



DIEGO DE SOUZA

**MORFOMETRIA, ALOMETRIA E ASSIMETRIA
FLUTUANTE DO PARASITOIDE DE OVOS
Trichogramma pretiosum RILEY
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)
SOB INFLUÊNCIA DE INSETICIDAS**

LAVRAS – MG

2017

DIEGO DE SOUZA

**MORFOMETRIA, ALOMETRIA E ASSIMETRIA FLUTUANTE DO
PARASITOIDE DE OVOS *TRICHOGRAMMA PRETIOSUM* RILEY
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) SOB INFLUÊNCIA DE
INSETICIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Biologia e Ecologia de Insetos, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Lucas Del Bianco Faria

LAVRAS – MG

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Souza, Diego de .

Morfometria, alometria e assimetria flutuante do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* riley (hymenoptera: Trichogrammatidae) sob influência de inseticidas / Diego de Souza. - 2017.

51 p. : il.

Orientador(a): Lucas Del Bianco Faria.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Controle biológico. 2. Tamanho. 3. Fitness. I. Faria, Lucas Del Bianco. . II. Título.

DIEGO DE SOUZA

**MORFOMETRIA, ALOMETRIA E ASSIMETRIA FLUTUANTE DO
PARASITOIDE DE OVOS *Trichogramma pretiosum* RILEY
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) SOB APLICAÇÕES DE
INSETICIDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Biologia e Ecologia de Insetos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de abril de 2017.

Prof^ª. Dra. Tatiana Garabini Cornelissen UFSJ

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho UFLA

Prof. Dr. Lucas Del Bianco Faria

Orientador

LAVRAS – MG

2017

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Entomologia e ao Departamento de Biologia pela oportunidade concedida para realização do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Departamento de Entomologia e Departamento de Biologia da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao professor Dr. Lucas Del Bianco Faria pela orientação.

Em especial agradeço a Mariana Abreu Costa pela ajuda com o experimento e ao Ângelo Monteiro pela ajuda com as análises estatísticas.

A todos os amigos e familiares que de alguma forma contribuíram para essa conquista.

Muito obrigado!

RESUMO

O estudo morfométrico de parasitoides pode auxiliar no entendimento das relações existentes entre tamanho e componentes que determinam a qualidade quando esses organismos são produzidos em laboratório, além de inferir sobre a eficiência como controlador biológico. A interação entre tamanho dos insetos e componentes abióticos, por exemplo, inseticidas, também pode fornecer informações sobre as consequências do uso dessas substâncias. Este trabalho aborda morfometria, alometria e assimetria flutuante de parasitoides e o seu uso como ferramentas para avaliar componentes que determinam a qualidade desses organismos. Devido a relação existente entre tamanho e fitness de parasitoides, a morfometria se torna relevante para avaliar a qualidade e inferir sobre o potencial desses organismos como controladores biológicos.

Palavras-chave: Controle biológico. Tamanho. Fitness. Hymenoptera.

ABSTRACT

The morphometric study of parasitoids can help to understand the relationships between size and components that determine the quality when these organisms are produced in the laboratory, as well as to infer about efficiency as a biological controller. The interaction between insect size and abiotic components, eg insecticides, can also provide information on the consequences of the use of these substances. This work deals with morphometry, allometry and fluctuating asymmetry of parasitoids and the use as tools to evaluate components that determine the quality of these organisms. Due to the relationship between size and fitness of parasitoids, morphometry becomes relevant to evaluate the quality and infer about the potential of these organisms as biological controllers.

Keywords: Biological control. Size. Fitness. Hymenoptera.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Asa de <i>T. pretiosum</i> . As setas indicam as veias utilizadas para a medição do comprimento e largura da asa.....	31
Figura 2-	Distribuição de frequência para Comprimento da tíbia direita de fêmeas nos tratamentos controle (A), 1 (B) e 2 (C), e machos nos tratamentos controle (D), 1 (E) e 2 (F), respectivamente.....	35
Figura 3-	Distribuição de frequência para Comprimento da asa direita de fêmeas nos tratamentos controle (A), 1 (B) e 2 (C), e machos nos tratamentos controle (D), 1 (E) e 2 (F), respectivamente.	35
Figura 4-	Coeficientes alométricos e intervalos de confiança para alometria da tíbia de <i>T. pretiosum</i> em função do comprimento total.....	40
Figura 5-	Coeficientes alométricos e intervalos de confiança para alometria da asa de <i>T. pretiosum</i> em função do comprimento total.....	40
Figura 6-	Coeficientes alométricos e intervalos de confiança para alometria da asa de <i>T. pretiosum</i> em função do comprimento das tíbias.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Medidas morfológicas (mm) de fêmeas e machos do parasitoide <i>T. pretiosum</i>	36
Tabela 2-	Análise de variância para o efeito dos tratamentos no tamanho médio (mm) de cada variável para fêmeas e machos de <i>T. pretiosum</i>	37
Tabela 3-	Coefficientes alométricos e interceptos para análises alométricas de fêmeas e machos de <i>T. pretiosum</i>	39
Tabela 4-	Modelos Mistos Lineares ajustados por REML para tíbias de <i>T. pretiosum</i>	42
Tabela 5-	Modelos Mistos Lineares ajustados por REML para asas de <i>T. pretiosum</i>	43

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	10
1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3	CONCLUSÃO	18
	REFERÊNCIAS	19
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO	22
	ARTIGO 1 - MORFOMETRIA, ALOMETRIA E ASSIMETRIA FLUTUANTE DO PARASITOIDE DE OVOS Trichogramma pretiosum RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) SOB INFLUÊNCIA DE INSETICIDAS	23
1	INTRODUÇÃO	26
2	MATERIAL E MÉTODOS	29
2.1	Obtenção dos insetos	29
2.2	Mensurações	30
2.3	Análises dos dados	31
2.3.1	Morfometria	31
2.3.2	Alometria	32
2.3.3	Assimetria flutuante	33
3	RESULTADOS	34
3.1	Morfometria	34
3.2	Alometria	38
3.3	Assimetria flutuante	41
4	DISCUSSÃO	44
4.1	Morfometria	44
4.2	Alometria	45
4.3	Assimetria flutuante	46
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O estudo das relações morfométricas em parasitoides tem sido utilizado para avaliar a relação entre fitness e tamanho, sendo que muitos estudos mostram que os maiores parasitoides são os que possuem o maior fitness (BENNETT; HOFFMANN, 1998; KAZMER; LUCK, 1995; KOLLIKER-OTT; BLOWS; HOFFMANN, 2003; VISSER, 1994; WEST; FLANAGAN; GODFRAY, 1996). O fitness pode ser definido como a capacidade que um indivíduo tem de deixar descendentes e quanto maior o número de descendentes produzidos por um indivíduo maior será o seu fitness (ROITBERG; BOIVIN; VET, 2001). Do ponto de vista do controle biológico, insetos com maior fitness e, maiores tamanhos seriam os mais eficientes para uso no controle biológico. Assim, a avaliação do tamanho de parasitoides pode fornecer informações importantes sobre parasitoides e o seu potencial como controlador biológico.

No manejo integrado de pragas (MIP), controle químico e controle biológico muitas vezes são utilizados em conjunto para controlar insetos-praga com maior eficiência. Sendo assim, é relevante avaliar a interação entre inseticidas e parasitoides, visto que os parasitoides liberados para o controle de pragas podem entrar em contato com inseticidas. A seletividade de inseticidas a inimigos naturais já foi avaliada em vários trabalhos (BUENO et al., 2008; CARVALHO; PARRA; BAPTISTA, 2001; SOUZA et al., 2014). Entretanto, não se sabe o efeito desses produtos em características morfométricas de parasitoides, ou seja, sobre o tamanho de partes morfológicas.

Alometria e assimetria flutuantes são avaliações que envolvem relações métricas e podem ser utilizadas para avaliar morfometricamente parasitoides produzidos em laboratório para utilização no controle biológico. Com a alometria é possível avaliar a variação de tamanho entre apêndices locomotores

e o tamanho do inseto, ou entre apêndices locomotores, como asas e tíbias (STERN; EMLLEN, 1999). Já a assimetria flutuante é uma ferramenta para avaliar se existe variação na simetria bilateral desses organismos, e também é possível inferir sobre instabilidades no desenvolvimento (GRAHAM et al., 2010).

Portanto, devido à relação existente entre tamanho de partes corpóreas de insetos e a eficiência (fitness) na busca por hospedeiros, este trabalho buscou avaliar morfometricamente um parasitoide de ovos com e sem a influência de inseticidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As relações morfométricas envolvendo parasitoides têm sido consideradas como indicador da sua qualidade e informações sobre relações de tamanho e simetria nesses organismos são importantes para o controle biológico de insetos-praga (BENNETT; HOFFMANN, 1998). O tamanho é correlacionado com parâmetros de história de vida, como número de ovos no ovário, tamanho de ovos, fecundidade, capacidade de busca de fêmeas, longevidade de machos e fêmeas, longevidade reprodutiva, emergência de progênie, viabilidade de ovos, peso de pupas e larvas (BERRIGAN, 1991; KAZMER; LUCK, 1995; SAGARRA; VINCENT; STEWART, 2001), destacando-se assim a importância da avaliação do tamanho desses indivíduos.

Além dessa relação com parâmetros de história de vida há também relação com o desempenho de inimigos naturais em campo. Existe diferença significativa no tamanho médio de fêmeas de *Aphaereta minuta* (Hymenoptera: Braconidae) emergindo de *Drosophila hydei* (Diptera: Drosophilidae) e ovipositando em seu hospedeiro, mostrando que o sucesso reprodutivo aumenta linearmente com o tamanho da fêmea (VISSER, 1994). Nos parasitoides *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), o sucesso na localização de hospedeiros aumenta com o tamanho em fêmeas pequenas, mas se mantém constante em grandes parasitoides (KAZMER; LUCK, 1995). O fitness do parasitoide *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae) aumenta com o tamanho de fêmeas pequenas, mas mantém constante e até mesmo diminui em fêmeas muito grandes, e fêmeas que emergem de *Phyllonorycter salicicolella* (Lepidoptera: Gracillariidae) são menores que fêmeas encontradas buscando hospedeiros em árvores do gênero *Salix* (WEST; FLANAGAN; GODFRAY, 1996). Para espécies do gênero *Trichogramma* o fitness está fortemente relacionado com o tamanho e forma das asas, indicando

que parasitoides com as maiores asas possuem o maior fitness (KOLLIKER-OTT; BLOWS; HOFFMANN, 2003).

Outro fator morfométrico importante é a simetria entre os apêndices locomotores de organismos com simetria bilateral. Fêmeas de *Trichogramma carverae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) que localizam ovos de *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) em vinhedos exibem um baixo grau de assimetria no comprimento das asas anteriores (BENNETT; HOFFMANN, 1998). Estes autores concluem que assimetria no comprimento da asa influencia a capacidade de voo dos insetos e isso contribui diretamente com a habilidade de parasitoides em encontrar seus hospedeiros, fazendo com que parasitoides com baixa assimetria no comprimento das asas sejam mais prováveis de serem coletados nos locais de oviposição.

Com isso, características relacionadas ao desempenho de parasitoides estão positivamente correlacionadas com seu tamanho, assim a morfometria se torna relevante, visto que inúmeros trabalhos vêm relacionando características morfológicas de inimigos naturais com características que são importantes para o controle biológico. Esses estudos ressaltam a relação do tamanho e simetria de apêndices locomotores do *Trichogramma* com seu desempenho em campo, mostrando que os maiores e mais simétricos indivíduos são os que realmente conseguem chegar aos seus hospedeiros, o que significa que insetos com essas características são os que realmente realizam a função de controlador biológico quando liberados em campo (BENNETT; HOFFMANN, 1998; CLARKE; MCKENZIE, 1992; KAZMER; LUCK, 1995; KOLLIKER-OTT; BLOWS; HOFFMANN, 2003; SAGARRA; VINCENT; STEWART, 2001; VISSER, 1994; WEST; FLANAGAN; GODFRAY, 1996).

Sendo o tamanho uma característica que determina componentes de qualidade dos insetos destinados ao controle biológico, técnicas quantitativas relacionadas ao tamanho são de grande interesse. A alometria pode ser uma

ferramenta para avaliar o tamanho de parasitoides e identificar possíveis variações com relação ao crescimento dos indivíduos e seus órgãos. O termo alometria refere-se à relação entre o tamanho de uma estrutura em resposta a mudanças no tamanho total do indivíduo, ou de outra estrutura estudada (SHINGLETON; MIRTH; BATES, 2008). Pode ser definida de três formas: alometria ontogenética, evolutiva e estática. Alometria ontogenética faz relação entre o desenvolvimento de um órgão e o tamanho do corpo durante o crescimento de um indivíduo; alometria evolutiva faz relações de tamanho entre espécies; e alometria estática, que será avaliada neste trabalho, faz relação entre o tamanho de um órgão e o tamanho total, ou relação de tamanho entre dois órgãos, de indivíduos da mesma espécie após o término do crescimento ou em um único estágio de desenvolvimento (STERN; EMLLEN, 1999).

Outra ferramenta que leva em consideração relações morfométricas é a assimetria flutuante, a qual se refere a pequenas diferenças em medidas feitas em ambos os lados de um organismo simetricamente bilateral, e se assume que reflete o grau de instabilidade no desenvolvimento diante de distúrbios ambientais e/ou genéticos. Instabilidade no desenvolvimento resulta quando estresses afetam a capacidade que os organismos têm de suportar perturbações (GRAHAM et al., 2010), e assimetria flutuante pode ser um bom indicador da qualidade dos insetos produzidos em programas de criação massal (CLARKE; MCKENZIE, 1992). Tais perturbações podem ter caráter antrópico; por exemplo, a utilização de inseticidas (GRAHAM et al., 2010), o que torna relevante o estudo das interações desses produtos e características morfométricas de insetos.

No manejo integrado de pragas (MIP) vários métodos são utilizados em conjunto para manter a população de insetos-praga abaixo do nível de dano econômico. Dentre os métodos utilizados atualmente, inseticidas e produtos biológicos estão em crescente utilização e estudos são realizados para avaliar o

efeito de inseticidas sobre inimigos naturais (BUENO et al., 2008; CARVALHO; PARRA; BAPTISTA, 2001; SOUZA et al., 2014). *Trichogramma pretiosum* tem grande importância para o controle biológico e é criado em laboratório em grandes quantidades para posterior liberação em campo para o controle das principais pragas da ordem Lepidoptera. Em muitos casos a liberação de *T. pretiosum* é feita em locais onde se aplicam inseticidas reguladores de crescimento e os insetos liberados ficam sujeitos a entrar em contato com tais inseticidas, pois estes são aplicados logo quando é detectada a presença dos insetos-praga nos campos, coincidindo com a liberação de *T. pretiosum*. Inseticidas pertencentes ao grupo químico das benzoilureias são reguladores de crescimento e inibem a biossíntese de quitina, interferindo diretamente no processo de metamorfose do inseto atuando na formação da nova cutícula, inibindo a formação da quitina nas fases jovens. Com isso, controlam os insetos-praga nos primeiros estádios de desenvolvimento.

Teflubenzuron e lufenuron são dois inseticidas pertencentes ao grupo químico das benzoilureias e já tiveram sua seletividade ao *T. pretiosum* avaliada, sendo classificados como pouco tóxicos (BUENO et al., 2008; CARVALHO; PARRA; BAPTISTA, 2001). Nestes estudos, a emergência de parasitoides submetidos a diferentes produtos fitossanitários em diferentes idades de desenvolvimento foi avaliada e não foram observadas diferenças significativas na emergência quando as fases de ovo-larva, pré-pupa e pupa foram tratadas com teflubenzuron (CARVALHO; PARRA; BAPTISTA, 2001), e quando Bueno et al. (2008) avaliaram o efeito de alguns produtos fitossanitários sobre *T. pretiosum*, classificaram teflubenzuron e lufenuron como inofensivos ou ligeiramente prejudiciais. Entretanto, não se sabe o efeito dos inseticidas sobre características morfométricas de *T. pretiosum*, como seu comprimento total, asas e tíbias.

Assim, devido ao fato de que inseticidas podem causar instabilidades no desenvolvimento, a utilização conjunta de inseticidas e inimigos naturais para controle de pragas, e a falta de informações com relação à interação de inseticidas e características morfométricas de parasitoides, avaliar a morfometria, alometria e assimetria flutuante de parasitoides e avaliar se inseticidas podem afetar características morfométricas se torna relevante.

3 CONCLUSÃO

Com isso, justifica-se a análise morfométrica de parasitoides, pois esta pode contribuir para programas de controle biológico fornecendo informações sobre o desenvolvimento dos insetos e relações entre o tamanho de partes morfológicas, sendo tais informações importantes para o controle biológico. A morfometria também pode fornecer informações sobre a interação entre inseticidas e parasitoides, o que contribui para a melhor utilização desses produtos, buscando sempre praticar uma agricultura economicamente viável, socialmente justa e ecologicamente correta.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. [S.l.]Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 jan 2016.
- BENNETT, D. M.; HOFFMANN, A. A. Effects of size and fluctuating asymmetry on field fitness of the parasitoid *Trichogramma carverae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 67, p. 580-591, 1998.
- BERRIGAN, D. The allometry of egg size and number in insects. **Oikos**, [S.l.], v. 60, p. 313-321, Nov. 1991.
- BUENO, A. F. et al. Effects of pesticides used in soybean crops to the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1495-1503, set. 2008.
- CARVALHO, G. A.; PARRA, J. R.; BAPTISTA, G. C. Seletividade de alguns produtos fitossanitários a duas linhagens de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 583-591, 2001.
- CLARKE, G. M.; MCKENZIE, L. J. Fluctuating asymmetry as a quality control indicator for insect mass rearing processes. **Entomological Society of America**, [S.l.], v. 85, n. 6, p. 2045-2050, 1992.
- ELLERS, J.; VAN ALPHEN, J. J.; SEVENSTER, J. G. A field study of size-fitness relationships in the parasitoid *Asobara tabida*. **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 67, p. 318-324, 1998.
- GRAHAM, J. H. et al. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. **Symmetry**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 466-540, 2010.
- HASSAN, S. A. Activities of the IOBC/WPRS working group “pesticides and beneficial organisms”. **Entomophaga**, [S.l.], v. 39, p. 107-119. 1994.
- HEWA-KAPUGE, S.; HOFFMANN, A. A. Composite asymmetry as an indicator of quality in the beneficial wasp *Trichogramma nr. brassicae*

(Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Entomological Society of America**, [S.l.], v. 94, n. 4, p. 826-30, Mar. 2001.

KAZMER, D. J.; LUCK, R. F. Field test of the size-fitness hypothesis in the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ecological Society of America**, [S.l.], v. 76, n. 2, p. 412-425, Mar. 1995.

KOLLIKER-OTT, U. M.; BLOWS, M. W.; HOFFMANN, A. A. Are wing size, wing shape and asymmetry related to field fitness of *Trichogramma* egg parasitoids? **Oikos**, [S.l.], v. 100, n. 3, p. 563-573, Mar. 2003.

PARRA, J. R.; ZUCCHI, R. A. *Trichogramma* in Brasil: feasibility of use after twenty years of research. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 3, maio/jun. 2004.

ROITBERG, B. D.; BOIVIN, G.; VET, L. E. Fitness, parasitoids, and biological control: an opinion. **The Canadian Entomologist**, [S.l.], v. 133, n. 3, p. 429-438, June 2001.

SAGARRA, L. A.; VINCENT, C.; STEWART, R. K. Body size as an indicator of parasitoid quality in male and female *Anagyrus kamali* (Hymenoptera: Encyrtidae). **Bulletin of Entomological Research**, [S.l.], v. 91, n. 5, p. 363-368, Nov. 2001.

SHINGLETON, A. W.; MIRTH, C. K.; BATES, P. W. Developmental model of static allometry in holometabolous insects. **The Royal Society**, [S.l.], n. 275, p. 1875-1885, 2008.

SOUZA, J. R. et al. Toxicity of some insecticides used in maize crop on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) immature stages. **Chilean Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 73, p. 122-127, 2014.

STEIN, C. P.; PARRA, J. R. Uso da radiação ultravioleta para inviabilizar ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) visando estudos com *Trichogramma* spp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 229-233, 1987.

STERN, D. L.; EMLLEN, D. J. **The developmental basis for allometry in insects**. The Company of Biologists Limited, [S.l.], v. 126, p. 1091-1101, 1999.

VAN DONGEN, S.; MOLENBERGHS, G.; MATTHYSEN, E. The statistical analysis of fluctuating asymmetry: REML estimation of a mixed regression model. **Journal of Evolutionary Biology**, [S.l.], v. 12, p. 94-102, 1999.

VISSER, M. The importance of being large: the relationship between size and fitness in females of the parasitoid *Aphaereta minuta* (Hymenoptera: Braconidae). **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 41, p. 214-227, 1994.

WEST, S. A.; FLANAGAN, K. E.; GODFRAY, H. C. The relationship between parasitoid size and fitness in the field, a study of *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae). **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 65, p. 631-639, 1996.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

ARTIGO 1

**MORFOMETRIA, ALOMETRIA E ASSIMETRIA FLUTUANTE DO
PARASITOIDE DE OVOS *Trichogramma pretiosum* RILEY
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE) SOB INFLUÊNCIA DE
INSETICIDAS**

RESUMO

A análise morfométrica de parasitoides pode contribuir para programas de controle biológico fornecendo informações sobre o desenvolvimento dos insetos e relações entre o tamanho de caracteres morfológicos. Além disso, pode inferir sobre o impacto de inseticidas em características morfométricas. Neste trabalho, avaliou-se a morfometria, alometria e assimetria flutuante do parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) com e sem a influência dos inseticidas reguladores de crescimento teflubenzuron e lufenuron. Observou-se que *T. pretiosum* é um inseto simétrico e muito próximo da isometria, mas não foi possível avaliar assimetria flutuante. *Trichogramma pretiosum* foi afetado pelos inseticidas utilizados, onde suas asas e tíbias ficaram significativamente maiores nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas. Este trabalho ressalta a importância da avaliação do tamanho de parasitoides destinados ao controle biológico e traz informações sobre a interação de inseticidas e características morfométricas de *T. pretiosum*.

Palavras-chave: Controle biológico. Tamanho. Fitness. Hymenoptera.

ABSTRACT

The morphometric analysis of parasitoids may contribute to biological control programs by providing information on insect development and relationships between the size of morphological traits. In addition, it can infer about the impact of insecticides on morphometric characteristics. In this work, we evaluated the morphometry, allometry and fluctuating asymmetry of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) with and without the influence of growth regulating insecticides teflubenzuron and lufenuron. We observed that *T. pretiosum* is a symmetric insect and very close to isometry, but it was not possible to evaluate fluctuating asymmetry. *Trichogramma pretiosum* was affected by the insecticides used, where its wings and tibiae were significantly larger in the treatments where insecticides were applied. This work underscores the importance of the evaluation of the size of parasitoids destined to biological control and provides information about the interaction of insecticides and morphometric traits of *T. pretiosum*.

Key words: Biological control. Size. Fitness. Hymenoptera.

1 INTRODUÇÃO

Trichogramma spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) são parasitoides de ovos das principais pragas da ordem Lepidoptera, como, *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae), *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), que atacam as culturas algodão, cana-de-açúcar, grãos armazenados, hortaliças, milho, soja e tomate (PARRA e ZUCCHI, 2004). Tem grande importância para o manejo integrado de pragas e é criado comercialmente em laboratório em grandes quantidades para posterior liberação em campo como agente de controle biológico.

Características relacionadas ao desempenho de parasitoides estão positivamente correlacionadas ao seu tamanho. Estudos ressaltam a relação do tamanho e simetria de apêndices locomotores do *Trichogramma* com sua capacidade de localizar hospedeiros em campo, mostrando que os indivíduos maiores e mais simétricos são os que realmente conseguem chegar aos seus hospedeiros. Assim, insetos com essas características são os que realmente realizam a função de controladores biológicos (CLARKE e McKenzie, 1992; VISSER, 1994; KAZMER e LUCK, 1995; WEST, FLANAGAN e GODFRAY, 1996; BENNETT e HOFFMANN, 1998; SAGARRA, VINCENT e STEWART, 2001; KOLLIKER-OTT, BLOWS e HOFFMANN, 2003).

De maneira geral, existem vários aspectos morfométricos envolvendo parasitoides e diversos autores utilizam medidas de diferentes partes morfológicas para estimar o tamanho desses indivíduos, como medidas da largura da cabeça, medidas das asas e, principalmente, medidas da tíbia posterior. Esta utilizada de forma generalizada entre os trabalhos e assumida como representante do tamanho de parasitoides. Para espécies do gênero *Trichogramma*, o tamanho vem apresentando correlações positivas para

indicadores de sua qualidade, como longevidade, fecundidade, localização de hospedeiros, entre outros (VISSER, 1994; KAZMER E LUCK, 1995; WEST, FLANAGAN e GODFRAY, 1996; BENNETT e HOFFMANN, 1998; HEWA-KAPUGE e HOFFMANN, 2001; SAGARRA, VINCENT e STEWART, 2001; KOLLIKER-OTT, BLOWS e HOFFMANN, 2003).

Sendo o tamanho uma característica importante para determinar componentes de qualidade de parasitoides, ferramentas que avaliem morfometricamente esses indivíduos são de grande importância. Alometria pode ser uma ferramenta para avaliar o tamanho de parasitoides e identificar possíveis variações com relação ao crescimento dos indivíduos e seus órgãos. O termo alometria refere-se à relação entre o tamanho de uma estrutura em resposta a mudanças no tamanho total do indivíduo, ou de outra estrutura estudada (SHINGLETON, MIRTH e BATES, 2008). Assimetria flutuante também pode fornecer informações sobre as relações de tamanho, pois, refere-se à diferença absoluta em medidas feitas em ambos os lados de um organismo simetricamente bilateral, e assume-se que reflete o grau de instabilidade no desenvolvimento diante de distúrbios ambientais (GRAHAM et al., 2010).

Neste trabalho, foi utilizado o parasitoide de ovos *Trichogramma pretiosum*, que tem grande importância para o controle biológico. Este parasitoide é criado em laboratório para posterior liberação em campo para o controle das principais pragas da ordem Lepidoptera e, segundo a IOBC (International Organisation for Biological and Integrated Control), para que desempenhe bem suas funções como controlador biológico, deve atender alguns requisitos de qualidade como razão sexual, fecundidade, longevidade, tamanho do adulto e atividade de voo, os quais muitas vezes podem ser relacionados ao tamanho dos insetos (KAZMER e LUCK, 1995). Em muitos casos a liberação de *T. pretiosum* é feita em locais onde se aplicam inseticidas reguladores de crescimento e os insetos liberados ficam sujeitos ao contato com esses produtos,

pois estes são aplicados logo quando é detectada a presença dos insetos-praga nos campos, coincidindo com a liberação de *T. pretiosum*. Com isso, o estudo das interações entre esses produtos e características morfométricas de insetos é essencial para o entendimento de sua eficácia como agente de controle biológico.

Para avaliar esse tipo de interação foram utilizados teflubenzuron e lufenuron aplicados em ovos de *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) parasitados por *T. pretiosum*. Esses inseticidas pertencem ao grupo químico das benzilureias, os quais são inibidores da biossíntese de quitina e interferem diretamente no processo de metamorfose do inseto, atuando na formação da nova cutícula, inibindo a formação da quitina nas fases jovens. Com isso, controlam os insetos-praga nos primeiros estádios de desenvolvimento. A seletividade desses inseticidas ao *T. pretiosum* já foi avaliada e foram classificados como pouco tóxicos (CARVALHO, PARRA e BAPTISTA, 2001; BUENO, BUENO, PARRA e VIEIRA, 2008). Entretanto, não se sabe o efeito dos inseticidas sobre características morfométricas de *T. pretiosum*, como seu comprimento total, asas e tíbias.

Portanto, a análise morfométrica de parasitoides pode contribuir para programas de controle biológico, fornecendo informações sobre o desenvolvimento dos insetos e relações entre o tamanho de caracteres morfológicos, sendo tais informações importantes para o controle de qualidade na produção de parasitoides. Com isso, neste trabalho nós avaliamos a morfometria, alometria e assimetria flutuante do parasitoide de ovos *T. pretiosum* com e sem a influência dos inseticidas teflubenzuron e lufenuron, com o objetivo de entender as relações métricas envolvendo tíbias e asas desse inseto, e avaliar se os inseticidas podem influenciar essas relações.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos insetos

Os bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Ecotoxicologia do Departamento de Entomologia e no laboratório de Ecologia e Complexidade do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, no período de maio a outubro de 2016.

Os parasitoides utilizados no bioensaio foram obtidos de criação em laboratório, mantida em câmara climatizada regulada a temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa $70 \pm 10\%$ e fotofase 12 h. Os insetos foram criados em ovos de *E. kuehniella*, conforme metodologia descrita por Stein e Parra (1987), e os adultos alimentados com mel.

Foram testadas duas formulações comerciais, nas dosagens máximas recomendadas para o controle de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelichiidae) na cultura do tomateiro: teflubenzuron (0,250 mL/L; Nomolt®; benzoilureia) e lufenuron (0,80 mL/L; Match® EC; benzoilureia) (AGROFIT, 2016), aplicados nos tratamentos 1 e 2, respectivamente. Esses inseticidas foram escolhidos, pois ambos são pouco tóxicos ao *T. pretiosum* e podem ser recomendados para o uso complementar às liberações em campo (CARVALHO, PARRA e BAPTISTA, 2001; BUENO, BUENO, PARRA e VIEIRA, 2008). Como testemunha negativa (tratamento controle) foi utilizada somente água destilada.

Para a realização do bioensaio procedeu-se à individualização de 30 fêmeas em tubos de vidro (8,5 cm de altura x 2,5 cm de diâmetro) por tratamento, sendo alimentadas com gotículas de mel depositadas nas paredes internas dos tubos, os quais foram fechados com filme de cloreto de polivinila (PVC) laminado. Ovos de *E. kuehniella* foram aderidos por meio de goma arábica diluída em água (50%) às extremidades de cartelas de cartolina azul (3,0

x 0,5 cm), contendo, em média 125 ovos. Esses ovos foram inviabilizados (câmara UV) e ofertados às fêmeas do parasitoide por um período de 48 horas.

Após o período de parasitismo, as cartelas contendo ovos supostamente parasitados foram pulverizadas via torre de Potter regulada à pressão de 15 lb/pol², com um volume de aplicação de $1,5 \pm 0,5 \mu\text{L}/\text{cm}^2$, conforme recomendações da IOBC (HASSAN, 1994).

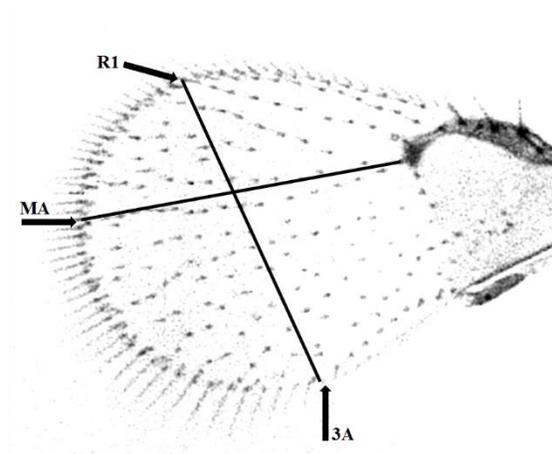
Posteriormente, as cartelas foram mantidas em câmaras climatizadas como já descrito acima até a emergência dos parasitoides. Os adultos obtidos foram coletados e armazenados em álcool 70% para posterior triagem e medições.

2.2 Mensurações

Os espécimes de *T. pretiosum* que emergiram das cartelas foram montados em posição dorso-ventral em lâminas para microscopia e mantidos no lugar utilizando lamínulas. As lâminas foram fotografadas utilizando um microscópio estereoscópio Leica M205A acoplado a uma câmera Leica DFC295. Posteriormente, as fotografias foram mensuradas utilizando software Leica Application suite V3.7. As estruturas mensuradas foram: comprimento total (tórax + abdome) (SAGARRA, VICENT e STEWART, 2001), comprimento e largura das asas anteriores, medidos do início ao final da veia MA e do final da veia R1 até o final da veia 3A, respectivamente,(

Figura 1) (BENNETT e HOFFMANN. 1998) e, comprimento da tíbia posterior, medido da junção do fêmur com a tíbia até a junção da tíbia com o tarso. Todas as medidas foram realizadas com aumento de 100X e asas e tíbias foram medidas três vezes do lado direito e esquerdo.

Figura 1- Asa de *T. pretiosum*. As setas indicam as veias utilizadas para a medição do comprimento e largura da asa.



Fonte: Do autor.

2.3 Análises dos dados

2.3.1 Morfometria

Para avaliar o tamanho das partes mensuradas e caracterizar morfometricamente *T. pretiosum*, primeiramente correlações foram realizadas para analisar se era possível reduzir o número de variáveis utilizadas para avaliar tamanho. Com isso, as variáveis comprimento da asa esquerda (CAE), largura da asa esquerda (LAE), comprimento da asa direita (CAD), largura da asa direita (LAD), comprimento da tibia esquerda (CTE) e comprimento da tibia direita (CTD) foram correlacionadas entre si.

Para avaliar se fêmeas e machos são diferentes quanto ao tamanho das estruturas mensuradas foram realizados testes Wilcoxon para diferenças de médias para cada variável em cada tratamento. Para avaliar se as aplicações de

inseticidas afetaram a morfometria do *T. pretiosum* uma ANOVA foi realizada utilizando como variáveis respostas o comprimento total (CT), comprimento da asa direita e comprimento da tibia direita, e como variáveis explicativas os tratamentos e sexos. O resultado dessas análises nos permitiram inferir se o uso de inseticidas pode afetar o tamanho médio de insetos de uma população.

Histogramas também foram analisados para avaliar se os inseticidas utilizados afetaram o tamanho das partes morfológicas de *T. pretiosum* e qual faixa de tamanho foi mais afetada.

2.3.2 Alometria

Com o intuito de compreender as relações métricas em *T. pretiosum* e a variação do seu tamanho, foram criados modelos lineares que demonstrem as relações alométricas desse inseto. Foram criadas relações alométricas do comprimento das tibiás em função do comprimento total, do comprimento das asas em função do comprimento total e do comprimento das asas em função do comprimento das tibiás. Deste modo, é possível analisar como os apêndices locomotores do *T. pretiosum* variam com o tamanho do inseto. Essas variáveis foram escolhidas, pois podem ser utilizadas para estimar o tamanho de parasitoides, como no caso do comprimento da tibia direita (SAGARRA, VICENT e STEWART, 2001), e também são importantes para determinar componentes de qualidade do *T. pretiosum* como, por exemplo, o comprimento da asa direita que pode inferir sobre a capacidade de voo desses insetos (KOLLIKER-OTT, BLOWS e HOFFMANN, 2003). Com a alometria são encontrados os parâmetros que descrevem o crescimento dos indivíduos. Os parâmetros a e b são o coeficiente alométrico e intercepto, respectivamente. O a indica como o tamanho de uma estrutura varia com o tamanho total do indivíduo

ou com o tamanho de outra estrutura, e b indica diferença na proporção de tamanho da estrutura avaliada.

2.3.3 Assimetria flutuante

Para analisar a ocorrência de assimetria flutuante foram utilizadas as variáveis comprimento das asas e comprimento das tíbias, direitas e esquerdas, e realizamos a análise REML (Mixed regression model with restricted maximum likelihood) proposta por Van Dongen, Molenberghs, e Matthysen (1999), a qual testa significativamente a assimetria flutuante, modela e testa a heterogeneidade tanto da assimetria flutuante quanto do erro de mensuração entre amostras, e obtém estimativas individuais não tendenciosas para os níveis de assimetria flutuante. Nesta análise, a variância no intercepto aleatório estima a variação de uma característica individual (erro de mensuração), e o efeito aleatório de lado modela assimetria flutuante. Para avaliar se houve significância na estimativa da assimetria flutuante e testar se ela difere de zero, foram realizados testes LR (Likelihood-ratio test). Para avaliar a assimetria em função do tamanho de *T. pretiosum*, adicionamos a variável comprimento total (CT) à análise REML, com isso foi possível avaliar se existe interação entre assimetria flutuante nas tíbias e asas e o tamanho do inseto.

3 RESULTADOS

3.1 Morfometria

As variáveis comprimento da asa esquerda (CAE) e largura da asa esquerda (LAE) apresentaram correlação de 0,95 ($p < 0,001$); comprimento da asa direita (CAD) e largura da asa direita (LAD) correlação de 0,95 ($p < 0,001$); comprimento da asa esquerda (CAE) e comprimento da asa direita (CAD) correlação de 0,98 ($p < 0,001$); e comprimento da tíbia esquerda (CTE) e comprimento da tíbia direita (CTD) correlação de 0,99 ($p < 0,001$). Deste modo, somente comprimento total, comprimento da asa direita e comprimento da tíbia direita foram utilizados para as análises morfométricas.

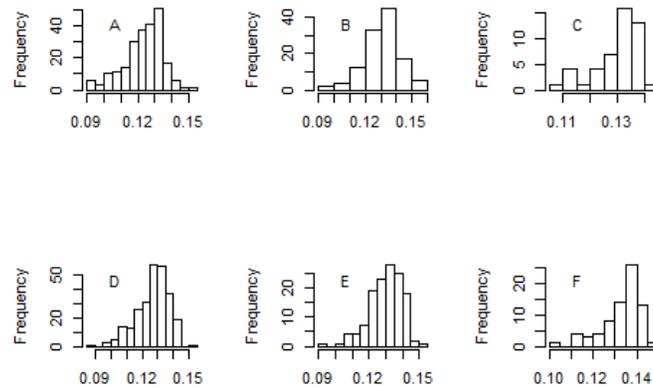
Trichogramma pretiosum apresentou comprimento total variando de 0,191 a 0,374 mm, comprimento da asa direita 0,131 a 0,217 mm e comprimento da tíbia direita de 0,087 a 0,154 mm. Nas figuras Figura 2 e

Figura 3 pode-se observar que nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas há maior proporção de insetos maiores. Além disso, o número de indivíduos foi reduzido nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas (251 e 121 para tratamentos 1 e 2, respectivamente) quando comparado ao tratamento controle (491).

Fêmeas apresentaram comprimento total maior que dos machos em todos os tratamentos, entretanto, foram menores quanto aos apêndices locomotores (Tabela 1). Com relação ao efeito dos tratamentos no tamanho das partes mensuradas, fêmeas e machos no tratamento controle apresentaram menores comprimentos de asas e tíbias, diferindo estatisticamente dos tratamentos onde foram aplicados inseticidas; entretanto, não houve diferença significativa para o comprimento total (

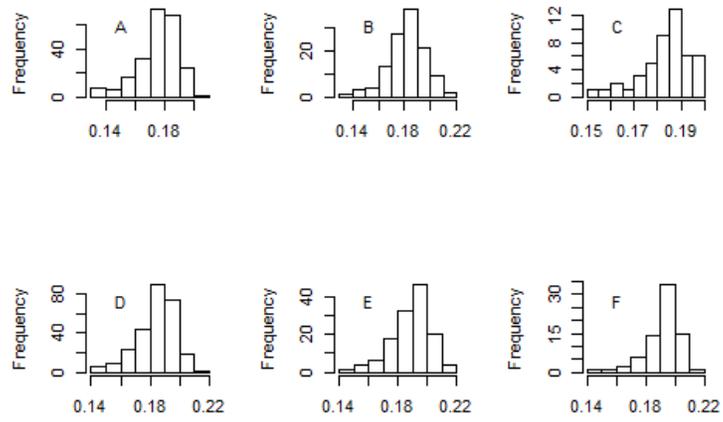
Tabela 2). Com isso, nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas, fêmeas e machos apresentaram as maiores médias para asas e tíbias, além disso, apresentaram maiores medidas mínimas para comprimento total, das asas e tíbias quando comparado ao tratamento controle (Tabela 1).

Figura 2 - Distribuição de frequência para Comprimento da tibia direita de fêmeas nos tratamentos controle (A), 1 (B) e 2 (C), e machos nos tratamentos controle (D), 1 (E) e 2 (F), respectivamente.



Fonte: Do autor.

Figura 3- Distribuição de frequência para Comprimento da asa direita de fêmeas nos tratamentos controle (A), 1 (B) e 2 (C), e machos nos tratamentos controle (D), 1 (E) e 2 (F), respectivamente.



Fonte: Do autor.

Tabela 1 - Medidas morfológicas (mm) de fêmeas e machos do parasitoide *T. pretiosum*

Tratamento	Fêmeas			Machos			p
	Mínima	Média	n	Mínima	Média	n	
Controle							
Comprimento total	0,191	0,293 ^a	228	0,199	0,265 ^b	263	<0,001*
Comprimento da asa	0,131	0,176 ^a	228	0,140	0,185 ^b	263	<0,001*
Comprimento da tíbia	0,090	0,124 ^a	228	0,087	0,127 ^b	263	<0,001*
1							
Comprimento total	0,231	0,300 ^a	118	0,215	0,274 ^b	133	<0,001*
Comprimento da asa	0,137	0,183 ^a	118	0,146	0,190 ^b	133	<0,001*
Comprimento da tíbia	0,095	0,131 ^a	118	0,092	0,131 ^a	133	0,7169
2							
Comprimento total	0,251	0,301 ^a	47	0,222	0,273 ^b	74	<0,001*
Comprimento da asa	0,154	0,184 ^a	47	0,144	0,193 ^b	74	<0,001*
Comprimento da tíbia	0,108	0,131 ^a	47	0,102	0,134 ^b	74	0,005697*

Valores p são de teste Wilcoxon para diferenças de médias entre os sexos. Médias na mesma linha seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si.

Fonte: Do autor.

Tabela 2 - Análise de variância para o efeito dos tratamentos no tamanho médio (mm) de cada variável para fêmeas e machos de *T. pretiosum*.

Variável	Sexo	Tratamento		
		Controle	1	2
Comprimento total	Fêmea	0,293 ^a	0,300 ^a	0,301 ^a
	Macho	0,265 ^a	0,274 ^b	0,273 ^{ab}
Comprimento da asa	Fêmea	0,176 ^a	0,183 ^b	0,184 ^b
	Macho	0,185 ^a	0,190 ^b	0,193 ^b
Comprimento da tibia	Fêmea	0,124 ^a	0,131 ^b	0,131 ^b
	Macho	0,127 ^a	0,131 ^b	0,134 ^b

Médias na mesma linha seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si.

Fonte: Do autor.

3.2 Alometria

Trichogramma pretiosum é um inseto muito próximo da isometria, ou seja, comprimento total das asas e tíbias aumentam em tamanho quase sempre na mesma proporção (

Tabela 3). Na

Figura 4 observa-se a alometria da tibia em função do comprimento total. Observamos que tanto fêmeas quanto machos apresentaram isometria. Na

Figura 5 observa-se a alometria das asas em função do comprimento total. Observamos que tanto fêmeas quanto machos no tratamento controle apresentaram alometria negativa, indicando que asas aumentam em tamanho em menor proporção que o comprimento total, e o mesmo ocorre para machos no tratamento 1 e fêmeas no tratamento 2. Na Figura 6 observa-se alometria da asa em função da tibia. Observamos alometria negativa para fêmeas e machos nos tratamentos controle 1, indicando que asas aumentam em tamanho em menor proporção que o comprimento das tibiás. Os insetos no tratamento 2 apresentaram isometria. Com isso, aparentemente, o tamanho dos apêndices locomotores de *T. pretiosum* não acompanham o aumento em seu comprimento total, o mesmo acontece com asas e tibiás, onde, de forma geral, tibiás aumentam de tamanho em maior proporção que asas.

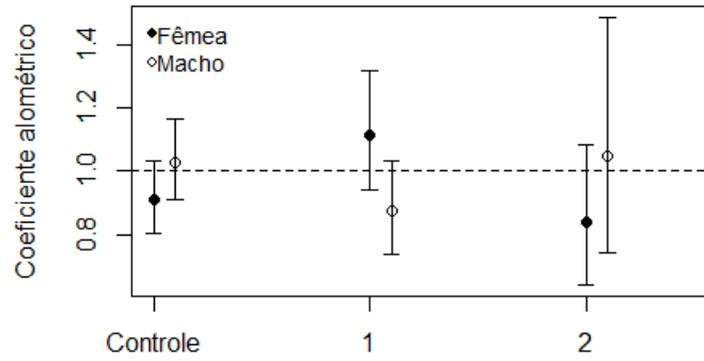
Tabela 3 - Coeficientes alométricos e interceptos para análises alométricas de fêmeas e machos de *T. pretiosum*

Variáveis	Sexo	Tratamento	Coeficiente alométrico (a)	Intercepto (b)	n	p
CTD – CT	Fêmea	Controle	0,9122675	-0,9682771	228	0,001
		1	1,1123765	-0,6907306	118	0,001
		2	0,8386413	-1,0275218	47	0,001
	Macho	Controle	1,0283994	-0,6959728	263	0,001
		1	0,8755183	-0,8998927	133	0,001
		2	1,0463770	-0,6509392	74	0,001
CAD – CT	Fêmea	Controle	0,7295423	-0,8428497	228	0,001
		1	0,9618267	-0,5416269	118	0,001
		2	0,7260318	-0,8189249	47	0,001
	Macho	Controle	0,8220470	-0,5978897	263	0,001
		1	0,7455621	-0,6947196	133	0,001
		2	0,9363369	-0,4296612	74	0,001
CAD – CTD	Fêmea	Controle	0,8344699	0,004204497	228	0,001
		1	0,8899505	0,107067538	118	0,001
		2	0,8996629	0,13978970	47	0,001
	Macho	Controle	0,8435905	0,04978834	263	0,001
		1	0,8877445	0,1453147	133	0,001
		2	0,9328543	0,22937674	74	0,001

Variáveis utilizadas são CT (comprimento total), CAD (comprimento da asa direita) e CTD (comprimento da tíbia direita).

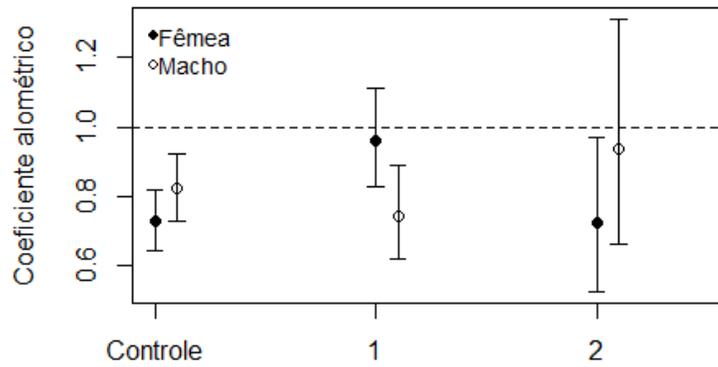
Fonte: Do autor.

Figura 4 - Coeficientes alométricos e intervalos de confiança para alometria da tíbia de *T. pretiosum* em função do comprimento total.



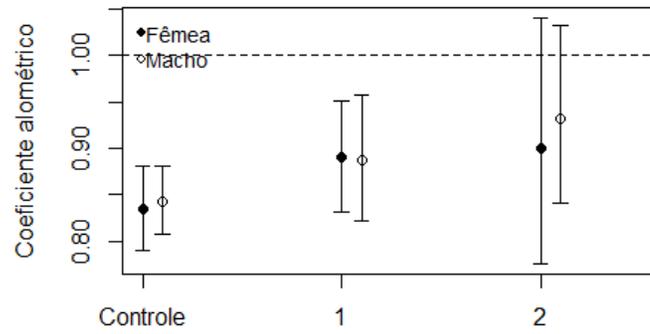
Fonte: Do autor.

Figura 5 - Coeficientes alométricos e intervalos de confiança para alometria da asa de *T. pretiosum* em função do comprimento total.



Fonte: Do autor.

Figura 6 - Coeficientes alométricos e intervalos de confiança para alometria da asa de *T. pretiosum* em função do comprimento das tíbias.



Fonte: Do autor.

3.3 Assimetria flutuante

Não foi possível detectar assimetria flutuante nas amostras avaliadas devido ao erro de mensuração, que nas análises de assimetria flutuante recebe grande atenção por poder confundir as interpretações sobre assimetria. O erro de mensuração foi superior à estimativa da assimetria flutuante, tanto para tíbias (

Tabela 4) como para asas (Tabela 5), com isso a estimativa da assimetria flutuante para as populações avaliadas não foi significativa.

A análise realizada detectou diferenças significativas entre os tratamentos no tamanho das estruturas avaliadas, reforçando o que foi observado quando avaliamos a morfometria. Também detectou diferenças significativas entre tratamentos com relação à interação entre o tamanho das partes mensuradas e o comprimento total do inseto, reforçando também o que foi observado na alometria.

Pelo Likelihood-ratio test não houve significância para as estimativas da assimetria flutuante tanto para tíbias quanto para asas ($X^2 = 0,0152$, $p = 0,9924$; $X^2 = 0502$, $p = 0,9752$, respectivamente).

Tabela 4 - Modelos Mistos Lineares ajustados por REML para túbias de *T. pretiosum*.

Efeitos aleatórios				
Grupos		Variância	Desvio padrão.	
Indivíduo	(Intercept)	1,034e-05	3,216e-03	
	Lado	2,862e-09	5,349e-05	
Resíduo		7,620e-05	0,008729	
Efeitos fixos				
	Estimativa	Erro padrão	T	P
(Intercept)	6,978e-02	2,302e-03	30,317	<0,001*
2	2,349e-02	5,868e-03	4,003	<0,001*
1	-1,113e-02	4,023e-03	-2,768	0,005678*
Comprimento total	1,981e-01	7,942e-03	24,939	<0,001*
2: Comprimento total	-6,224e-02	2,068e-02	-3,010	0,002626*
1: Comprimento total	5,230e-02	1,412e-02	3,704	0,000215*
Lado	-1,297e-04	3,102e-03	-0,042	0,966641
2: Lado	1,775e-03	8,234e-03	0,216	0,829350
1: Lado	-1,046e-03	5,638e-03	-0,186	0,852774
Lado: Comprimento total	7,203e-04	1,109e-02	0,065	0,948208
2: Lado: Comprimento total	-6,303e-03	2,902e-02	-0,217	0,828032
1: Lado: Comprimento total	3,298e-03	1,979e-02	0,167	0,867636

1 (Tratamento 1 - teflubenzuron), 2 (Tratamento 2 - lufenuron).

Fonte: Do autor.

Tabela 5 - Modelos Mistos Lineares ajustados por REML para asas de *T. pretiosum*.

Efeitos aleatórios				
Grupos		Variância	Desvio padrão.	
Indivíduo	(Intercept)	2,695e-05	0,00519	
	Lado	2,066e-08	0,00014	
Resíduo		1,465e-04	0,012103	
Efeitos fixos				
	Estimativa	Erro padrão	T	P
(Intercept)	1,218e-01	3,231e-03	37,710	<0,001*
2	3,319e-02	8,138e-03	4,078	<0,001*
1	-9,369e-03	5,578e-03	-1,680	0,09311
Comprimento total	2,059e-01	1,102e-02	18,697	<0,001*
2: Comprimento total	-8,915e-02	2,868e-02	-3,109	0,00189*
1: Comprimento total	4,906e-02	1,958e-02	2,505	0,01227*
Lado	-2,173e-03	4,301e-03	-0,505	0,61348
2: Lado	1,194e-02	1,141e-02	1,046	0,29553
1: Lado	1,236e-03	7,817e-03	0,158	0,87435
Lado: Comprimento total	6,578e-03	1,537e-02	0,428	0,66877
2: Lado: Comprimento total	-4,233e-02	4,023e-02	-1,052	0,29273
1: Lado: Comprimento total	-5,548e-03	2,743e-02	-0,202	0,83973

1 (Tratamento 1 - teflubenzuron), 2 (Tratamento 2 - lufenuron)

Fonte: Do autor.

4 DISCUSSÃO

4.1 Morfometria

O número de insetos obtidos foi reduzido nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas, onde foi observado insetos com asas e tíbias significativamente maiores e com medidas mínimas das partes mensuradas ligeiramente superiores (Tabela 1). Analisando a distribuição de tamanho dos insetos entre os tratamentos, também observou-se maior proporção de insetos de maior tamanho nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas (Figura 2 e

Figura 3). Com isso, a aplicação de inseticidas afetou o tamanho médio das partes mensuradas do *T. pretiosum*, deixando-o com apêndices locomotores maiores. Assim, aparentemente, os inseticidas proporcionaram a seleção de maiores indivíduos.

Há uma grande variação de tamanho nas espécies de *Trichogramma*. Kazmer e Luck (1995) encontraram que a tíbia posterior de *T. pretiosum* varia de 0,110 – 0,230 mm, Bennett e Hoffmann (1998) encontraram valores entre 0,105 – 0,175 mm para *T. carverae* e Hewa-Kapuge e Hoffmann (2001) encontraram valores entre 0,110 – 0,150 mm *T. brassicae*. Foram encontrados valores para comprimento da tíbia posterior variando de 0,087 até 0,154. Essa variação de tamanho é devida, principalmente, ao hospedeiro no qual *Trichogramma* se desenvolve, onde hospedeiros de maior tamanho dão origem a insetos maiores. Neste trabalho, os inseticidas utilizados, aparentemente, selecionaram maiores indivíduos. Levando em consideração o indivíduo isso é benéfico, pois indivíduos de maior tamanho possuem maior fitness e apresentam vantagens sobre indivíduos menores na busca por hospedeiros. Entretanto, do ponto de vista populacional, a aplicação de inseticidas reduziu o número de indivíduos que emergiram, o que nos leva a pensar que os inseticidas proporcionaram seleção de maiores indivíduos, porém, por não termos avaliado

taxas de parasitismo, não podemos afirmar sobre efeito dos inseticidas no número de indivíduos.

De qualquer forma, maior tamanho é associado a maior capacidade de parasitoides em encontrar hospedeiros em campo. Além disso, associado a maior capacidade de voo. Para *Asobara tabida* (Himenóptera: Braconidae) os maiores insetos possuem maior quantidade de reservas energéticas (corpo gorduroso) no corpo, o que permite maior capacidade de voo, aumentando a capacidade de dispersão deste parasitoide (ELLERS, VAN ALPHEN e SEVENSTER, 1998).

4.2 Alometria

Sendo o tamanho de parasitoides relacionado ao fitness, West, Flanagan, e Godfray (1996) encontraram que o fitness do parasitoide *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae) em campo aumenta rapidamente com o tamanho de insetos pequenos, entretanto, estabiliza ou até diminui em insetos maiores e na variação de tamanho de 0,28 – 0,38 mm insetos com tíbias em torno de 0,34 mm possuem maior fitness. Relação similar foi observada por Kazmer e Luck (1995) em *T. pretiosum*, onde, na variação de tamanho 0,110 – 0,230 mm para tíbia posterior encontraram que o fitness aumenta com o tamanho em parasitoides pequenos, mas mantém constante em parasitoides com tíbias acima de 0,170 mm. Outra relação importante é a encontrada por Kolliker-Ott, Blows e Hoffmann (2003), onde, avaliando as asas de parasitoides *Trichogramma*, encontraram que parasitoides com as maiores asas se mostraram mais eficientes na busca por hospedeiros. Deste modo, esses autores nos mostram que os maiores insetos, principalmente com maiores asas, são os que realmente encontram seus hospedeiros em campo, mas ao mesmo tempo indicam que parasitoides com tíbias muito grandes não são tão eficientes quanto parasitoides com tíbias de tamanhos intermediários.

Quando West, Flanagan e Godfray (1996) e Kazmer e Luck (1995) afirmam que parasitoides com tamanho intermediário possuem o maior fitness, eles estão avaliando as tíbias, já quando Kolliker-Ott, Blows e Hoffmann (2003) afirmam que os maiores parasitoides possuem o maior fitness, eles estão avaliando as asas. Com isso, temos que parasitoides com tíbias de tamanho intermediário e as maiores asas são os que possuem o maior fitness.

A alometria negativa observada, quando foi analisada a relação alométrica das asas em função das tíbias (Figura 6), pode explicar essa relação, pois quanto maior a tíbia do *T. pretiosum* maior é a sua asa, porém, como o coeficiente alométrico dessa relação é inferior a 1, a tíbia cresce em maior proporção que a asa, fazendo com que as asas tenham que suportar insetos com tíbias cada vez maiores com o aumento do seu tamanho. Isso pode estar relacionado com a estabilização e declínio do fitness de parasitoides muito grandes, pois estes podem possuir asas de tamanho desproporcional ao resto do corpo o que possivelmente pode prejudicar a capacidade locomotiva desses indivíduos levando a uma menor eficiência na busca por hospedeiros. Com isso, parasitoides com tamanho intermediário (tíbias) podem ser mais efetivos na busca por hospedeiros, como sugerido por Hewa-Kapuge e Hoffmann (2001), e no controle biológico a liberação de menor número de indivíduos, porém, com maiores tamanhos, pode ser mais interessante (BENNETT e HOFFMANN, 1998).

4.3 Assimetria flutuante

Trichogramma pretiosum, de certa forma, é um inseto simétrico, porém, não foi possível detectar assimetria flutuante nas amostras. Não há relação entre assimetria dos apêndices locomotores e o tamanho do inseto. Apesar de Kolliker-Ott, Blows e Hoffmann (2003) não terem encontrado relação entre

assimetria flutuante e o fitness de parasitoides *Trichogramma*, Clarke e McKenzie (1992) consideraram assimetria flutuante um potente e útil indicador da qualidade de insetos na produção em laboratório, pois quando avaliaram *Lucilia cuprica* (Diptera: Calliphoridae) sob estresses causados por temperatura e densidade populacional encontraram que assimetria flutuante foi o mais confiável indicador desses estresses. Bennett e Hoffmann (1998) também consideraram assimetria flutuante uma boa ferramenta para avaliar parasitoides, pois, avaliando fêmeas de *T. carverae* encontraram que insetos apresentando menor grau de assimetria nas asas anteriores têm maior probabilidade de encontrar hospedeiros.

Com isso, para que seja possível avaliar a ocorrência de assimetria flutuante em *T. pretiosum*, há necessidade da redução do erro de mensuração deste inseto, principalmente as relacionadas às repetidas medidas feitas nos lados direito e esquerdo e também ao erro associado à montagem das laminas, pois, devido ao pequeno tamanho do inseto erros na montagem das lâminas podem ser confundidos com assimetria flutuante.

5 CONCLUSÃO

Trichogramma pretiosum é um inseto simétrico muito próximo da isometria, apresentando alometria negativa em alguns casos. Foi afetado pelos inseticidas utilizados, onde asas e tíbias foram significativamente maiores nos tratamentos nos quais foram aplicados inseticidas. Além disso, foi observado menor número de indivíduos e com medidas mínimas maiores nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas; com isso, aparentemente, ocorreu seleção de indivíduos maiores. Do ponto de vista do indivíduo, os resultados são benéficos ao *T. pretiosum*, pois maiores indivíduos apresentam vantagens na busca por hospedeiros sobre indivíduos de menor tamanho. Entretanto, do ponto de vista populacional, esses resultados podem prejudicar futuras gerações do *T. pretiosum* quando este entra em contato com os inseticidas teflubenzuron e lufenuron, pois menor número de indivíduos foi obtido nos tratamentos onde foram aplicados inseticidas.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. [S.l.]Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 jan 2016.
- BENNETT, D. M.; HOFFMANN, A. A. Effects of size and fluctuating asymmetry on field fitness of the parasitoid *Trichogramma carverae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 67, p. 580-591, 1998.
- BERRIGAN, D. The allometry of egg size and number in insects. **Oikos**, [S.l.], v. 60, p. 313-321, Nov. 1991.
- BUENO, A. F. et al. Effects of pesticides used in soybean crops to the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1495-1503, set. 2008.
- CARVALHO, G. A.; PARRA, J. R.; BAPTISTA, G. C. Seletividade de alguns produtos fitossanitários a duas linhagens de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 583-591, 2001.
- CLARKE, G. M.; MCKENZIE, L. J. Fluctuating asymmetry as a quality control indicator for insect mass rearing processes. **Entomological Society of America**, [S.l.], v. 85, n. 6, p. 2045-2050, 1992.
- ELLERS, J.; VAN ALPHEN, J. J.; SEVENSTER, J. G. A field study of size-fitness relationships in the parasitoid *Asobara tabida*. **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 67, p. 318-324, 1998.
- GRAHAM, J. H. et al. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. **Symmetry**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 466-540, 2010.
- HASSAN, S. A. Activities of the IOBC/WPRS working group “pesticides and beneficial organisms”. **Entomophaga**, [S.l.], v. 39, p. 107-119. 1994.

HEWA-KAPUGE, S.; HOFFMANN, A. A. Composite asymmetry as an indicator of quality in the beneficial wasp *Trichogramma nr. brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Entomological Society of America**, [S.l.], v. 94, n. 4, p. 826-30, Mar. 2001.

KAZMER, D. J.; LUCK, R. F. Field test of the size-fitness hypothesis in the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. **Ecological Society of America**, [S.l.], v. 76, n. 2, p. 412-425, Mar. 1995.

KOLLIKER-OTT, U. M.; BLOWS, M. W.; HOFFMANN, A. A. Are wing size, wing shape and asymmetry related to field fitness of *Trichogramma* egg parasitoids? **Oikos**, [S.l.], v. 100, n. 3, p. 563-573, Mar. 2003.

PARRA, J. R.; ZUCCHI, R. A. *Trichogramma* in Brasil: feasibility of use after twenty years of research. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 3, maio/jun. 2004.

ROITBERG, B. D.; BOIVIN, G.; VET, L. E. Fitness, parasitoids, and biological control: an opinion. **The Canadian Entomologist**, [S.l.], v. 133, n. 3, p. 429-438, June 2001.

SAGARRA, L. A.; VINCENT, C.; STEWART, R. K. Body size as an indicator of parasitoid quality in male and female *Anagyrus kamali* (Hymenoptera: Encyrtidae). **Bulletin of Entomological Research**, [S.l.], v. 91, n. 5, p. 363-368, Nov. 2001.

SHINGLETON, A. W.; MIRTH, C. K.; BATES, P. W. Developmental model of static allometry in holometabolous insects. **The Royal Society**, [S.l.], n. 275, p. 1875-1885, 2008.

SOUZA, J. R. et al. Toxicity of some insecticides used in maize crop on *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) immature stages. **Chilean Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 73, p. 122-127, 2014.

STEIN, C. P.; PARRA, J. R. Uso da radiação ultravioleta para inviabilizar ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) visando estudos com *Trichogramma* spp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 229-233, 1987.

STERN, D. L.; EMLLEN, D. J. **The developmental basis for allometry in insects**. The Company of Biologists Limited, [S.l.], v. 126, p. 1091–1101, 1999.

VAN DONGEN, S.; MOLENBERGHS, G.; MATTHYSEN, E. The statistical analysis of fluctuating asymmetry: REML estimation of a mixed regression model. **Journal of Evolutionary Biology**, [S.l.], v. 12, p. 94-102, 1999.

VISSER, M. The importance of being large: the relationship between size and fitness in females of the parasitoid *Aphaereta minuta* (Hymenoptera: Braconidae). **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 41, p. 214-227, 1994.

WEST, S. A.; FLANAGAN, K. E.; GODFRAY, H. C. The relationship between parasitoid size and fitness in the field, a study of *Achrysocharoides zwoelferi* (Hymenoptera: Eulophidae). **Journal of Animal Ecology**, [S.l.], v. 65, p. 631-639, 1996.