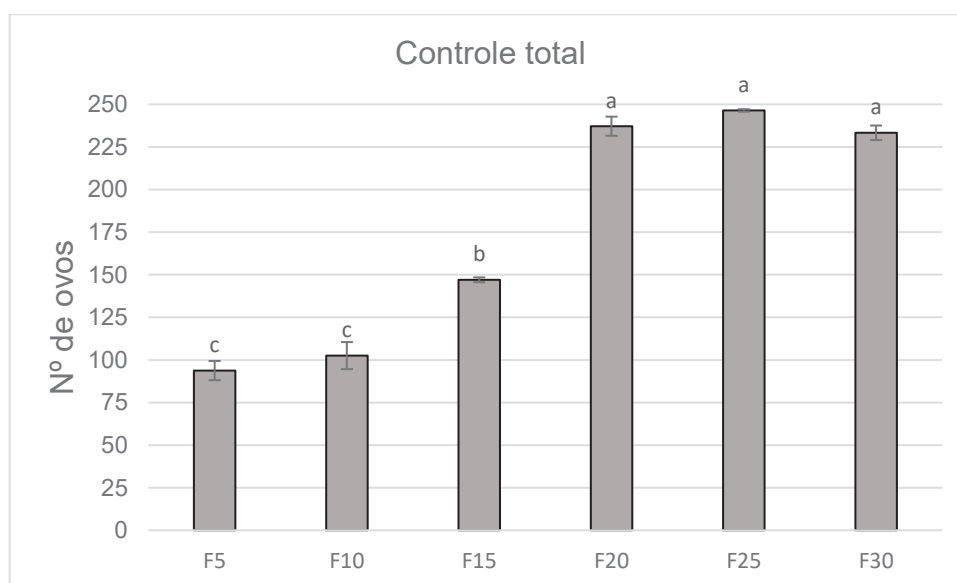


Figura 3: Controle total (%) (Média ± Erro padrão) de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* durante 24 horas, mantidos por 30 gerações a 30°C (UR: 70 ± 10%; Fotofase de 14 h) (N= 15). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados evidenciam os benefícios da adaptação térmica de *T. foersteri* ao longo das gerações avaliadas. O número de ovos parasitados aumentou de 73,4 obtidos na primeira geração (capítulo 1) para 135 ovos na 30ª geração. Na faixa de

temperatura considerada ideal para o desenvolvimento e reprodução de *T. foersteri* (20°C a 28°C) o número de ovos parasitados variou, sem diferença significativa, de 157,20 a 183,48 ovos (capítulo 1). Ao comparar o parasitismo obtido à 20°C (157,2 ovos) com a população adaptada à 30°C, nota-se uma diferença de apenas 8,8% de ovos parasitados. De forma semelhante ao parasitismo, a média de descendentes produzidos por fêmea se elevou com o passar das gerações, variando de 81,36 (capítulo 1) à 148,67 adultos produzidos por fêmea na última geração avaliada, comprovando o aumento no número de parasitoides com a aclimação ao longo de gerações subsequentes.

Além do aumento na reprodução, a adaptação elevou a mortalidade não reprodutiva de 76,93 ovos (capítulo 1) para 127,33 ovos inviabilizados na 25ª geração. Consequentemente, o controle total dos ovos hospedeiros também aumentou, passando de 152,84 (capítulo 1) para 246,46 ovos inviabilizados por fêmea durante 24 horas. Quando se compara com o controle total obtido nas temperaturas ideais para *T. foersteri* (capítulo 1), constata-se que não há diferença no número de ovos controlados pela população adaptada, demonstrando a elevada eficiência de controle à 30°C.

Após 15 gerações de aclimação, a longevidade de machos e fêmeas dobrou em relação aos resultados obtidos inicialmente (Capítulo 1). As fêmeas atingiram longevidade superior a 5 dias, assemelhando-se à longevidade, na mesma temperatura, de linhagens de *Trichogramma pretiosum* Riley e *Trichogramma galloi* Zucchi provenientes de regiões tropicais (BUENO; PARRA; BUENO, 2012; CÔNSOLI; PARRA, 1995), o que sugere que liberações da população adaptada de *T. foersteri* nessas mesmas condições são viáveis.

Apesar do sucesso da adaptação climática, os resultados benéficos foram relatados a partir da 15ª geração. Nas gerações iniciais (F5 e F10), o estresse provocado pela alta temperatura reduziu o desempenho de *T. foersteri* quando comparados à primeira geração (capítulo 1). Esses efeitos negativos podem ser devido aos custos de adaptação dos parasitoides (SCOTT; BERRIGAN; HOFFMANN, 1997). De acordo com Sgrò, Terblanche e Hoffmann (2016) os custos são eventos associados à exposição de um organismo a um ambiente estressante (por exemplo estresse térmico), sendo esperado em algum momento da evolução de uma espécie, e, sem eles, não haveriam respostas benéficas à variação das características induzidas pelo ambiente. Em contrapartida aos custos da aclimação, durante a 10ª à 15ª geração houve um aumento significativo da eficiência da população, proporcionando benefícios na longevidade de *T. foersteri* e no controle do hospedeiro, compensando assim os custos da aclimação. A

partir da geração F20 a adaptação atingiu o desempenho máximo, permanecendo sem diferir estatisticamente até o fim das avaliações, evidenciando que, apesar do estresse inicial, o processo de adaptação climática foi bem-sucedido. Gilligan e Frankham (2003) estudaram a adaptação de *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Drosophilidae) ao ambiente de criação e evidenciaram a rápida alteração no fitness da população. Estes autores relataram que as maiores taxas de alterações ocorreram no início da adaptação, reduzindo ao longo das gerações até atingir um limite máximo de adaptação, corroborando com os resultados relatados no presente estudo.

Em pesquisas anteriores, a aclimação de *Trichogramma* spp. em temperaturas elevadas foi relatada através da exposição dos parasitoides à altas temperaturas por poucas horas em diferentes fases da sua vida. Os melhores resultados obtidos por Scott, Berrigan e Hoffmann (1997), ao aclimatar *Trichogramma carverae* Oatman & Pinto, foram a partir da exposição dos ovos parasitados durante o quinto dia após o parasitismo, por 13 e 25,5 horas à 33°C, refletindo no aumento da resistência dos adultos a um subsequente choque térmico, porém em resposta a esse benefício, houve uma redução no parasitismo. Thomson, Robinson e Hoffmann (2001) alteraram o tempo de exposição de *T. carverae* para 8 horas durante o último dia de pupa (dia 10), resultando no aumento da resistência em laboratório sem provocar prejuízos no parasitismo. Utilizando o mesmo tratamento, os autores também obtiveram um aumento no desempenho em testes de campo em temperaturas elevadas. Estes autores também relataram a aclimação de adultos por 30 minutos à 35°C no dia da emergência, apresentando resultados positivos tanto em laboratório quanto em campo. Em outro estudo, Hoffmann e Hewa-Kapuge (2000) testaram a aclimação de *Trichogramma nr. brassicae* Bezdenko expondo as pupas à 35°C por 2 horas por dia, resultando na maior sobrevivência dos adultos sem alterar significativamente o parasitismo. Por outro lado, ao aumentar a exposição para 3 horas, houve uma queda significativa no fitness da espécie.

Apesar desses autores relatarem resultados benéficos, a aplicabilidade da aclimação por curtos períodos de exposição apresenta maiores dificuldades quando comparada à aclimação transgeracional, devido principalmente à necessidade de um rigoroso controle no tempo e momento de exposição aos tratamentos com as temperaturas elevadas. Além disso, visto que entre os principais gargalos do controle biológico no Brasil se destacam a logística (PARRA, 2014) e a concentração das biofábricas no sudeste do país (TOGNI et al., 2019), muitas vezes o transporte dos parasitoides é realizado nos estágios iniciais de desenvolvimento, tornando inviável a

exposição dos insetos a um processo de aclimação por poucas horas em um momento restrito do seu desenvolvimento, principalmente quando os tratamentos necessitam ser próximo ou após a emergência. Do ponto de vista prático, a aclimação ao longo de várias gerações apresenta maior facilidade para ser executada em grande escala por biofábricas de inimigo naturais, sendo que a manutenção da população pode ser realizada da mesma forma que o habitual. No entanto, apesar dos resultados em laboratório se refletirem na eficiência em campo (COELHO et al., 2016), para confirmar os benefícios da aclimação ainda é necessário avaliar o comportamento desta população em liberações, garantindo que não ocorreram efeitos negativos relacionados às características que não foram avaliadas neste estudo, como a capacidade de voo e busca pelo hospedeiro em campo.

## 5. CONCLUSÃO

A aclimação de *T. foesteri* por 30 gerações resultou em aumento na longevidade dos adultos, no parasitismo e controle total de ovos de *A. gemmatalis*. Os ganhos da aclimação foram relatados a partir da 15ª geração, fazendo com que o controle total exercido por *T. foesteri* se equiparasse ao encontrado na melhor faixa de temperatura (20 a 28°C) para o desenvolvimento e reprodução dessa espécie. O processo de aclimação por gerações consecutivas apresenta soluções para a utilização de *T. foersteri* em programas de controle biológico pragas em regiões tropicais.

## REFERÊNCIAS

- ABBOT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, 18:265–267, 1925.
- ABRAM, P. K.; BRODEUR, J; BURTE, V.; BOIVIN, G. Parasitoid-induced host egg abortion: An underappreciated component of biological control services provided by egg parasitoids. **Biological Control**, v. 98, p. 52–60, 2016.
- ANGILLETTA, M. Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. **Oxford University press**, Oxford. p. 289, 2009.
- BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 154–162, 2012.

COELHO, A. Jr.; RUGMAN-JONES, P. F., REIGADA, C.; STOUTHAMER, R.; PARRA, P. Laboratory performance predicts the success of field releases in inbred lines of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* (hymenoptera: Trichogrammatidae). **PLOS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1–16, 2016.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology II.- parasitism capacity and longevity. **Journal of Applied Entomology**, v. 9, p. 667–670, 1995.

FOERSTER, M. R.; MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. Temperature-dependent parasitism, survival, and longevity of five species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) associated with *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 2, p. 176–182, 2014.

GILLIGAN, D. M.; FRANKHAM, R. Dynamics of individual adaptation processes. **Conservation Genetics**, v. 4, p. 189–197, 2003.

HOFFMANN, A. A.; HEWA-KAPUGE, S. Acclimation for heat resistance in *Trichogramma nr. brassicae*: Can it occur without costs? **Functional Ecology**, v. 14, n. 1, p. 55–60, 2000.

HUEY, R. B.; BERRIGAN, D. A. Testing evolutionary hypotheses of acclimation. In: *Animals and Temperature: Phenotypic and Evolutionary Adaptation* (eds I.A. Johnston & A.F. Bennett). **Cambridge University Press**, Cambridge, pp. 205–237., 1996.

KALYEBI, A.; SITHANANTHAM, S; OVERHOLT, W. A.; HASSAN, S. A.; MUEKE, J. M. Parasitism, longevity and progeny production of six indigenous Kenyan trichogrammatid egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) at different temperature and relative humidity regimes. **Biocontrol Science and Technology**, v. 15, n. 3, p. 255–270, 2005.

KRECHEMER, F. S.; FOERSTER, L. A. Temperature effects on the development and reproduction of three *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) species reared on *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. **Journal of Insect Science**, v. 15, n. 1, 2015.

MARCHIORO, C. A.; KRECHEMER, F. S.; FOERSTER, L. A. Assessing the total mortality caused by two species of *Trichogramma* on its natural host *Plutella xylostella* (L.) at different temperatures. **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 3, p. 270–277, 2015.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: An overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420–429, 2014.

SCOTT, M.; BERRIGAN, D.; HOFFMANN, A. A. Costs and benefits of acclimation to elevated temperature in *Trichogramma carverae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 85, n. 3, p. 211–219, 1997.

SGRÒ, C. M.; TERBLANCHE, J. S.; HOFFMANN, A. A. What can plasticity contribute to insect responses to climate change? **Annual Review of Entomology**, v. 61, n. 1, p. 433–451, 2016.

SMITH, S. M. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use. **Annual review of entomology**. Vol. 41, n. 49, p. 375–406, 1996.

TAKAHASHI, T. A.; NISHIMURA, G. N.; QUERINO, R. B.; FOERSTER, L. A. An integrative taxonomy of a new species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) with high reproductive capacity. **Neotropical Entomology**. 2021 DOI. 10.1007/s13744-020-00834-2.

THOMSON, L. J.; ROBINSON, M.; HOFFMANN, A. A. Field and laboratory evidence for acclimation without costs in an egg parasitoid. **Functional Ecology**, v. 15, n. 2, p. 217–221, 2001.

TOGNI, P. H. B.; VENZON, M.; LAGÔA, A. C.G.; SUJII, E. R. Brazilian legislation leaning towards fast registration of biological control agents to benefit organic agriculture. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 2, p. 175–185, 2019.

VÁSQUEZ, L. A.; SHELTON, A. M.; HOFFMANN, M. P.; ROUSH, R. T. Laboratory evaluation of commercial trichogrammatid products for potential use against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Biological Control**, v. 9, n. 2, p. 143–148, 1997.

---

**Efeito da idade de fêmeas de *Trichogramma foersteri* no controle de *Anticarsia gemmatalis*****RESUMO**

O sucesso das liberações de parasitoides de ovos é influenciado pela capacidade das fêmeas de ajustar a sua reprodução em relação à disponibilidade do hospedeiro na cultura agrícola. Neste contexto, para uma melhor recomendação de uso das espécies de *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), se torna importante o conhecimento do potencial reprodutivo da fêmea em função da sua idade. Foram testadas fêmeas de *Trichogramma foersteri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) mantidas em privação do hospedeiro por dois a seis dias. Para cada dia avaliado, foram ofertados 300 ovos de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Erebidæ) por fêmea, mantidos por um período de 24 horas. Tanto o parasitismo quanto o controle total (parasitismo + mortalidade não reprodutiva) diminuiu no sexto dia de vida, porém se manteve próximo de 150 e 280 ovos controlados. No quarto dia de vida as fêmeas apresentaram a maior taxa de parasitismo, com 211 ovos parasitados, entretanto o controle total não diferiu significativamente até o 5º dia, controlando aproximadamente 100% dos ovos ofertados. A idade das fêmeas não influenciou nos parâmetros de razão sexual, viabilidade de emergência e parasitoides emergidos por ovo. Esse estudo comprova que até seis dias após a emergência, as fêmeas de *T. foersteri* continuam realizando um elevado controle dos ovos hospedeiro, o que reforça o potencial de uso dessa nova espécie de *Trichogramma* em programas de controle biológico da lagarta da soja.

Palavras-chave: Parasitoide. Privação de hospedeiro. Potencial reprodutivo.

## ABSTRACT

The success in releasing egg parasitoids is influenced by the ability of the females to adjust their reproduction in relation to the availability of the host in the field. In this context, for a better recommendation on the use of the species of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), it is important to know the reproductive potential of the females according to their age. In this chapter, we analyzed the influence of the age of *Trichogramma foersteri*, in the control of *Anticarsia gemmatalis* eggs. Females kept in host deprivation for 2 to 6 days were tested. For each evaluated day, 300 eggs were offered per female for a period of 24 hours. Both parasitism and total control (parasitism + non-reproductive mortality) decreased on the sixth day of life, but remained close to a mortality of 150 and 280, respectively. On the fourth day of life, females had the highest rate of parasitism, with 211 parasitized eggs, however the total control did not differ significantly until the 5th day, controlling approximately 100% of the eggs offered. The age of the females did not influence the parameters of sex ratio, emergence viability and parasitoids emerged by egg. This study demonstrates that up to six days, females of *T. foersteri* continue to provide a high control of host eggs, which further supports the potential use of this new species of *Trichogramma* in biological control programs of the velvetbean caterpillar.

Key words: Parasitoid. Host deprivation. Reproductive potential.

## 1. INTRODUÇÃO

Os parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) são um dos inimigos naturais mais utilizados no mundo para o controle de lepidópteros-praga (HASSAN, 1993; VAN LENTEREN; BUENO, 2003; PARRA; COELHO, 2019). A eficiência desses parasitoides é influenciada pela capacidade das fêmeas de ajustar a sua reprodução em relação à disponibilidade do hospedeiro na cultura agrícola (BAI; SMITH, 1993). Isso se deve ao fato de que em campo a presença dos ovos de lepidópteros varia temporal e espacialmente, fazendo com que algumas fêmeas do parasitoide não os encontrem logo após emergirem ou serem liberadas (BAI; SMITH, 1993).

Além disso, a atividade reprodutiva dos parasitoides deve coincidir com período em que o hospedeiro está suscetível ao parasitismo; geralmente quanto mais velho o ovo, menor é a aceitação das fêmeas do parasitoide (MIURA; KOBAYASHI, 1998; PRATISSOLI; NONATO DE OLIVEIRA, 1999; QUEIROZ et al., 2020). Nesses casos os parasitoides evitam parasitar e vão em busca de ovos mais adequados, o que implica no envelhecimento das fêmeas em campo (GARCIA et al., 2001).

O período entre a emergência das fêmeas e o encontro com um ovo hospedeiro adequado ao parasitismo pode provocar alterações na eficiência dos parasitoides (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993). Em algumas espécies, períodos de privação do hospedeiro levam à reabsorção dos ovos reduzindo significativamente a capacidade de parasitismo (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993), principalmente em parasitoides pro-ovigênicos, pois estes não conseguem produzir mais ovos durante a fase adulta (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993). Sendo assim, normalmente o melhor desempenho de espécies pro-ovigênicas é esperado logo após a emergência, sendo prejudicado com o seu envelhecimento (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993).

Em *Trichogramma* spp. o efeito da privação do hospedeiro foi relatado para algumas espécies (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993; GARCIA et al., 2001; PIZZOL et al., 2012; POLANCZYK et al., 2007; QUEIROZ et al., 2020). O número de ovos parasitados por *Trichogramma brassicae* Bezdenko e *Trichogramma cordubensis* Vargas foi significativamente reduzido com o envelhecimento das fêmeas (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993; GARCIA et al., 2001) e a capacidade de parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley não é afetado após a privação de ovos de *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebididae) por cinco dias (QUEIROZ et al., 2020). Por

outro lado, *Trichogramma cacoeciae* Brun aumentou o número de ovos parasitados após o segundo dia em tratamento sem o contato com o hospedeiro (PIZZOL et al., 2012).

Esses estudos evidenciam que a privação do hospedeiro afeta a eficiência de parasitismo de forma diferente entre as espécies de *Trichogramma*; sendo assim, deve ser dada mais atenção a esse comportamento para estabelecer a melhor estratégia e recomendação de liberações massais (HEGAZI; KHAFAGI, 2001; PIZZOL et al., 2012; QUEIROZ et al., 2019). Este conhecimento também contribui para a criação de *Trichogramma* spp. em laboratório, podendo indicar até qual idade das fêmeas se pode multiplicar os parasitoides e o melhor período para se obter a eficiência máxima (QUEIROZ et al., 2019), tanto no parasitismo quanto em diversos parâmetros de desenvolvimento, como viabilidade de emergência, número de parasitoides por ovo e razão sexual.

No entanto, em *Trichogramma foersteri* Takahashi este comportamento ainda é desconhecido. Esta espécie foi recém descoberta parasitando ovos de *A. gemmatalis* na cultura da soja no sul do Brasil (TAKAHASHI et al., 2021). Em laboratório esta nova espécie demonstrou ser altamente polífaga, parasitando com eficiência mais de 10 espécies de importância agrícola (TAKAHASHI et al., 2021). Em *A. gemmatalis*, uma única fêmea parasitou 183 ovos nas primeiras 24 horas após a emergência, no entanto a partir do segundo dia de vida o parasitismo foi irrisório (<1,0% da sua capacidade total de parasitismo à 25°C) (capítulo 1). Neste contexto, foi avaliado o efeito de diferentes idades (2, 3, 4, 5 e 6 dias) de fêmeas de *T. foersteri* no potencial de parasitismo de ovos de *A. gemmatalis*.

## 2. MATERIAL DE MÉTODOS

*Trichogramma foersteri* foi coletado em ovos de *A. gemmatalis* na cultura da soja no município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba – Paraná. Os insetos foram mantidos em ovos de *A. gemmatalis*, em câmara climática à  $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ,  $70 \pm 10\%$  de umidade relativa e fotofase de 14 horas. A criação de *A. gemmatalis* e de *T. foersteri* seguiram a mesma metodologia descrita no capítulo 1.

O experimento foi conduzido nas mesmas condições ambientais da criação dos parasitoides (T:  $25 \pm 1^\circ \text{C}$ , UR:  $70 \pm 10\%$  e fotofase: 14h), com 5 tratamentos (fêmeas de *T. foersteri* da mesma geração de 2 a 6 dias de idade) com 18 repetições cada, compostas por uma fêmea previamente copulada.

Para se obter as fêmeas de diferentes idades, após a emergência, os parasitoides foram mantidos no mesmo tubo por 24 horas para que ocorresse a cópula. Em seguida, as fêmeas foram individualizadas em tubos de vidro contendo apenas mel e mantidas sem contato com os ovos até a respectiva idade a ser avaliada. Em cada dia avaliado, foram ofertadas cartelas (0,7 x 6,5 cm) contendo 300 ovos de *A. gemmatalis* (<24 horas de idade) colados com água com o auxílio de um pincel de ponta fina e expostos às fêmeas por 24 horas. Em seguida, as fêmeas foram retiradas e os tubos contendo os ovos permaneceram nas mesmas condições até a emergência dos adultos.

Os parâmetros avaliados foram: número de ovos parasitados (ovos que se tornaram enegrecidos); número de ovos inviabilizados pela mortalidade não reprodutiva (controle total – nº de ovos parasitados); controle total (verificada através da correção da infertilidade do hospedeiro em ovos não ofertados a fêmeas, pela fórmula de Abbott (1925)) (capítulo 1); viabilidade de emergência (nº de ovos com orifício de saída do parasitoide ÷ nº de ovos parasitados); número de parasitoides por ovo (total de parasitoides emergidos ÷ nº de ovos parasitados) e proporção de machos e fêmeas para determinação da razão sexual. Para se obter o número total de ovos controlados e a mortalidade não reprodutiva foi empregado o mesmo método descrito no capítulo 1, alterando apenas o número de repetições e de ovos utilizados como testemunha (testemunha = 10 repetições contendo 30 ovos cada sem contato com as fêmeas).

Os dados foram analisados no programa estatístico R, versão 3.6.1., através do modelo linear generalizado (GLM), seguindo as distribuições Binomial para razão sexual e viabilidade e, para os demais parâmetros através da distribuição de Poisson. No caso de diferenças significativas entre as gerações, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando a função `glht` do pacote `multcomp`. As análises foram realizadas no programa estatístico R, versão 3.6.1.

### 3. RESULTADOS

A idade das fêmeas impactou significativamente o número de ovos parasitados ( $F=503,50$ ;  $Df=4$ ;  $p < 0,001$ ), a mortalidade não reprodutiva ( $F=863,22$ ;  $Df=4$ ;  $p < 0,001$ ) e mortalidade total do hospedeiro ( $F=67,204$ ;  $Df=4$ ;  $p < 0,001$ ) (Figura 1). O número de ovos parasitados foi superior no quarto dia de vida das fêmeas, atingindo a média de 211,11 ovos parasitados por fêmea. As fêmeas com 2, 3 e 5 dias de vida não apresentaram diferenças significativas no parasitismo, com aproximadamente 170 ovos parasitados por fêmea. Apenas no sexto dia de vida houve redução para 147,44 ovos parasitados por

fêmea (Figura 1). Por outro lado, o número de ovos inviabilizados pela mortalidade não reprodutiva foi inversamente proporcional ao número de ovos parasitados, ou seja, quanto maior o parasitismo, menor a mortalidade não reprodutiva (Figura 2).

A mortalidade total (ovos parasitados + mortalidade não reprodutiva) foi menor no sexto dia, mas ainda assim permaneceu acima de 277 ovos por fêmea durante as 24 horas de exposição. Nos dias 2, 3, 4 e 5 a mortalidade total foi maior e não apresentou diferenças significativas entre si, causando a morte de aproximadamente 100% dos ovos ofertados.

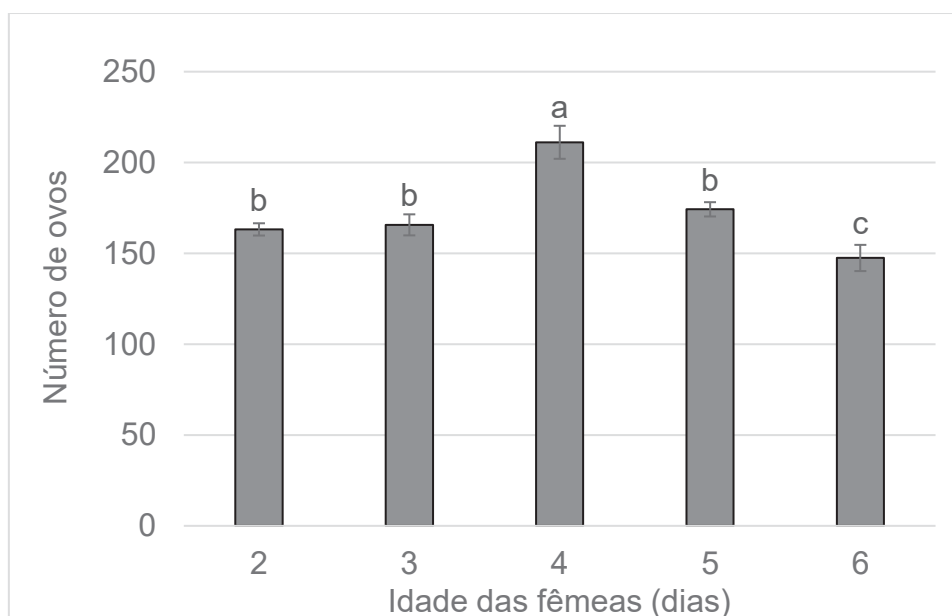


Figura 1: Número de ovos de *Anticarsia gemmatalis* parasitados por *Trichogramma foersteri* com diferentes idades por um período de 24 horas (Nº de ovos ofertados = 300). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

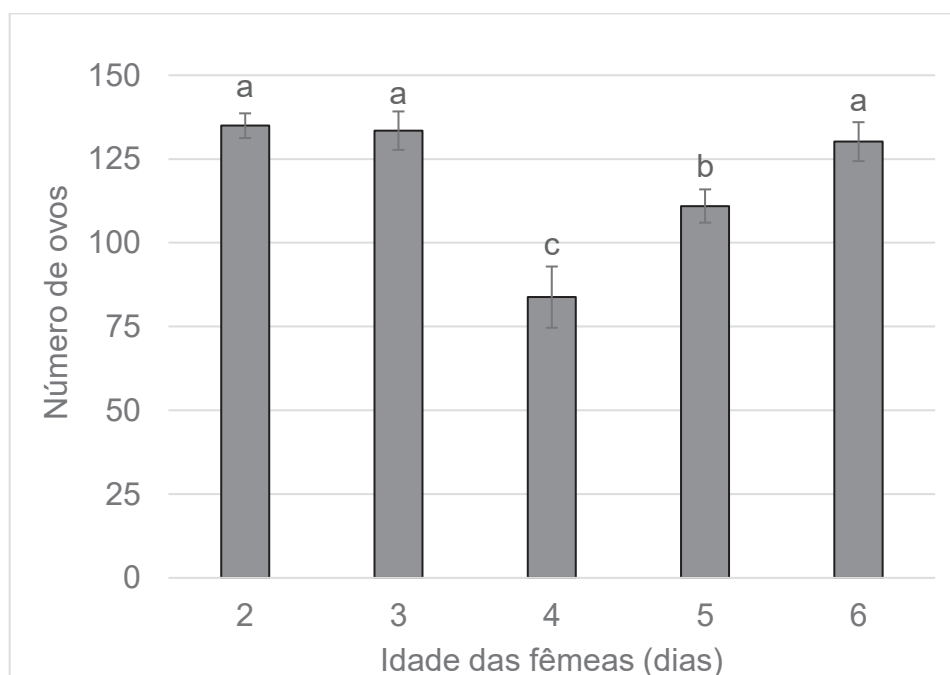


Figura 2: Número de ovos de *Anticarsia gemmatalis* controlados de forma não reprodutiva por *Trichogramma foersteri* com diferentes idades por um período de 24 horas (Nº de ovos ofertados = 300). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

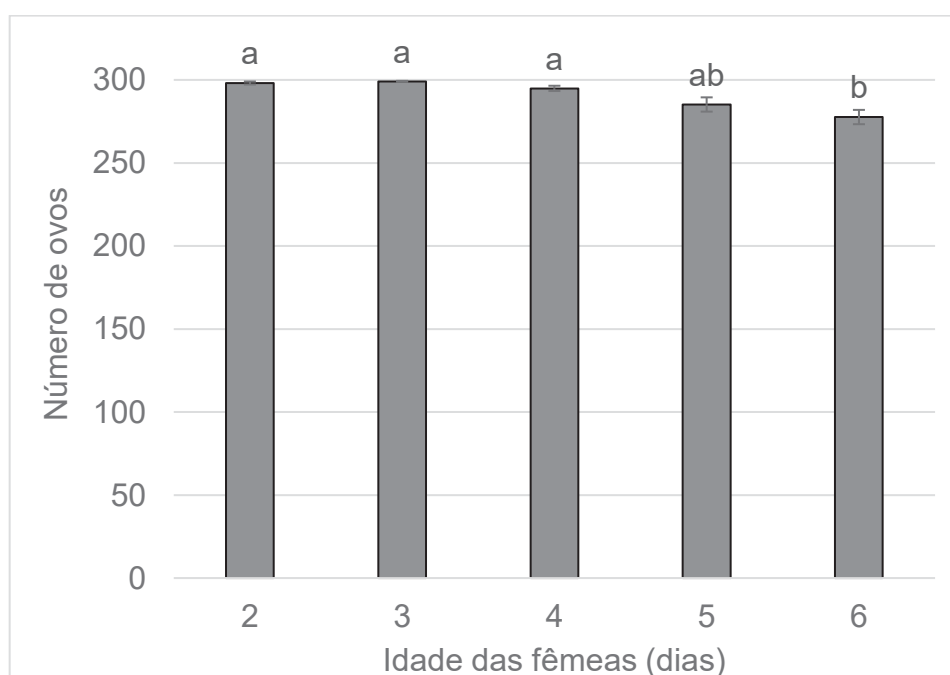


Figura 3: Controle total (%) de *Anticarsia gemmatalis* por *Trichogramma foersteri* com diferentes idades por um período de 24 horas (Nº de ovos ofertados = 300). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A porcentagem de emergência, parasitoides emergidos por ovo e razão sexual não diferiram estatisticamente entre si até o sexto dia de vida das fêmeas (Tabela 1)

Tabela 1: Viabilidade (%), nº de parasitoides emergidos e razão sexual (Média ± erro padrão) de *Trichogramma foersteri* com diferentes idades, em ovos de *Anticarsia gemmatalis* (UR: 70 ± 10%; Fotofase de 14 h).

Idade das fêmeas (dias)	Viabilidade*	Parasitoides por ovo*	Razão sexual*
Dois	99,58 ± 0,16	1,22 ± 0,03	0,93 ± 0,00
Três	99,83 ± 0,05	1,21 ± 0,04	0,90 ± 0,02
Quatro	99,60 ± 0,09	1,21 ± 0,04	0,90 ± 0,02
Cinco	99,65 ± 0,08	1,14 ± 0,02	0,91 ± 0,01
Seis	98,13 ± 0,47	1,12 ± 0,03	0,91 ± 0,02
F	0,9163	1,3799	3,9340
Df	4	4	4
P	0,9795	0,2478	0,9987

\* Não significativo de acordo com o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

#### 4. DISCUSSÃO

Algumas espécies de *Trichogramma* são capazes de produzir uma grande quantidade de ovos ao longo da vida adulta (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993; VOLKOFF; DAUMAL, 1994). No entanto, a maioria das espécies do gênero já emergem com um grande número de ovos maduros, prontos para serem depositados (PAK; OATMAN, 1982; CHASSAIN; BOULÉTREAU, 1991; BUENO; PARRA; BUENO, 2012). No capítulo 1 foi relatado que mais de 99% da capacidade reprodutiva de *T. foersteri* ocorre nas primeiras 24 após a emergência das fêmeas, indicando que esta nova espécie tem comportamento pró-ovigênico. Porém, era desconhecido se a interrupção abrupta do parasitismo após o primeiro dia de vida era devido ao esgotamento da carga de ovos ou se era influenciado pela idade das fêmeas. O presente estudo evidenciou que, na ausência de hospedeiros, *T. foersteri* mantém o mesmo nível de controle por pelo menos seis dias de vida. Essa informação reforça o potencial de uso dessa nova espécie em programas de controle biológico aplicado.

Até cinco dias após a emergência, fêmeas mantidas sem o contato com o hospedeiro não apresentaram redução significativa no número de ovos parasitados. A média de parasitismo obtida em cada um dos cinco dias analisados se assemelha ao encontrado no dia da emergência dos parasitoides (183 ovos parasitados) (capítulo 1), comprovando que mesmo que *T. foersteri* não encontre o hospedeiro nesse período, não haverá redução na sua taxa de reprodução.

Ao contrário do que se esperava de uma espécie com comportamento pró-ovigênico, houve um aumento na taxa de parasitismo com quatro dias de privação do hospedeiro, o que sugere que, nessa fase, as fêmeas atingem o valor máximo de maturação dos ovos (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993). Além disso, devido ao alto número de ovos inviabilizados de forma não reprodutiva, até o quinto dia de vida não houve diferença estatística na mortalidade total, chegando próximo ao controle dos 300 ovos ofertados por fêmea. Esse resultado reafirma a alta capacidade de controle dessa espécie (capítulo 1), superando o controle em um único dia das demais espécies de *Trichogramma* descritas na literatura (CÔNSOLI; PARRA, 1995; VÁSQUEZ et al., 1997; FOERSTER; MARCHIORO; FOERSTER, 2014; MARCHIORO; KRECHERMER; FOERSTER, 2015).

Estudos anteriores com outras espécies de *Trichogramma* relatam o efeito da privação do hospedeiro; *T. cacoeciae* apresentou a menor taxa de parasitismo no primeiro dia de vida comparado ao segundo, terceiro e quarto dias (PIZZOL et al., 2012). Semelhante ao presente estudo, o controle total (parasitismo + mortalidade não reprodutiva) de *T. cacoeciae* não diferiu significativamente entre os dias avaliados, controlando aproximadamente 20 ovos por fêmea no período de 24 horas de exposição aos ovos. No entanto apesar dessa semelhança, essas duas espécies apresentam comportamento reprodutivo bem distinto; *T. cacoeciae* produz novos ovos logo após a oviposição (VOLKOFF; DAUMAL, 1994) e a sua capacidade de parasitismo ocorre de forma espaçada ao longo de sua vida (HEGAZI; KHAFAGI, 2001). *Trichogramma foersteri* esgota a sua capacidade reprodutiva em 24 horas e posteriormente cessa a produção de ovos. Queiroz et al. (2020) relataram que o parasitismo de *T. pretiosum* em ovos de *A. gemmatalis* não foi afetado significativamente até cinco dias de vida em privação do hospedeiro, com o parasitismo aproximado de oito dos 20 ovos ofertados em 24 horas.

Em *T. brassicae*, o envelhecimento das fêmeas privadas de hospedeiros levou a uma redução significativa do parasitismo (FLEURY; BOULÉTREAU, 1993). Estes autores sugerem que os ovos de *T. brassicae* podem ser armazenados nos ovários sem redução de parasitismo por até três dias; após esse período, sem contato com o hospedeiro, se inicia a reabsorção dos ovos. A reabsorção dos ovos é uma estratégia que permite às fêmeas reciclarem nutrientes armazenados em seus ovos para manter seus recursos metabólicos; geralmente ocorre quando há a falta de alimento ou hospedeiros no ambiente (JERVIS; KIDD, 1986). Em *T. foersteri* não ocorreu a

reabsorção dos ovos até seis dias após a emergência das fêmeas, e somente no sexto dia houve uma pequena redução do parasitismo que pode ser devido ao início da reabsorção dos ovos ou ao envelhecimento e redução na atividade das fêmeas, tendo em vista que sua longevidade a 25°C é de aproximadamente nove dias (capítulo 1).

A razão sexual, viabilidade de emergência e número de parasitoides emergidos por ovo não diferiram entre os tratamentos, assemelhando-se com os resultados encontrados a 25°C no dia da emergência (capítulo 1). Em programas de controle biológico, a razão sexual acima de 0,6 é considerada satisfatória (VAN LENTEREN; BUENO, 2003), o que comprova a boa interação do *T. foersteri* com *A. gemmatalis*. Da mesma forma, uma alta viabilidade de emergência, assim como encontrada em todos os tratamentos do experimento, é desejável em liberações (SOARES et al., 2012). O número de parasitoides emergidos por ovo tem uma relação direta com o volume e a qualidade nutricional do ovo hospedeiro (RORIZ; OLIVEIRA; GARCIA, 2006; SHOEB; EL-HENEIDY, 2010), sendo preferível um menor número de parasitoides por ovo, pois o aumento no número de indivíduos por ovo pode levar à redução da qualidade e eficiência de controle em campo (MOREIRA et al., 2009; QUEIROZ et al., 2020).

Sabendo-se que o intervalo entre as liberações depende do período em que o agente de controle biológico está ativo (QUEIROZ et al., 2019), os dados apresentados contribuem para ajustar a melhor recomendação de liberações e garantir a eficiência da espécie. Além disso, tal fato abre a possibilidade de realizar as liberações no estágio adulto dos parasitoides, sendo possível soltá-los após estarem alimentados e conseqüentemente mais fecundos e longevos (LEATEMIA; LAING; CORRIGAN, 1995, PRATISSOLI et al., 2004).

Outro ponto que pode ser melhor explorado é a possibilidade de armazenamento dos adultos, com alimento, e realizar a soltura no entardecer do dia. Dessa forma, tendo em vista a rápida ação de controle e que o parasitismo de *T. foersteri* não é afetado pelo fotoperíodo (observação pessoal, trabalho em desenvolvimento), possibilita a ação inicial dos parasitoides durante a noite, período em que normalmente a temperatura é menor, aumentando a eficiência do parasitismo em locais de alta temperatura.

Por fim, para esclarecer a possibilidade de maturação de ovos durante a fase adulta, estudos aprofundados acerca da fisiologia reprodutiva ainda são necessários, o que inclui a dissecação do ovário das fêmeas. O comportamento em campo é outro aspecto que deve ser avaliado, principalmente no efeito da idade das fêmeas sobre a dispersão e capacidade de busca dos parasitoides.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam que em condições controladas *T. foersteri* mantém a eficiência de controle por até seis dias após a emergência dos adultos, com potencial máximo de parasitismo no quarto dia de vida, fato que contribui para a utilização do parasitoide em campo.

## REFERÊNCIAS

- ABBOT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p. 265–267, 1925.
- BAI, B.; SMITH, S. M. Effect of host availability on reproduction and survival of the parasitoid wasp *Trichogramma minutum*. **Ecological Entomology**, v. 18, n. 4, p. 279–286, 1993.
- BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 154–162, 2012.
- CHASSAIN, C.; BOULÉTREAU, M. Genetic variability in quantitative traits of host exploitation in *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Genetica** v. 83, p. 195-202, 1991.
- CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology II.- parasitism capacity and longevity. **Journal of Applied Entomology**, v. 9, p. 667–670, 1995.
- FLEURY, F.; BOULÉTREAU, M. Effects of temporary host deprivation on the reproductive potential of *Trichogramma brassicae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 68, n. 3, p. 203–210, 1993.
- FOERSTER, M. R.; MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. Temperature-dependent parasitism, survival, and longevity of five species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) associated with *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 2, p. 176–182, 2014.
- GARCIA, P. V.; WAJNBERG, E.; OLIVEIRA, M. L. M.; TAVARES, J. Is the parasitization capacity of *Trichogramma cordubensis* influenced by the age of the females? **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 98, n. 2, p. 219–224, 2001.
- HASSAN, S. A. The mass rearing and utilization of *Trichogramma* to control lepidopterous pests: Achievements and outlook. **Pesticide Science**, v. 37, n. 4, p. 387–391, 1993.

HEGAZI, E. M.; KHAFAGI, W. E. Pattern of egg management by *Trichogramma cacoeciae* and *T. dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 353–359, 2001.

JERVIS, M. A.; KIDD, N. A. C. Host-feeding strategies in hymenopteran parasitoids. **Biological Reviews**, v. 61, p395-434, 1986.

LEATEMIA, J. A.; LAING, J. E.; CORRIGAN, J. E. Effects of adult nutrition on longevity, fecundity, and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **The Canadian Entomologist**, V. 127, P. 245-254, 1995.

MARCHIORO, C. A.; KRECHEMER, F. S.; FOERSTER, L. A. Assessing the total mortality caused by two species of *Trichogramma* on its natural host *Plutella xylostella* (L.) at different temperatures. **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 3, p. 270–277, 2015.

MIURA, K.; KOBAYASHI, K. Effects of host-egg age on the parasitism by *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an egg parasitoid of the diamondback moth. **Applied Entomology and Zoology**, v. 33, n.2; p.1998;

MOREIRA, M. D.; SANTOS, M. C. F. DO; BESERRA, E. B.; TORRES, J. B.; ALMEDA, R. P. DE. Parasitismo e superparasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Sitotroga cerealella* (Oliver) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 2, p. 237–242, 2009.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of insect science (Online)**, v. 19, n. 2, p. 1-6, 2019.

PAK, G. A.; OATMAN, E. R. Comparative life table, behavior and competition studies of *Trichogramma brevicapillum* and *T. pretiosum*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 32, p. 68-79, 1982.

PIZZOL, J.; DESNEUX, N.; WAJNBERG, E.; THIER, D. Parasitoid and host egg ages have independent impact on various biological traits in a *Trichogramma* species. **Journal of Pest Science**, v. 85; n. 4, p. 489–496, 2012.

POLANCZYK, R. A.; PRATISSOLI, D.; HOLTZ, A. M.; PEREIRA, C. L. T.; FURTANO, I. S. de A. Efeito da idade de *Trichogramma exiguum* e do desenvolvimento embrionário da Traça-das-Crucíferas sobre as características biológicas do parasitóide. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 29, n. 2, p. 161–166, 2007.

PRATISSOLI, D.; NONATO DE OLIVEIRA, H. Influência da idade dos ovos de *Helicoverpa zea* (boddie) no parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 891–896, 1999.

PRATISSOLI, D.; OLIVEIRA, H. N. DE; VIEIRA, S. M. J.; OLIVEIRA, R. C.; ZAGO, H. B. Efeito da disponibilidade de alimento nas características biológicas de *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48; p.101-104, 2004.

QUEIROZ, A. P. de; COSTA, C. O.; FAVETTI, B. M.; SILVA, G. V.; BUENO, A. de F. Effects of parasitoid and host age on the parasitism of *Trichogramma pretiosum* on eggs of *Anticarsia gemmatalis*. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 2, p. 3–7, 2020.

QUEIROZ, A. P. de; FAVETTI, B. M.; GRANDE, M. L. M.; NEIVA, M. M.; PANIZZI, A. R.; BUENO, A. de F. Effect of the Ages of Parasitoid and Host Eggs on *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae) Parasitism. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 6, p. 974–982, 2019.

RORIZ, V.; OLIVEIRA, L.; GARCIA, P. Host suitability and preference studies of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biological Control**, v. 36, n. 3, p. 331–336, 2006.

SHOEB, M. A.; EL-HENEIDY, A. H. Incidence of superparasitism in relation to some biological aspects of the egg parasitoid, *Trichogramma evanescens* west. (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 20, n. 1, p. 61–66, 2010.

SOARES, M. A.; LEITE, G. L. D.; ZANUNCIO, J. C.; MENDES DE SÁ, V. G.; FERREIRA, C. S.; ROCHA, S. L.; PIRES, E. M.; SERRÃO, J. E. Quality control of *Trichogramma atopovirilia* and *Trichogramma pretiosum* (Hym.: Trichogrammatidae) adults reared under laboratory conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 2, p. 305–311, 2012.

TAKAHASHI, T. A.; NISHIMURA, G. N.; QUERINO, R. B.; FOERSTER, L. A. An integrative taxonomy of a new species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) with high reproductive capacity. **Neotropical Entomology**. 2021 DOI. 10.1007/s13744-020-00834-2.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. **BioControl**, v. 48, n. 2, p. 123–139, 2003.

VÁSQUEZ, L. A.; SHELTON, A. M.; HOFFMANN, M. P.; ROUSH, R. T. Laboratory evaluation of commercial trichogrammatid products for potential use against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Biological Control**, v. 9, n. 2, p. 143–148, 1997.

VOLKOFF, A. N.; DAUMAL, J. Ovarian cycle in immature and adult stages of *Trichogramma cacoeciae* and *T. brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae). **Entomophaga**, V. 39, p. 303–312, 1994.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Esta pesquisa trouxe informações relevantes sobre a performance e o potencial de *Trichogramma foersteri* no controle de *Anticarsia gemmatalis*. Os resultados evidenciaram o alto parasitismo, superando as demais espécies de *Trichogramma* encontradas no Brasil. Além disso, *T. foersteri* inviabilizou uma grande quantidade de ovos de forma não reprodutiva, destacando-se a importância de avaliar esse tipo de mortalidade entre os parasitoides. Adicionalmente, foi relatado que a espécie mantém o alto parasitismo em privação de hospedeiros por até seis dias.

Outro resultado inovador é a adaptação térmica de *T. foersteri* ao longo de gerações subsequentes mantidas a 30°C, resultando em benefícios significativos tanto no parasitismo quanto na longevidade. Esse estudo aponta soluções para utilização de *T. foersteri* em regiões quentes, além de indicar a possibilidade de aclimatar outras linhagens/espécies de *Trichogramma* spp. para aumentar a eficiência ao serem liberadas em regiões com condições climáticas distintas.

Considerando a necessidade de inserir novos agentes benéficos ao mercado, os resultados aqui encontrados podem ser úteis para elaboração de planos para a utilização dessa espécie em escala comercial. Sobretudo, esta dissertação abre possibilidades de pesquisas futuras com *T. foersteri*, incluindo viabilidade de criação massal, densidade de liberação e principalmente o controle em campo, a fim de confirmar os resultados encontrados no laboratório. As informações apresentadas também instigam pesquisas futuras relacionadas ao controle dos ovos hospedeiros de forma não reprodutiva, comportamento ainda pouco explorado em *Trichogramma* spp. Outro ponto a ser averiguado é a eficácia de *T. foersteri* em outros hospedeiros, principalmente, tendo em vista a velocidade de parasitismo aqui reportada, em espécies nas quais as posturas são depositadas na forma de massas de ovos, como em *Spodoptera* spp.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v.18, p. 265–267, 1925.
- ABRAM, P. K.; BRODEUR, J; BURTE, V.; BOIVIN, G. Parasitoid-induced host egg abortion: An underappreciated component of biological control services provided by egg parasitoids. **Biological Control**, v. 98, p. 52–60, 2016.
- ABRAM, P. K.; BRODEUR, J; URBANEJA, A.; TENA, A. Nonreproductive effects of insect parasitoids on their hosts. **Annual Review of Entomology**, v. 64, n. 1, p. 259–276, 2019.
- AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020. Disponível em:[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acessado em: 15/05/2020.
- ALMEIDA, R. P. de.; SILVA, C. A. D. da.; MEDEIROS, M. B. de. Biotecnologia de produção massal para o manejo de *Trichogramma* para o controle biológico de pragas. **Embrapa Algodão**. Documentos, 60, 1998.
- ANGILLETTA, M. Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. **Oxford University press**, Oxford, p. 289, 2009.
- AVANCI, M.R.F.; FOERSTER, L.A., CAÑETE, C.L. Natural parasitism in eggs of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera, Noctuidae) by *Trichogramma* spp. (Hymenoptera, Trichogrammatidae) in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**. v. 49, p. 148-151, 2005.
- BAI, B.; SMITH, S. M. Effect of host availability on reproduction and survival of the parasitoid wasp *Trichogramma minutum*. **Ecological Entomology**, v. 18, n. 4, p. 279–286, 1993.
- BESERRA, E. B.; DIAS, C. T. dos. S.; PARRA, J. R. P. Características biológicas de linhagens de *Trichogramma pretiosum* desenvolvidas em ovos de *Spodoptera frugiperda*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 25, n. 2, p. 479–483, 2003.
- BOWEN, W. R.; STERN, V. M. Effect of temperature on the production of males and sexual mosaics in a uniparental race of *Trichogramma semifumatum* (Hymenoptera:

Trichogrammatidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 4, p. 823–834, 1966.

BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F. *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis* eggs at different temperatures. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 154–162, 2012.

BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. F. Biological characteristics and thermal requirements of a Brazilian strain of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* reared on eggs of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis*. **Biological Control**, v. 51, n. 3, p. 355–361, 2009.

BUENO, R. C. O. de F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. de F.; HADDAD M.L. Desempenho de tricogramatídeos como potenciais agentes de controle de *Pseudoplusia includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 389–394, 2009.

CAÑETE, C. L.; FOERSTER, L. A. Incidência natural e biologia de *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, 1983 (Hymenoptera, Trichogrammatidae) em ovos de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera, Noctuidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, n. 2, p. 201–204, 2003.

CHASSAIN, C.; BOULÉTREAU, M. Genetic variability in quantitative traits of host exploitation in *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Genetica** v. 83, p. 195-202, 1991.

COCK, M. J. W.; VAN LENTEREN, J. C.; BRODEUR, J.; BARRATT B. I. P.; BIGLER, F.; BOLCKMANS, K; FERNANDO L. CÔNSOLI, F. L; HAAS, F; MASON, P. G.; PARRA, J. R. P. Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? **Biocontrol**, V. 55, N. 2, P. 199–218, 2010.

COELHO, A. Jr.; RUGMAN-JONES, P. F., REIGADA, C.; STOUTHAMER, R.; PARRA, P. Laboratory performance predicts the success of field releases in inbred lines of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **PLOS ONE**, v. 11, n. 1, p. 1–16, 2016.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Biology of *Trichogramma galloi* and *T. pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared in vitro and in vivo. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 89, n. 6, p. 828–834, 1996.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology II.- parasitism capacity and longevity. **Journal of Applied Entomology**, v. 9, p. 667–670, 1995.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology II.- parasitism capacity and longevity. **Journal of Applied Entomology**, v. 9, p. 667–670, 1995a.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P. Effects of constant and alternating temperatures on *Trichogramma galloi* Zucchi (Hym., Trichogrammatidae) biology. I. Development and thermal requirements. **Journal of Applied Entomology**, v. 119, n. 1–5, p. 415–418, 1995b.

DAVIES, A. P.; CARR C. M.; SCHOLZ B. C. G.; ZALUCKI M. P. Using *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for insect pest biological control in cotton crops: An Australian perspective. **Australian Journal of Entomology**, v. 50, n. 4, p. 424–440, 2011.

DUDCZAK, A. C.; QUERINO, R. B.; FOERSTER M. R; FOERSTER L. A. First occurrence of *Trichogramma bruni* Nagaraja (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitizing eggs of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebidae) in Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 46, n. 4, p. 471–472, 2017.

FLEURY, F.; BOULÉTREAU, M. Effects of temporary host deprivation on the reproductive potential of *Trichogramma brassicae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 68, n. 3, p. 203–210, 1993.

FOERSTER, L. A.; AVANCI, M. R. F. Egg parasitoids of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in soybeans. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 3, p. 545–548, 1999.

FOERSTER, M. R.; FOERSTER, L. A. Effects of temperature on the immature development and emergence of five species of *Trichogramma*. **BioControl**, v. 54, n. 3, p. 445–450, 2009.

FOERSTER, M. R.; MARCHIORO, C. A.; FOERSTER, L. A. Temperature-dependent parasitism, survival, and longevity of five species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) associated with *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 43, n. 2, p. 176–182, 2014.

GARCIA, P. V.; WAJNBERG, E.; OLIVEIRA, M. L. M.; TAVARES, J. Is the parasitization capacity of *Trichogramma cordubensis* influenced by the age of the females? **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 98, n. 2, p. 219–224, 2001.

GILLIGAN, D. M.; FRANKHAM, R. Dynamics of individual adaptation processes. **Conservation Genetics**, v. 4, p. 189–197, 2003.

HADDAD, M. L.; PARRA J. R. P.; MORAES R. C. B. Métodos para estimar os limites térmicos inferiores e superior de desenvolvimento de insetos. **Piracicaba, FEALQ**, 29p., 1999.

HANSEN, L. S.; JENSEN, K. M. V. Effect of temperature on parasitism and host-feeding of *Trichogramma turkestanica* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 95, n. 1, p. 50–56, 2009.

HARBA, M; IDRIS I. The effect of host density and viability on superparasitism behavior of *Trichogramma cacoeciae* and *T. principium* females. **Agriculture, Forestry and Fisheries**, v. 7, n. 1, p. 11, 2018

HASSAN, S. A. The mass rearing and utilization of *Trichogramma* to control lepidopterous pests: Achievements and outlook. **Pesticide Science**, v. 37, n. 4, p. 387–391, 1993.

HEGAZI, E. M.; KHAFAGI, W. E. Pattern of egg management by *Trichogramma cacoeciae* and *T. dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 353–359, 2001.

HOFFMAN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, E. B.; MOSCARDI, F. Criação massal da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*). **EMBRAPA-CNPSo**. Documentos, 10, 23p. 1985.

HOFFMANN, A. A.; HEWA-KAPUGE, S. Acclimation for heat resistance in *Trichogramma nr. brassicae*: Can it occur without costs? **Functional Ecology**, v. 14, n. 1, p. 55–60, 2000.

HUEY, R. B.; BERRIGAN, D. A. Testing evolutionary hypotheses of acclimation. In: Animals and Temperature. **Phenotypic and Evolutionary** Adaptation (eds I.A. Johnston & A.F. Bennett). Cambridge University Press, Cambridge, pp. 205– 237., 1996.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
Instrução Normativa IBAMA 5/2016, 2016. Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=29/08/2016&jornal=1&pagina=46&totalArquivos=68>> Acesso em: 31 Mar. 2019.

JALALI, S. K.; MOHANRAJ, P.; LAKSHMI, B. L. Trichogrammatids. In: Omkar (Ed.) **Ecofriendly Pest Management for Food Security**. Academic Press, London, 139-181, 2016.

JERVIS, M. A.; KIDD, N. A. C. Host-feeding strategies in hymenopteran parasitoids. **Biological Reviews**, v. 61, p395-434, 1986.

KALYEBI, A.; SITHANANTHAM, S; OVERHOLT, W. A.; HASSAN, S. A.; MUEKE, J. M. Parasitism, longevity and progeny production of six indigenous Kenyan trichogrammatid egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) at different temperature and relative humidity regimes. **Biocontrol Science and Technology**, v. 15, n. 3, p. 255–270, 2005.

KRECHEMER, F. S.; FOERSTER, L. A. Temperature effects on the development and reproduction of three *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) species reared on *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. **Journal of Insect Science**, v. 15, n. 1, 2015.

LAURENTIS, V. L.; RAMALHO, D. G.; SANTOS, N. A.; CARVALHO, F. P.; VACARI, A. M.; BORTOLI, S. A. de.; VENEZIANI, R. C. S.; INÁCCIO, G. da. C.; DAMI, B. G. Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–8, 2019.

LEATEMIA, J. A.; LAING, J. E.; CORRIGAN, J. E. Effects of adult nutrition on longevity, fecundity, and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **The Canadian Entomologist**, V. 127, P. 245-254, 1995.

MARCHIORO, C. A.; KRECHEMER, F. S.; FOERSTER, L. A. Assessing the total mortality caused by two species of *Trichogramma* on its natural host *Plutella xylostella* (L.) at different temperatures. **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 3, p. 270–277, 2015.

MIURA, K.; KOBAYASHI, K. Effects of host-egg age on the parasitism by *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae), an egg parasitoid of the diamondback moth. **Applied Entomology and Zoology**, v. 33, n.2; p.1998;

MORAIS, R. M.; MORO, T. S.; SALDANHA, C., W.; STEFFEN, G. P. K.; MISSIO, E. L.; MALDANER, J.; STEFFEN, R. B. *Trichogramma pretiosum* in field release and under diferente temperatures in laboratory. *Arq. Inst. Biol.*, vol. 87, p. 1-6, 2020.

MOREIRA, M. D.; SANTOS, M. C. F. dos; BESERRA, E. B.; TORRES, J. B.; ALMEIDA R. P. de. Parasitismo e superparasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Sitotroga cerealella* (Oliver) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 2, p. 237–242, 2009.

OLIVEIRA, C. M. de.; OLIVEIRA, J. V. de.; BARBOSA, D. R. S.; BRENDA, M. O.; FRANÇA, S. M.; DUARTE, B. L. R. Biological parameters and thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* for the management of the tomato fruit borer (Lepidoptera: Crambidae) in tomatoes. **Crop Protection**, v. 99, p. 39–44, 2017.

OLIVEIRA, C. M.; AUAD, A. M.; MENDES, S. M; FRIZZAS, M. R.; Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, v. 137, n. 1–2, p. 1–15, 2013.

OS, N.; VARSHNEY, R. Utilization of Trichogrammatid egg parasitoid in pest management. **Acta Scientific Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 49–53, 2018.

PAK, G. A.; OATMAN, E. R. Comparative life table, behavior and competition studies of *Trichogramma brevicapillum* and *T. pretiosum*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 32, p. 68-79, 1982.

PARRA J. R. P. Mass rearing of egg parasitoids for biological control programs, In CÔNSOLI F. L.; PARRA J. R. P.; ZUCCHI R. A. [eds.], Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma*. **Springer, Heidelberg**, London, New York, p. 267–292, 2010.

PARRA J. R. P.; ZUCCHI R. A. *Trichogramma* in Brazil: feasibility of use after twenty years of research. **Neotropical Entomology**, v. 33: 271–281, 2004.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: An overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420–429, 2014.

PARRA, J. R. P.; COELHO, A. Applied biological control in brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of insect science (Online)**, v. 19, n. 2, p. 1-6, 2019.

PEREIRA, F. F.; BARROS, R.; PRATISSOLI, D. Desempenho de *Trichogramma pretiosum* Riley e *T. exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) submetidos a diferentes densidades de ovos de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Ciência Rural**, v. 3, n. 6, p. 1669–1674, 2004.

PEREIRA, F. P.; REIGADA, C.; DINIZ, A. J. F.; PARRA, J. R. P. Potential of two Trichogrammatidae species for *Helicoverpa armigera* control. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 6, p. 966–973, 2019.

PIGNATI, W. A.; LIMA, A. N. S.; LARA, S. S.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. C.; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: Uma ferramenta para a vigilância em saúde. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281–3293, 2017.

PIZZOL, J.; DESNEUX, N.; WAJNBERG, E.; THIER, D. Parasitoid and host egg ages have independent impact on various biological traits in a *Trichogramma* species. **Journal of Pest Science**, v. 85; n. 4, p. 489–496, 2012.

PIZZOL, J.; PINTUREAU, B.; KHOUALDIA, O.; DESNEUX, N. Temperature-dependent differences in biological traits between two strains of *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Pest Science**, v. 83, n. 4, p. 447–452, 2010.

POLANCZYK, R. A.; PRATISSOLI, D.; HOLTZ, A. M.; PEREIRA, C. L. T.; FURTANO, I. S. de A. Efeito da idade de *Trichogramma exiguum* e do desenvolvimento embrionário da Traça-das-Crucíferas sobre as características biológicas do parasitóide. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 29, n. 2, p. 161–166, 2007.

PRATISSOLI, D.; NONATO DE OLIVEIRA, H. Influência da idade dos ovos de *Helicoverpa zea* (boddie) no parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 891–896, 1999.

PRATISSOLI, D.; OLIVEIRA, H. N. DE; VIEIRA, S. M. J.; OLIVEIRA, R. C.; ZAGO, H. B. Efeito da disponibilidade de alimento nas características biológicas de *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48; p.101-104, 2004.

QUEIROZ, A. P. de; COSTA, C. O.; FAVETTI, B. M.; SILVA, G. V.; BUENO, A. de F. Effects of parasitoid and host age on the parasitism of *Trichogramma pretiosum* on eggs of *Anticarsia gemmatalis*. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 2, p. 3–7, 2020.

QUEIROZ, A. P. de; FAVETTI, B. M.; GRANDE, M. L. M.; NEIVA, M. M.; PANIZZI, A. R.; BUENO, A. de F. Effect of the Ages of Parasitoid and Host Eggs on *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae) Parasitism. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 6, p. 974–982, 2019.

QUERINO, R. B.; ZUCCHI, R. A. Annotated checklist and illustrated key to the species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from South America. **Zootaxa**, v. 4656 (2), p. 201-231, 2019.

RORIZ, V.; OLIVEIRA, L.; GARCIA, P. Host suitability and preference studies of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biological Control**, v. 36, n. 3, p. 331–336, 2006.

SAMARA, R.; MONJE, J. C.; ZEBITZ, G. P. W.; QUBBAJ, T. Comparative biology and life tables of *Trichogramma aurosum* on *Cydia pomonella* at constant temperatures. **Phytoparasitica**, v. 39, n. 2, p. 109–119, 2011.

SCOTT, M.; BERRIGAN, D.; HOFFMANN, A. A. Costs and benefits of acclimation to elevated temperature in *Trichogramma carverae*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 85, n. 3, p. 211–219, 1997.

SGRÒ, C. M.; TERBLANCHE, J. S.; HOFFMANN, A. A. What can plasticity contribute to insect responses to climate change? **Annual Review of Entomology**, v. 61, n. 1, p. 433–451, 2016.

SHOEB, M. A.; EL-HENEIDY, A. H. Incidence of superparasitism in relation to some biological aspects of the egg parasitoid, *Trichogramma evanescens* west. (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 20, n. 1, p. 61–66, 2010.

SIDRA - IBGE. Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras Levantamento Sistemático da produção agrícola, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultadoa.js%22%3E%3C/script%3E>. Acessado em: 15/05/2020.

SMITH, S. M. Biological control with *Trichogramma*: advances, successes, and potential of their use. **Annual review of entomology**. Vol. 41, n. 49, p. 375–406, 1996.

SOARES, M. A.; LEITE, G. L. D.; ZANUNCIO, J. C.; MENDES DE SÁ, V. G.; FERREIRA, C. S.; ROCHA, S. L.; PIRES, E. M.; SERRÃO, J. E. Quality control of *Trichogramma atopovirilia* and *Trichogramma pretiosum* (Hym.: Trichogrammatidae) adults reared under laboratory conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 2, p. 305–311, 2012.

SOSA-GÓMEZ, D. R.; OMOTO, C. Resistência a inseticidas e outros agentes de controle em artrópodes associados à cultura da soja In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga. **Embrapa**, 2012. 859 p, p 673-723, 2012.

TAKAHASHI, T. A.; NISHIMURA, G. N.; QUERINO, R. B.; FOERSTER, L. A. An integrative taxonomy of a new species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera:

Trichogrammatidae) with high reproductive capacity. **Neotropical Entomology**. 2021 DOI. 10.1007/s13744-020-00834-2.

THOMSON, L. J.; ROBINSON, M.; HOFFMANN, A. A. Field and laboratory evidence for acclimation without costs in an egg parasitoid. **Functional Ecology**, v. 15, n. 2, p. 217–221, 2001.

TOGNI, P. H. B. VENZON, M.; LAGÔA, A. C. G.; SUJII, E. R. Brazilian legislation leaning towards fast registration of biological control agents to benefit organic agriculture. **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 2, p. 175–185, 2019.

VAN LENTEREN, J. C. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. **BioControl**, v. 57, n. 1, p. 1–20, 2012.

VAN LENTEREN, J. C.; BOLCKMANS, K.; KOHL, J.; RAVENSBERG, W. J.; URBANEJA, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39–59, 2017.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. **BioControl**, v. 48, n. 2, p. 123–139, 2003.

VÁSQUEZ, L. A.; SHELTON, A. M.; HOFFMANN, M. P.; ROUSH, R. T. Laboratory evaluation of commercial trichogrammatid products for potential use against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Biological Control**, v. 9, n. 2, p. 143–148, 1997.

VIANNA, U. R.; PRATISSOLI, D.; ALENCAR, J. R. C. C.; ZINGER, F. D. *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) species and strains for the control of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico (São Paulo)**, v. 78, n. 1, p. 81–87, 2011.

VOLKOFF, A. N.; DAUMAL, J. Ovarian cycle in immature and adult stages of *Trichogramma cacoeciae* and *T. brassicae* (Hym.: Trichogrammatidae). **Entomophaga**, V. 39, p. 303–312, 1994.

ZANG, L. S.; LIU, T. X. Food-deprived host-feeding parasitoids kill more pest insects. **Biocontrol Science and Technology**, v. 19, n. 6, p. 573–583, 2009.

ZUIM, V.; RODRIGUES, H. S.; PRATISSOLI, D.; TORRES, J. B. Thermal requirements and performance of the parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs under variable temperatures. **Environmental Entomology**, v. 46, n. 5, p. 1156–1164, 2017.