

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Desenvolvimento de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) em dietas natural e artificiais, em diferentes temperaturas, visando avaliar a adequabilidade da dieta artificial para programas de controle biológico e seu zoneamento no Brasil

Fernanda Polastre Pereira Bonamin

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Entomologia

**Piracicaba
2024**

Fernanda Polastre Pereira Bonamin
Bacharelado em Ciências Biológicas

Desenvolvimento de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) em dietas natural e artificiais, em diferentes temperaturas, visando avaliar a adequabilidade da dieta artificial para programas de controle biológico e seu zoneamento no Brasil

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ROBERTO POSTALI PARRA**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Entomologia

Piracicaba
2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Bonamin, Fernanda Polastre Pereira

Desenvolvimento de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) em dietas natural e artificiais, em diferentes temperaturas, visando avaliar a adequabilidade da dieta artificial para programas de controle biológico e seu zoneamento no Brasil / Fernanda Polastre Pereira Bonamin. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011 - - Piracicaba, 2024.

71 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Biologia 2. Tabela de vida 3. Curculionideo 4. Zoneamento ecológico I.
Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, avós e marido pelo amor e apoio durante esta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e avós pelo apoio dado e amor durante toda essa caminhada;

Ao meu marido Luis pelo apoio, amor e carinho e que sempre esteve presente em todos os momentos e ser o meu pilar durante essa trajetória;

Ao meu primo Renan pelo companheirismo, amor e carinho;

Ao meu orientador Prof. Dr. José Roberto Postali Parra pelos ensinamentos e excelente orientação durante todo esse período;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Entomologia e Acarologia ESALQ/USP;

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos;

A todos os meus amigos da pós-graduação pelos bons momentos durante as disciplinas;

A todos os integrantes do Laboratório de Biologia de Insetos pelo convívio, risadas e ajuda durante esses anos;

Ao Alexandre José Ferreira Diniz que sempre esteve presente em todas as etapas do meu projeto e da minha trajetória durante o doutorado, pelos ensinamentos e sempre estar presente em todos os momentos;

À Neide Graciano Zério por toda ajuda com a criação dos insetos durante todo o

doutorado;

A todos os colaboradores do Departamento de Entomologia e Acarologia, em especial a Andrea Sintoni e Francisco Prata por todo apoio, atenção e assistência;

A todos que estiverem presentes e envolvidos durante a minha trajetória, obrigada.

EPIGRAFE

Posso ter defeitos, viver ansioso e ficar irritado algumas vezes,
Mas não esqueço de que minha vida
É a maior empresa do mundo...
E que posso evitar que ela vá à falência.
Ser feliz é reconhecer que vale a pena viver
Apesar de todos os desafios, incompreensões e períodos de crise.
Ser feliz é deixar de ser vítima dos problemas e
Se tornar um autor da própria história...
É atravessar desertos fora de si, mas ser capaz de encontrar
Um oásis no recôndito da sua alma...
É agradecer a Deus a cada manhã pelo milagre da vida.
Ser feliz é não ter medo dos próprios sentimentos.
É saber falar de si mesmo.
É ter coragem para ouvir um "Não"!!!
É ter segurança para receber uma crítica,
Mesmo que injusta...

Pedras no caminho?

Guardo todas, um dia vou construir um castelo...

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 13 |
| 2.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE <i>ANTHONOMUS GRANDIS</i> BOHEMAN, 1843 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) | 13 |
| 2.2 BIOECOLOGIA DE <i>A. GRANDIS</i> | 13 |
| 2.3 PLANTAS HOSPEDEIRAS DE <i>A. GRANDIS</i> | 15 |
| 2.4 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DE <i>A. GRANDIS</i> | 15 |
| 2.5 TÁTICAS DE CONTROLE DE <i>A. GRANDIS</i> | 17 |
| 2.5.1 CONTROLE CULTURAL | 17 |
| 2.5.2 CONTROLE QUÍMICO | 17 |
| 2.5.3 CONTROLE BIOLÓGICO..... | 18 |
| 2.6 DIETAS ARTIFICIAIS DE <i>A. GRANDIS</i> | 21 |
| 2.7 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS, TABELA DE VIDA E ZONEAMENTO ECOLÓGICO | 22 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 3.1 BIOLOGIA, EXIGÊNCIAS TÉRMICAS E TABELA DE VIDA DE <i>ANTHONOMUS GRANDIS</i> BOHEMAN, 1843 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) CRIADO EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E A NATURAL..... | 25 |
| 3.1.1 CRIAÇÃO DE <i>A. GRANDIS</i> EM DIETA NATURAL..... | 25 |
| 3.1.2 CRIAÇÃO DE <i>A. GRANDIS</i> EM DIETA ARTIFICIAL DESENVOLVIDA E BASEADA POR MONNERAT ET AL. (2000) PARA O BICUDO-DO-ALGODOEIRO (DIETA ARTIFICIAL 1) E DIETA ARTIFICIAL DESENVOLVIDA POR GREENE ET AL. (1976) PARA <i>ANTICARSIA GEMMATALIS</i> HÜBNER, 1818 (LEPIDOPTERA: EREBIDAE) (DIETA ARTIFICIAL 2) .. | 26 |
| 3.1.3 BIOLOGIA, EXIGÊNCIAS TÉRMICAS E TABELA DE VIDA DE <i>A. GRANDIS</i> EM DIFERENTES TEMPERATURAS EM DIETA NATURAL | 30 |
| 3.1.4 BIOLOGIA, EXIGÊNCIAS TÉRMICAS E TABELA DE VIDA DE <i>A. GRANDIS</i> CRIADO NA DIETA ARTIFICIAL BASEADA EM MONNERAT ET AL. (2000) PARA O BICUDO-DO-ALGODOEIRO (DIETA ARTIFICIAL 1) E DIETA ARTIFICIAL DESENVOLVIDA POR GREENE ET AL. (1976) PARA <i>A. GEMMATALIS</i> (DIETA ARTIFICIAL 2)..... | 31 |
| 3.2 ZONEAMENTO ECOLÓGICO DE <i>A. GRANDIS</i> NO BRASIL | 31 |
| 3.3 LEVANTAMENTO DE ESPÉCIES DE PARASITOIDES LARVAIS DE <i>A. GRANDIS</i> EM ALGODOEIRO..... | 31 |
| 3.3.1 MÉTODOS UTILIZADOS E PROCESSAMENTO DO MATERIAL | 32 |
| 3.3.1.1 “MÉTODO CONVENCIONAL”..... | 32 |
| 3.3.1.2 “MÉTODO COLAR”..... | 33 |
| 3.3.1.3 “MÉTODO ARMADILHA DELTA”..... | 34 |
| 3.3.1.4 IDENTIFICAÇÃO..... | 34 |
| 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 35 |
| 3.4.1 BIOLOGIA DE <i>A. GRANDIS</i> EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E NA NATURAL | 35 |
| 3.4.2 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DE <i>A. GRANDIS</i> EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E NA NATURAL..... | 35 |
| 3.4.3 TABELA DE VIDA DE FERTILIDADE DE <i>A. GRANDIS</i> EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E NA NATURAL..... | 36 |
| 3.4.4 ZONEAMENTO ECOLÓGICO DE <i>A. GRANDIS</i> NO BRASIL | 36 |
| 3.4.5 LEVANTAMENTO DE ESPÉCIES DE PARASITOIDES LARVAIS DE <i>A. GRANDIS</i> EM ALGODOEIRO..... | 37 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 39 |
| 4.1 BIOLOGIA COMPARADA DE <i>ANTHONOMUS GRANDIS</i> BOHEMAN, 1843 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM DIFERENTES TEMPERATURAS EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E NA NATURAL..... | 39 |
| 4.2 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS DE <i>A. GRANDIS</i> EM DIFERENTES TEMPERATURAS CRIADO EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E NA NATURAL | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 TABELA DE VIDA DE FERTILIDADE DE <i>A. GRANDIS</i> EM DIFERENTES TEMPERATURAS CRIADO EM 2 DIETAS ARTIFICIAIS E NA NATURAL | 44 |
| 4.4 ZONEAMENTO ECOLÓGICO DE <i>A. GRANDIS</i> NO BRASIL | 49 |
| 4.5 LEVANTAMENTO DE ESPÉCIES DE PARASITOIDES LARVAIS DE <i>A. GRANDIS</i> EM ALGODOEIRO | 53 |
| 4.5.1 IDENTIFICAÇÕES DOS PARASITOIDES COLETADOS | 53 |
| 4.5.2 PARASITISMO EM CADA MÉTODO DE COLETA | 55 |
| 5 CONCLUSÕES | 61 |
| REFERÊNCIAS | 63 |

RESUMO

Desenvolvimento de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) em dietas natural e artificiais, em diferentes temperaturas, visando avaliar adequabilidade da dieta artificial para programas de controle biológico e seu zoneamento no Brasil

O bicudo-do-algodoeiro é considerado a principal praga da cultura do algodoeiro e, de um modo geral, é controlado com agroquímicos. Entretanto, existem alguns parasitoides referidos na literatura que podem desempenhar um importante papel no Manejo Integrado de Pragas como componentes de programas de Controle Biológico. Para um controle efetivo com parasitoides é preciso entender fatores bióticos e abióticos envolvendo o desenvolvimento da praga. Para isso, o presente trabalho visou avaliar aspectos biológicos, determinar as exigências térmicas e confeccionar uma tabela de vida de fertilidade de *A. grandis* em diferentes temperaturas, visando comparar a dieta natural e 2 dietas artificiais para criação do inseto em laboratório, com vistas ao zoneamento ecológico da praga no Brasil para produção e utilização de inimigos naturais. Para a determinação do zoneamento de *A. grandis*, foi utilizado como base o parâmetro R_0 da tabela de vida de fertilidade. Para isso, insetos foram estudados em sete temperaturas diferentes que correspondem à maioria das temperaturas médias mensais observadas em diferentes regiões brasileiras. Também foram avaliados diferentes métodos de prospecção de parasitoides larvais da praga utilizando-se três métodos de coleta no campo, por 12 semanas, entre os meses de fevereiro a maio de 2022. Foram observadas diferenças significativas entre as temperaturas para cada dieta, porém não houve diferenças entre as dietas testadas para duração total do desenvolvimento, viabilidade, fecundidade e longevidade de fêmeas e machos. As taxas líquidas de reprodução a 25°C e 28°C foram maiores do que nas outras temperaturas testadas nas diferentes dietas. Pode-se concluir que as dietas artificiais testadas podem substituir a dieta natural para criação do bicudo-do- algodoeiro em laboratório. Os mapas indicaram que regiões tropicais com temperaturas médias acima de 20°C são mais favoráveis para as populações de *A. grandis*. Sobrepondo a ocorrência do algodoeiro a esses mapas, as áreas mais favoráveis ao crescimento populacional de *A. grandis* foram observadas na região Centro-Oeste e parte da região Nordeste. Foram identificadas 5 espécies de parasitoides com predominância de *Jaliscoa grandis* Burks, 1954 (Hymenoptera: Pteromalidae), sendo o método “colar” o mais adequado, registrando um parasitismo de 46,5%. O inimigo natural *J. grandis* mostrou-se um potencial agente de controle biológico do bicudo-do- algodoeiro no Brasil.

Palavras-chave: Biologia, Bicudo-do-algodoeiro, Temperatura, Algodão

ABSTRACT

Development of *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) on natural and artificial diets, under different temperatures, aiming to evaluate the suitability of the artificial diet for biological control programs and its zoning in Brazil

The boll weevil is considered the main pest of cotton crop, being mainly controlled with the use of agrochemicals. However, there are some parasitoids mentioned in the literature that can play an important role in Integrated Pest Management as components of Biological Control programs. To propose an effective control program using parasitoids, it is necessary to understand biotic and abiotic factors involving the development of the pest. Therefore, this study aimed to evaluate biological aspects, determine thermal requirements, and create a fertility life table for *A. grandis* at different temperatures, aiming to compare natural and two artificial diets for insect rearing in the laboratory and accomplish the ecological zoning of the pest in Brazil for production and use of natural enemies, according to the estimated net reproductive rates, R_0 . Insects were studied at seven different temperatures, covering the range of the most temperatures observed in Brazilian regions. Different methods of larval parasitoid prospecting were also evaluated using three field collection methods over a period of 12 weeks between February and May 2022. Significant differences were observed between temperatures for each diet, but there were no differences between the diets tested for total development duration, viability, fecundity, and longevity of females and males. The net reproductive rate at 25°C and 28°C were higher than at the other temperatures tested with different diets. It can be concluded that the tested artificial diets can replace the natural diet for rearing the cotton boll weevil in the laboratory. The maps indicated that tropical regions with average temperatures above 20°C are more favorable for *A. grandis* populations. Overlapping the occurrence of cotton with these maps, the most favorable areas for the population growth of *A. grandis* were observed in the Midwest region and part of the Northeast region. Five species of parasitoids were identified, with *Jaliscoa grandis* Burks, 1954 (Hymenoptera: Pteromalidae) being the predominant species, and the "colar" method was the most suitable, registering a parasitism rate of 46.5%. The natural enemy *J. grandis* showed potential as a biological control agent of the cotton boll weevil in Brazil.

Keywords: Biology, Boll weevil, Temperature, Cotton

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro está entre os mais importantes cultivos de fibras, e todos os anos, cerca de 35 milhões de hectares são plantados em todo o mundo. A demanda mundial tem aumentado gradativamente desde a década de 1950 com um crescimento anual médio de 2%. O comércio mundial do algodão movimentava anualmente cerca de US\$ 12 bilhões e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção (Abrapa 2024).

Nos últimos anos, o Brasil tem se mantido entre os dez maiores produtores mundiais, ao lado de países como China, Índia, EUA e Paquistão. Ocupa o quarto lugar em produtividade e tem figurado também entre os maiores exportadores mundiais (Abrapa 2024). A produção da pluma na safra 2022/23 foi de 3,2 milhões de toneladas, com produtividade de 1.907 quilos por hectare, em área plantada próxima de 1,7 milhões de hectares, gerando um valor anual de produção ao redor de R\$ 30 a 35 bilhões (Sidra-IBGE 2024).

O bicudo-do-algodoeiro é considerado a principal praga da cultura no Brasil pelos danos que causa à cultura e pelas dificuldades no seu controle. Esse inseto foi descrito por C. H. Boheman em 1843 como *Anthonomus grandis*. Ele foi citado como originário do México, de onde se distribuiu para os EUA, invadindo o estado do Texas em 1892. Em poucos anos se espalhou para o sudoeste do país, abrangendo grande parte do cinturão do algodoeiro, trazendo graves consequências econômicas e sociais (Boheman 1843; Riley 1885; Howard 1894).

Na América do Sul, sua ocorrência foi registrada pela primeira vez na Venezuela, em 1949, e na Colômbia, em 1950 (Warner e Smith Jr 1968). No Brasil, o bicudo foi relatado pela primeira vez em fevereiro de 1983, na região de Campinas, São Paulo (Habib e Fernandes 1983; Sobrinho e Lukefahr 1983). Por meio de estudos filogeográficos Burke et al (1986) concluíram que o bicudo-do-algodoeiro foi introduzido no Brasil a partir de insetos oriundos dos EUA. No mesmo ano de 1983, a ocorrência do bicudo-do-algodoeiro foi registrada em mais 46 municípios do estado de São Paulo, e em outros estados do Brasil, como Nordeste e Sul (Degrande 1991).

A população do bicudo-do-algodoeiro, quando não são tomadas medidas de controle da praga, pode destruir completamente a produção de um algodão. Os insetos possuem alta capacidade de destruição, por terem ciclo curto, grande capacidade de proliferação e disseminação no campo. As lavouras de algodão sofrem prejuízos que variam de US\$ 140 a 350 por hectare/ano, incluídos os danos,

custos de controle e depreciação da infraestrutura de combate da praga (Bastos et al. 2005). No Nordeste, *A. grandis* é considerado a principal praga do algodoeiro, pois apresenta alta sobrevivência, multiplicação, adaptação, dispersão e migração em diversos ambientes devido às condições climáticas favoráveis dessas regiões (Degrande 1991; Oliveira et al. 2012).

O objetivo do presente trabalho foi comparar aspectos biológicos de *A. grandis* e comparar duas dietas artificiais e a natural, para estabelecimento das condições ideais para o desenvolvimento e reprodução dessa praga em condições de laboratório e também estudar o efeito de diferentes temperaturas no desenvolvimento e na sobrevivência de *A. grandis* e, assim, foi estimada a faixa de temperatura mais adequada para o desenvolvimento da espécie. Ao combinar esses dados com as “ferramentas” do Sistema de Informação Geográfica (SIG), pôde-se identificar as áreas mais adequadas para a praga com base nas exigências térmicas estudadas na pesquisa e na tabela de vida nas diferentes temperaturas. Atualmente, são poucos os estudos no Brasil que buscam identificar parasitoides de ocorrência natural para o controle biológico do bicudo-do-algodoeiro. Restam ainda importantes lacunas do conhecimento a serem preenchidas para a implementação de programas de controle biológico dentro de um sistema de Manejo Integrado de Pragas. Entre estas lacunas, o conhecimento da fauna de parasitoides nativos ou que ocorrem naturalmente no Brasil, pela carência de estudos de campo e o esclarecimento sobre a taxonomia das espécies de parasitoides de bicudo-do-algodoeiro foram abordadas neste projeto. Assim, será possível estabelecer bases para futuros estudos que busquem avaliar o potencial de parasitoides para o controle da principal praga do algodoeiro no Brasil, o bicudo-do-algodoeiro, *A. grandis*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Distribuição geográfica de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae)

O bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) foi referido pela primeira vez em zonas costeiras na cidade de Vera Cruz, no México, entre os anos de 1831 e 1835; nesse registro não foi mencionado em qual hospedeiro o inseto foi coletado (Boheman 1843). Em 1880, foram observados os primeiros danos a algodoais no México, considerando-o então como praga do algodoeiro e daí ele se distribuiu para a região Sul e Norte dos EUA em 1892 e foi encontrado na Venezuela em 1942, e posteriormente na Colômbia em 1950 (Riley 1885; Howard 1894; Townsend 1895; Whitcomb e Britton 1953; Warner e Smith Jr 1968; Marin 1981).

No Brasil, foi encontrado pela primeira vez em 1983. Em 1984, o bicudo-do-algodoeiro, entrou na Argentina e em 1991 no Paraguai a partir do Brasil, causando danos em aproximadamente 90% das zonas de produção do país (Nikiphoroff e Whitaker 1992; Toledo et al. 2000)

Esse inseto apresenta ampla distribuição geográfica no Brasil. Foi relatado em vários estados brasileiros como São Paulo, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná (Habib e Fernandes 1983; Sobrinho e Lukefahr 1983; Degrande 1991). Alguns autores relataram, através de evidências morfológicas e estudos filogeográficos, que o bicudo presente no Brasil provavelmente foi introduzido a partir do Sudeste dos EUA, indicando que a chegada do bicudo no país deve ter sido resultado de “introdução” e não da expansão natural do inseto (Burke et al. 1986).

2.2 Bioecologia de *A. grandis*

Os ovos do bicudo-do-algodoeiro possuem coloração esbranquiçada, são elípticos, e apresentam tamanho reduzido de cerca de 0,8 mm de comprimento por 0,5 mm de largura (Degrande 1991). O período embrionário é de 2 a 3 dias, a 25°C (Bachelier e Bradley 1974; Cole e Adkisson 1982; Greenberg et al. 2005). São observados 3 ínstaes larvais que duram cerca de 8 dias a 25°C; as larvas são

ápodas, brancas, possuindo cabeça marrom-clara e permanecendo encurvadas dentro dos botões florais, apresentando cerca de 5 a 7 mm de comprimento quando completamente desenvolvidas (Bachelier et al. 1975; Cole e Adkisson 1982; Greenberg et al. 2005).

As pupas são brancas, e podem ser observados vestígios dos diferentes membros do corpo do futuro adulto, como os olhos e rostro, sendo o período pupal variável de 4 a 7 dias (Lloyd 1986; Degrande 1991).

Os adultos medem cerca de 4 – 9 mm de comprimento e a coloração varia de pardo-acinzentado ao preto, com pelos dourados sobre os dois élitros, onde podem ser observados estrias ou sulcos longitudinais; possuem também um rostro escuro medindo cerca da metade do tamanho do resto de seu corpo, no qual na extremidade apical se encontram as peças bucais e mais ou menos no centro do rostro situam-se as antenas; a coloração pode variar conforme a idade e tipo de alimentação do inseto (Lloyd 1986; Degrande 1991).

Em geral as fêmeas vivem mais do que os machos (Greenberg et al. 2005). A fêmea do bicudo-do-algodoeiro deposita seus ovos principalmente nos botões florais, flores e maçãs. O orifício de oviposição é fechado por uma mistura de substâncias fúngicas e resíduos provenientes da estrutura vegetal. Em seguida, a planta reage fisiologicamente, produzindo uma protuberância para fechá-lo caracterizando a oviposição (Lloyd 1986; Degrande 1991).

A capacidade de oviposição da fêmea decai de geração para geração à medida que o algodoeiro avança, passando pelas fases de germinação, florescimento, frutificação e maturação, a ponto de, no final da safra, na época da colheita, uma fêmea colocar apenas um ovo a cada dois dias. As fêmeas adultas, após emergirem, precisam se alimentar durante 5-6 dias antes de iniciarem a postura, sendo que um casal, no início do ciclo, pode dar origem a 12 milhões de descendentes no final da safra, num crescimento populacional praticamente exponencial, se nenhum controle for efetuado (Lloyd 1986; Degrande 1991).

A temperatura mínima e máxima para oviposição ocorre a 13°C e 38°C, respectivamente, e a maioria dos ovos é depositados a 25 e 30°C (Fye et al. 1969; Cole e Adkisson 1982; Fan et al. 1992; Greenberg et al. 2005).

2.3 Plantas hospedeiras de *A. grandis*

Vários autores indicam que *A. grandis* possui alguns hospedeiros alternativos e esses são responsáveis pela sobrevivência desses insetos na entressafra. O bicudo-do-algodoeiro foi descrito originalmente em 1843 por um espécime coletado em Vera Cruz, México, mas não foi associado a nenhum hospedeiro (Boheman 1843).

No entanto, uma vez que a espécie foi notificada no Texas, por Howard (1894), surgiram especulações consideráveis sobre seu local de origem e planta hospedeira original. Inicialmente, e por muito tempo, autores acreditavam que o bicudo somente se desenvolveria em espécies do gênero *Gossypium*, mas com o passar do tempo descobriram que o bicudo possui alguns outros hospedeiros alternativos como fonte de alimento quando não há algodoeiro (Burke et al. 1986)

O bicudo-do-algodoeiro pertence a um gênero de besouros composto de espécies que se desenvolvem em plantas hospedeiras taxonomicamente semelhantes, sendo que o bicudo desenvolve-se com sucesso apenas em plantas de gêneros dentro da família Malvaceae. Oviposição, desenvolvimento larval e pupação ocorrem em botões florais ou maçãs dependendo do biótipo do bicudo e a espécie hospedeira envolvida. Dos 8 gêneros incluídos dentro da tribo Gossypiae, ao menos 4 desses gêneros são considerados hospedeiros significativos do bicudo, entre eles estão *Gossypium*, *Cienfuegosia*, *Thespesia* e *Hampea*. Há também gêneros da família Malvaceae que não estão incluídos na tribo Gossypiae como *Hibiscus*, *Sphaeralcea* e *Pseudabutilon* que podem ser considerados hospedeiros alternativos (definidos como plantas onde a reprodução natural desse insetos é limitada) (Fryxell 1965; Cross et al. 1975; Burke et al. 1986).

2.4 Importância econômica de *A. grandis*

No Brasil, essa praga, quando não controlada, pode destruir completamente a produção de algodão (Bastos et al. 2005). A grande capacidade de proliferação, ciclo curto e fácil disseminação no campo são responsáveis pela sua alta capacidade de destruição se tornando uma das pragas mais importantes do algodoeiro (Degrande 1991). Os prejuízos podem variar até 75% da produtividade

esperada, e as perdas giram em torno de US\$ 140 A 350 por hectare/ano (Degrande et al. 2004).

Nos EUA, *A. grandis* é a praga com a qual mais se gasta na cultura do algodão. Baseado em observações feitas de 1945 a 1980, Schwartz (1983) calculou que a perda potencial devida ao ataque de *A. grandis* foi de 51% nos EUA. Com as medidas de controle, as perdas foram de 21%. Desde sua entrada no Texas, na década de 1890, o bicudo acarretou perdas de vários bilhões de dólares, afetando mais de 3 milhões de hectares. Perdas giram em torno de 8% nessas áreas anualmente (Cabi 2023).

Alguns autores sugerem que os botões florais presentes no terço médio das plantas são os preferidos para a alimentação, enquanto que os botões florais no terço superior das plantas são os preferidos para oviposição, mas também quando não há botões florais, as maçãs e as flores podem ser atacadas, acarretando o apodrecimento das maçãs, pois seu ataque favorece a proliferação de fungos e bactérias nesse frutos, ou seja, os principais danos causados por essa praga são resultantes de orifícios promovidos nas estruturas reprodutivas da planta durante a alimentação e oviposição desses insetos (Lloyd 1986; Degrande 1991; Ramalho 1995).

Sob populações iniciais baixas, geralmente ocorrem “escapes” favorecendo a formação das primeiras estruturas produtivas, mas, quando há aumento da população desses insetos, maiores serão os prejuízos à produção. De um modo geral, após elevado ataque do bicudo e sob condições climáticas favoráveis, as plantas do algodoeiro recuperam-se, mas, quase sempre, esses novos botões florais emitidos serão fortemente atacados e destruídos pela praga. As lavouras que receberam grandes infestações apresentam plantas com poucos capulhos no terço inferior e, geralmente, são desprovidas de capulhos na parte mediana e superior. E também se há infestação no final do ciclo, as plantas de algodão podem mostrar-se vigorosas, porém, com poucas maçãs viáveis. A dinâmica populacional do inseto na cultura pode variar de região para região e de um ano para o outro, devido à dinâmica do inseto na entressafra e às condições climáticas do período (Lloyd 1986; Degrande 1991; Ramalho 1995).

2.5 Táticas de controle de *A. grandis*

No Brasil, as táticas de controle utilizadas para combate dessa praga envolvem basicamente o controle cultural e o controle químico, embora existam parasitoides, predadores e patógenos que ocorrem naturalmente no ambiente.

2.5.1 Controle cultural

As práticas culturais para o controle de *A. grandis* são uma das estratégias utilizadas no manejo da praga e podem aumentar a produção de algodão em áreas infestadas por essa praga. O manejo deve ser feito em toda a região produtora de algodão e não somente por um produtor individualmente. Dentre estas práticas estão o uso de cultivares precoces, uniformidade na data de plantio, destruição de soqueiras, semeadura em época recomendada para cada região, instalação de plantio-isca, aplicação de inseticidas nas bordaduras, “catação” e destruição de botões florais, utilização de reguladores de crescimento visando aperfeiçoar o controle químico, instalação de tubos atrai-e-mata nas fases pré-semeadura e pós-colheita e preparo do solo (Degrande 1994; Degrande et al. 2004; Tomquelski e Martins 2008).

2.5.2 Controle químico

O adulto é a única fase de vida desse inseto que pode ser exposta à ação de inseticidas, que são a principal tática de controle utilizada para controlar essa praga. São alvos de difícil alcance pois os adultos permanecem a maior parte do tempo na parte mediana do dossel das plantas e sob as brácteas dos botões florais para se alimentarem e ovipositarem. De um modo geral, a maior exposição desses adultos ocorre nas horas mais ensolaradas e quentes do dia, período não muito favorável às aplicações de inseticidas (Bastos et al. 2005). Atualmente, existem 154 formulações comerciais de inseticidas, com 27 ingredientes ativos diferentes, disponíveis para uso contra o bicudo-do-algodoeiro no Brasil (Agrofit 2024). Os inseticidas dominam o controle de pragas do algodão no Brasil e em todo o mundo. Portanto, existem muitas questões relacionadas ao uso intensivo de inseticidas no algodão, incluindo impactos nos inimigos naturais (Torres e Bueno 2018) e redução da eficácia contra o

bicudo-do-algodoeiro e outras pragas do algodoeiro (Oliveira-Marra et al. 2019; Arruda et al. 2021; Rolim et al. 2021). Além disso, os custos de controle desses insetos afetam significativamente as despesas da produção de algodão (Bélot et al. 2016) devido ao grande número de aplicações de inseticidas e outros custos indiretos (por exemplo, armadilhas de feromônio, destruição de soqueiras) (Torres et al. 2022).

2.5.3 Controle biológico

O controle biológico vem crescendo frente à maior segurança alimentar e ambiental exigida pela sociedade. Em vista do futuro crescimento da agricultura brasileira e em concordância às práticas internacionais de manejo de pragas, há necessidade de pesquisas que visem ao enriquecimento do conhecimento acerca do controle biológico. Esta forma de controle ocorre naturalmente sobre populações da praga na maioria das culturas, pela existência de inimigos naturais nativos ou exóticos, entre predadores, parasitoides e entomopatógenos, sendo, portanto, responsáveis pelo equilíbrio no ecossistema (Parra 2014).

O bicudo-do-algodoeiro possui uma ampla gama de inimigos naturais registrados. A base de dados do Cabi (2023) apresenta 26 dos seus principais inimigos naturais. Em listagem mais detalhada de parasitoides, Cross e Chestnut (1971) apontaram pelo menos, 40 espécies que parasitam o bicudo. No Brasil, são registradas pelo menos 13 espécies de parasitoides, a grande maioria da ordem Hymenoptera, além de 10 predadores (Wanderley e Ramalho 1996). A mortalidade de *A. grandis* causada por inimigos naturais e fatores ambientais chega a 70% no Brasil (Bastos e Torres 2003).

Alguns predadores também foram observados atacando o bicudo-do-algodoeiro, entre eles estão as formigas do gênero *Solenopsis*, *Pheidole* e *Crematogaster* (Degrande 1991; Ramalho et al. 1993). A tesourinha *Euborellia annulipes* Lucas (Dermaptera: Anisolabididae) também é considerada predadora promissora, alimentando-se de larvas e pupas desses inseto (Ramalho et al. 1993; Ramalho e Wanderley 1996). Destacam-se também alguns patógenos como os fungos *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill, *Metarhizium anisopliae* (Metsch) e *Cordyceps fumosorosea*; essas três espécies são altamente patogênicos ao bicudo-

do-algodoeiro em campo, podendo ser utilizadas em programas de controle biológico dessa praga (Coutinho e Cavalcanti 1988; Ramalho e Wanderley 1996).

Dentre as espécies de parasitoides, *Jaliscoa grandis* (Burks) (Hymenoptera: Pteromalidae) e *Bracon vulgaris* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae) (Ramalho et al. 1993) são as que têm maior impacto na redução de populações dessa praga no Brasil (Ramalho e Wanderley 1996).

O potencial de *J. grandis*, antigamente classificado como *Catolaccus grandis*, contra o bicudo-do-algodoeiro foi demonstrado em estudos nos EUA, em estados como Mississippi (Johnson et al. 1973), Texas (Cate et al. 1990, Summy et al. 1995), Alabama (Morales-Ramos et al. 1994) e no Brasil por Ramalho et al. (1998, 2000). As fêmeas dos parasitoides não somente parasitam as larvas de seu hospedeiro como também conseguem injetar toxinas no corpo das larvas e pupas de *A. grandis* podendo causar sua morte (Ramalho et al. 1998).

Jaliscoa grandis foi encontrado no Brasil em meados da década de 1980 e exibe características que sugerem um alto potencial de supressão de infestações do bicudo que ocorre em algodão cultivado (Cross e Mitchell 1969; Cross e Chestnut 1971; Johnson et al. 1973; Cate et al. 1990, Morales-Ramos e Cate 1992; Ramalho et al. 1998). Essa espécie de parasitoide também apresenta alta capacidade e habilidade de se dispersar a distâncias significativas na procura do hospedeiro (Morales-Ramos e King 1991) e um desenvolvimento sincronizado com a praga (Morales-Ramos e Cate 1993; Ramalho et al. 1998).

Estudos conduzidos por Morales-Ramos e King (1991) e Ramalho et al. (1998) mostraram que a fêmea de *J. grandis* tem grande capacidade de busca, conseguindo localizar e parasitar as larvas do bicudo dentro dos botões florais, mesmo quando submetida a baixas densidades do hospedeiro. Tais características indicam que esse parasitoide é um excelente candidato para ser usado em liberações inundativas contra o *A. grandis* nos agroecossistemas de algodoeiro herbáceo do Brasil (Ramalho et al. 1998).

De acordo com Ramalho et al. (1998), a ação de *J. grandis* nas populações do bicudo dá-se por meio da paralisação e/ou parasitismo. Paralisação é um tipo de ataque em que a fêmea de *J. grandis* imobiliza a larva do bicudo, através da injeção de toxinas no corpo do hospedeiro, mas não realiza postura sobre a larva ou nas paredes internas do botão floral, mas, algumas vezes, se alimenta da hemolinfa da larva e, geralmente, causa a morte do hospedeiro. De acordo com Ramalho et al.

(1998), 1.200 larvas e 810 pupas do bicudo paralisadas morreram em virtude da ação da toxina injetada pelas fêmeas do parasitoide. Isso mostra que apenas a introdução de toxinas pela fêmea no interior da larva do bicudo é suficiente para causar a sua morte. Então, a ação de *J. grandis* como agente regulador de populações do bicudo não se deve somente ao ectoparasitismo das larvas, mas também à ação parasítica das fêmeas adultas através da introdução de toxinas no interior do hospedeiro, levando-o à morte.

Estudos conduzidos nas décadas de 1980 e 1990 buscaram estudar a importância de parasitoides nativos (ou invasores) no controle do bicudo-do-algodoeiro no Brasil (Azambuja e Degrande 2014). Desses estudos, destacou-se a importância de *Bracon* spp., com taxas de parasitismo variando de 8,5 e 10,9% em botões florais e maçãs, para *Bracon melitor* (Araújo et al. 1991); este valor chegou a até 85% em estruturas nas plantas e 66,6% em estruturas caídas ao solo, para *Bracon vulgaris* (Carvalho et al. 1993). Outras espécies apontadas como potenciais parasitoides para o bicudo do algodoeiro são *Jaliscoa hunteri* (Crawford, 1908) (Hymenoptera, Pteromalidae) e *Eupelmus pulchripes* (=cushmani) (Cameron, 1904) (Hymenoptera, Eupelmidae).

As fêmeas de *J. grandis* preferem parasitar larvas de bicudo que se encontram em botões caídos ao solo, isto é, larvas de 3º instar. Por outro lado, as fêmeas de *B. vulgaris* preferem parasitar larvas do bicudo, quando os botões atacados ainda se encontram na planta (Ramalho e Wanderley 1996).

De acordo com Ramalho e Wanderley (1996), as mortalidades naturais do bicudo no Agreste da Paraíba em 1989 e 1990, em virtude de fatores bióticos (predação, parasitismo e doenças) e abióticos (dessecação de larvas, pupas e/ou adultos pré-emergente), foram de 32% e 39%, respectivamente, com parasitismo abaixo de 10%. Entretanto, quando foi utilizado o controle biológico aplicado por meio de liberações inundativas do parasitoide *J. grandis*, o parasitismo foi acima de 80% (Ramalho et al., 2000). Portanto, o controle biológico aplicado do bicudo no Brasil com a utilização de parasitoides (*J. grandis* e *B. vulgaris*), a partir de uma produção automatizada em laboratório e com liberações inundativas periódicas de controle nos agroecossistemas do algodoeiro, mostra-se técnica e logisticamente viável.

Os trabalhos têm focado em aspectos bioecológicos visando à criação massal para controle biológico por *J. grandis* e *B. vulgaris* (Araújo e Azevedo 1997; Ramalho

et al. 1998, 2000; Ramalho et al. 2007), permitindo conhecer o tempo de desenvolvimento, utilização de hospedeiros alternativos, métodos de criação e até sobre a interação competitiva das duas espécies de parasitoides. Os testes de avaliação em campo realizados com *J. grandis* são bastante importantes quanto a eficiência deste parasitoide em campo segundo Ramalho et al. (2000). Apenas para as larvas de terceiro ínstar de *A. grandis* foi observada uma mortalidade média de 82,8% nos tratamentos com liberação inundativa de *J. grandis*, comparada a uma mortalidade de 10,7% no controle (sem liberação).

Embora ambos parasitoides explorem o mesmo hospedeiro, eles estão isolados, pois preferem atacar o hospedeiro em diferentes estádios de desenvolvimento. *J. grandis* prefere parasitar o hospedeiro depois que os botões florais caírem no solo (Morales-Ramos e Cate 1992) enquanto *B. vulgaris* tem preferência pelos botões florais que ainda permanecem na parte superior da planta (Ramalho e Wanderley 1996). Esse comportamento sugere que há a possibilidade das duas espécies serem utilizadas conjuntamente em programas de manejo integrado dessa praga (Ramalho et al. 2007).

2.6 Dietas artificiais de *A. grandis*

Basicamente existem três formas de se obter e criar insetos: a) coletando populações de campo; b) mantendo, em laboratório, populações em hospedeiros naturais (plantas intactas, folhas, raízes, bulbos, caules, etc) e c) manter em laboratório, populações em dietas artificiais (Parra 1999).

A coleta de populações em campo apresenta desvantagens pois não indica a periodicidade de ocorrência e não apresenta procedência, nutrição e idade conhecidas, o que pode limitar determinados estudos e trabalhos, principalmente aqueles sobre aspectos biológicos de determinados insetos. A manutenção de populações em hospedeiros naturais são fundamentais para alguns grupos de insetos, porém demandam muita mão-de-obra, e a manutenção normalmente é difícil pois dependem da região, tempo de plantio, e ainda há a necessidade de se dispor de locais como casas de vegetação ou ambientes controlados (temperatura, umidade relativa e fotoperíodo). As populações criadas em dietas artificiais apresentam uma série de vantagens, dentre elas menor mão-de-obra e facilidade de controle das populações. A dieta sempre deve conter os nutrientes exigidos pelo

inseto (proteína, vitaminas, sais minerais, carboidratos, lipídeos e esteróis), e alguns grupos exigem ainda ácidos nucleicos. Entretanto, isso não é o suficiente pois a ausência de certas propriedades físicas e de fagoestimulantes (físicos e químicos), assim como do balanceamento de nutrientes, pode determinar um desenvolvimento inadequado do inseto (Parra 1999, 2002).

Em 1958, Vanderzant e Davich desenvolveram a primeira dieta artificial para o bicudo-do-algodoeiro para otimizar sua criação em laboratório (Vanderzant e Davich 1958). Posteriormente, vários estudos foram conduzidos para melhorar a qualidade da dieta, incluindo as pesquisas de Sterling e Adkisson em 1966, que mostraram resultados iguais ou superiores na fecundidade de fêmeas usando uma dieta à base de sementes de algodão para alimentar tanto larvas quanto adultos (Sterling e Adkisson 1966). Mais tarde, em 1979, Lindig testou o Pharmamedia®, uma proteína de semente de algodão disponível comercialmente, como substituto para semente do algodoeiro (Lindig 1979). A dieta artificial mais comumente usada para o bicudo-do-algodoeiro no Brasil foi proposta por Monnerat et al. (2000), sendo a única dieta referida para a espécie no país.

Nesse contexto é de fundamental importância, para a implementação de novos programas de MIP no Brasil, que se conheçam não só as características biológicas das pragas, mas como mantê-las em laboratório, para que os estudos sejam feitos de uma forma continuada sem esperar a ocorrência natural do inseto em condições de campo, o que muitas vezes tem seus estudos ainda mais dificultados por ser, por exemplo, uma praga de ocorrência cíclica. O fato é que tanto em pesquisas básicas como aplicadas de programas de MIP, é exigido um suprimento contínuo de insetos. (Parra 2000).

2.7 Exigências térmicas, tabela de vida e zoneamento ecológico

O metabolismo dos insetos é regulado pela temperatura ambiental, e também como consequência, sua distribuição geográfica. Por serem animais pecilotérmicos, os insetos precisam desenvolver estratégias para sobreviver a temperaturas extremas em baixas e altas latitudes (Lee e Delinger 1991). Alguns modelos lineares e não lineares têm sido elaborados ao longo dos anos para relacionar tempo de desenvolvimento e temperatura para esses organismos (Campbell et al. 1974; Worner 1992).

Os insetos se desenvolvem com o acúmulo de energia térmica (graus-dias), e dessa relação podem ser estimados parâmetros que possuem alta relevância para o estudo da influência térmica nos insetos, tais como a constante térmica (K), os limites térmicos inferior (T_b) e superior ($T_{máx.}$) do desenvolvimento e a temperatura que otimiza a taxa de desenvolvimento ($T_{óti}$) (Haddad et al. 1999; Garcia e Parra 2022). Esses parâmetros possuem um papel importante em diferentes linhas de pesquisas, desde a ecologia de insetos até a criação massal em laboratório para programas de controle biológico (Garcia et al., 2019; Alberti et al., 2021). A temperatura é um dos elementos climáticos mais importantes para o desenvolvimento e sobrevivência de diversas espécies de insetos (Sharpe e DeMichele 1977). Através da determinação das exigências térmicas das diferentes fases, pode-se conhecer melhor a dinâmica populacional, prever a ocorrência de pragas nas plantações, aumentar a eficiência das amostragens e otimizar as estratégias de controle. Desta forma, diversos modelos têm sido citados para explicar a influência da temperatura no desenvolvimento dos insetos (Stinner et al. 1975; Parra e Haddad 1984; Wagner et al. 1984; Haddad et al. 1999; Garcia e Parra 2022).

Para que o controle da praga seja efetivo é preciso entender alguns aspectos da biologia do inseto, assim como fatores abióticos envolvidos em seu desenvolvimento. O estudo da tabela de vida de fertilidade é de grande valia para a compreensão da dinâmica populacional da espécie visada, uma vez que permite uma visão integrada das características biológicas de uma população, sob condições ambientais determinadas (Harcourt 1967). Quando combinadas, tabela de vida com estudos de exigências térmicas, são capazes de mostrar os padrões de mortalidade e sobrevivência de uma determinada população em diferentes temperaturas (Martins et al. 2016; Lacerda 2019). Essas informações são essenciais para monitorar e controlar uma praga no contexto do MIP, conforme proposto por Norris et al (2003).

O zoneamento ecológico pode ser estruturado a partir dos dados das exigências térmicas e tabela de vida de uma determinada espécie, os quais, por meio de sistemas de modelagem, podem estimar o potencial biológico de estabelecimento de uma praga em campo, com base nos dados de temperatura (Milanez et al. 2005). Sendo assim, torna-se possível identificar as áreas que oferecem condições climáticas adequadas para a espécie em questão. Essa

abordagem pode ser utilizada como uma ferramenta para o Manejo Integrado de Pragas, permitindo a previsão da ocorrência de pragas e surtos populacionais, o mapeamento de áreas de risco e a definição de calendários de plantio e colheita (Nelson e Boots 2005), bem como com a definição da época de ocorrência da praga e definir o momento de liberação de parasitoides.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Biologia, exigências térmicas e tabela de vida de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) criado em 2 dietas artificiais e a natural

3.1.1 Criação de *A. grandis* em dieta natural

A criação em laboratório de *A. grandis* foi iniciada com a coleta de insetos em campo em um plantio de algodão, variedade TMG62RF, em área experimental no Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP. Os insetos foram criados, segundo metodologia adaptada, descrita por Greenberg et al (2005) no laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP.

Foram coletados cerca de 800 botões florais infestados com ovos de bicudo-do-algodoeiro e mantidos em gaiolas teladas (20 cm \pm 20 cm \pm 20 cm) em salas climatizadas com temperatura de 25 \pm 1°C, umidade relativa de 70 \pm 10% e fotoperíodo 14L:10E. Temperatura e UR foram monitoradas por Datalogger tinnytag ultra 2 da marca Gemini.

Após a emergência, os adultos foram pesados e separados por sexo pelo método de Sappington e Spurgeon (2000), baseando-se na identificação do oitavo tergito do macho, caracteristicamente entalhado, não presente nas fêmeas. A dificuldade de aplicação do método consiste em não visibilidade natural do tergito, sendo, portanto, necessário levantar os élitros do bicudo para poder examinar a presença ou ausência da determinada característica. Baseando-se na metodologia dos referidos autores, apenas adultos com peso entre 10 e 15 mg no dia da emergência foram utilizados neste estudo. Casais foram mantidos em gaiolas durante um período de 5 dias para o acasalamento. Para os insetos de cada gaiola foi fornecido algodão embebido em água destilada, e 15 botões florais não infestados intactos entre 7-10 mm de diâmetro, oferecidos para alimentação diária.

3.1.2 Criação de *A. grandis* em dieta artificial desenvolvida e baseada por Monnerat et al. (2000) para o bicudo-do-algodoeiro (dieta artificial 1) e dieta artificial desenvolvida por Greene et al. (1976) para *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Erebidae) (dieta artificial 2)

Os insetos da criação em dieta artificial foram originários da criação em laboratório do Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMA-MT), em Rondonópolis. Os adultos foram criados em dietas artificiais desenvolvida e baseada em Monnerat et al. (2000) e por Greene et al. (1976) e mantidos em salas climatizadas com temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotoperíodo 14:10.

Os casais de bicudo-do-algodoeiro foram mantidos em gaiolas plásticas (20x15x10 cm) (Figura 1A), em que o centro da sua base e tampa foram retiradas e substituídas por telas (60 Mesh). Na parte inferior (base) uma outra tela (Mesh 80) (Figura 1B) foi usada para permitir a passagem de “frass” (fezes) e ovos para um “reservatório de plástico” não telado de mesma dimensão situado abaixo da gaiola; os ovos eram coletados deste reservatório.

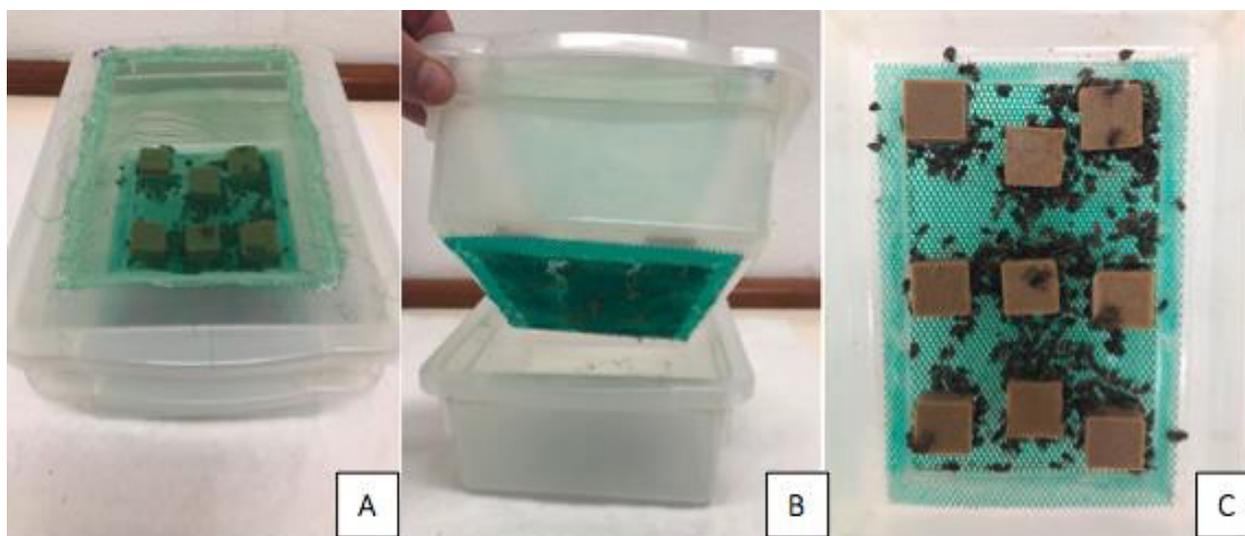


Figura 1. Criação de *Anthonomus grandis* em gaiolas plásticas (A). Na parte inferior (base) uma outra tela (Mesh 80) usada para permitir a passagem de “frass” (fezes) e ovos (B). Dieta artificial oferecida aos adultos (C).

Os ovos de bicudo-do-algodoeiro (Figura 2) foram coletados junto com as fezes peneirados e tratados com uma solução de sulfato de cobre a 20% (Figura 3A); nessa solução, os ovos flutuam enquanto as fezes sedimentam. Em seguida, os

ovos foram coletados, desinfestados por 1 minuto com cloreto de benzalcônio a 0,3% (Figura 3B) e transferidos para placas de Petri contendo a mesma dieta dos adultos (Figura 4A).

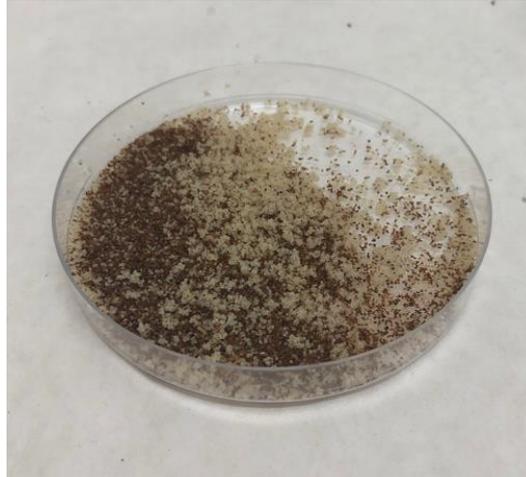


Figura 2. Ovos (claros) misturados as fezes (escuras) obtidos no recipiente inferior da figura 1B.

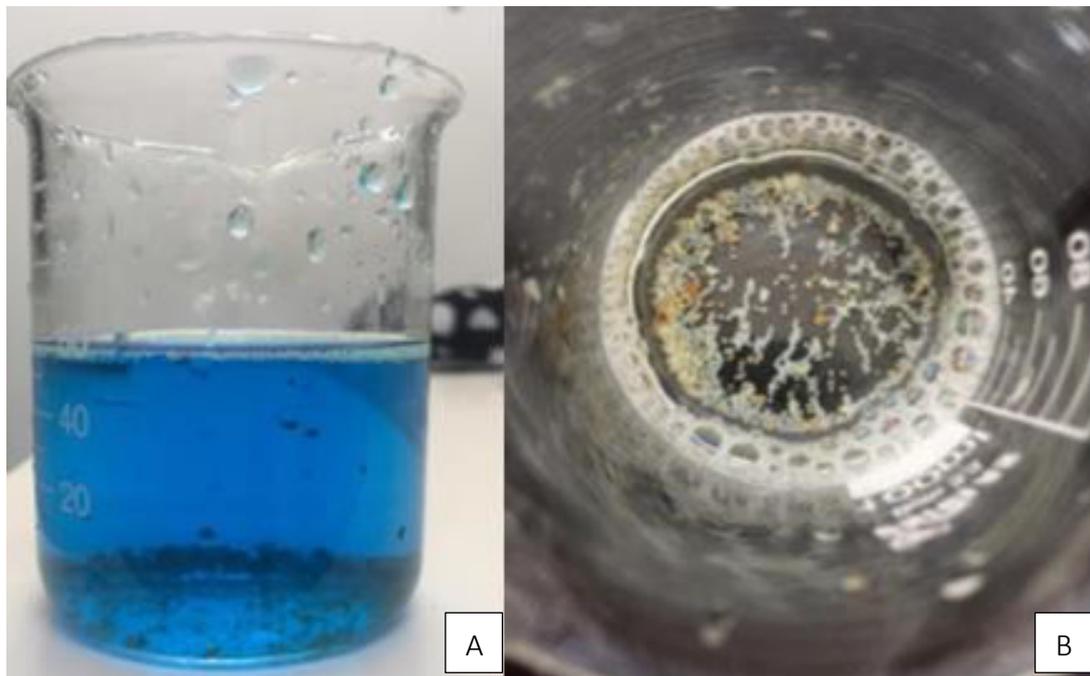


Figura 3. Becker contendo "frass" (depositados) e ovos separados por meio de decantação em sulfato de cobre 20% (A). Imersão de ovos em cloreto de benzalcônio 0,3% (B).

Nessas placas, as larvas eclodem (Figura 4B) e se desenvolvem até se tornarem adultas. A seguir, os adultos foram coletados e transferidos para gaiolas teladas. No interior das gaiolas foram oferecidas aos adultos pedaços de dieta de *A. grandis*,

proposta por Monnerat et al (2000) (Tabela 1) (Figura 1C), e por Greene et al (1976) (Tabela 2), em formatos circulares. A limpeza das gaiolas era realizada 3 vezes por semana, quando foram retirados os ovos, fezes e insetos mortos e feita a troca da dieta. Os potes plásticos utilizados foram previamente esterilizados com álcool 70% e, posteriormente, submetidos à lâmpada germicida durante 15 minutos. Com auxílio de um pincel grosso, foi aplicada vaselina em toda borda do recipiente para dificultar a fuga dos insetos durante o manejo. Tais adultos foram mantidos nas gaiolas durante 35 a 40 dias antes de serem descartados.

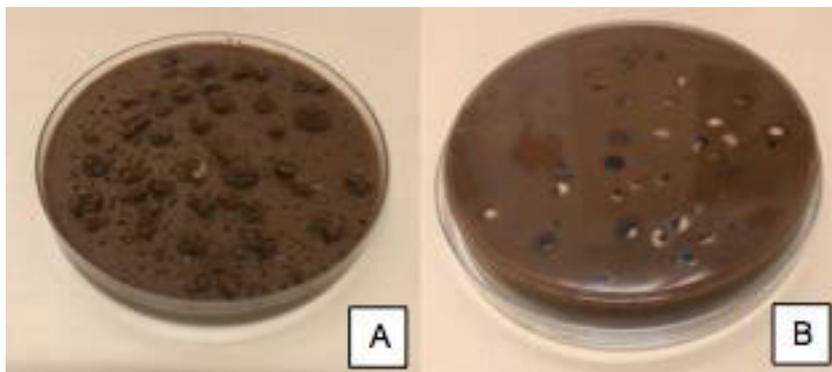


Figura 4. Placas de Petri contendo dieta baseada em Monnerat et al. (2000) para *Anthonomus grandis* (A). Larvas de bicudo-do-algodoeiro (B).

Tabela 1. Ingredientes da dieta artificial baseada em Monnerat et al. (2000) para *Anthonomus grandis*

| Componentes | Quantidade (20 placas) |
|-------------------------------------|------------------------|
| Pharmamedia® | 24g |
| Germe-de-trigo | 36g |
| Levedura-de-cerveja | 36g |
| Proteína-de-Soja | 60g |
| Açúcar | 36g |
| Ácido ascórbico | 12g |
| Ácido sórbico | 1,4g |
| Sais-de-Wesson | 6g |
| Metil parahidroxibenzoato (Nipagin) | 1,2g |
| Solução Vitamínica * | 24ml |
| Ágar | 17g |
| Água destilada | 750ml |

*Solução Vitamínica: Niacinamida, Pantetonato de cálcio, Riboflavina, Biotina, Tiamina HCl, Piridoxina HCl, Ácido fólico e Vitamina B12

Tabela 2. Ingredientes da dieta artificial de Greene et al. (1976) para *Anticarsia gemmatilis*

| Componentes | Quantidade (20 placas) |
|-------------------------------------|------------------------|
| Feijão branco | 56,25g |
| Germe-de-trigo | 45g |
| Levedura-de-cerveja | 28,15g |
| Proteína-de-Soja | 22,50g |
| Caseína | 22,50g |
| Ácido ascórbico | 2,7g |
| Ácido sórbico | 1,35g |
| Tetraciclina | 84,75mg |
| (Metil parahidroxibenzoato) Nipagin | 2,25g |
| Solução Vitamínica | 6,75ml |
| Caragininina | 17,50g |
| Formaldeído | 2,70ml |
| Água destilada | 900ml |

*Solução Vitamínica: Niacinamida, Pantetonato de cálcio, Riboflavina, Biotina, Tiamina HCl, Piridoxina HCl, Ácido fólico e Vitamina B12.

3.1.3 Biologia, exigências térmicas e tabela de vida de *A. grandis* em diferentes temperaturas em dieta natural

Sete câmaras climatizadas foram programadas com diferentes temperaturas (18, 20, 22, 25, 28, 30 e 32 ± 1°C), 70 ± 10% de UR e fotoperíodo de 14:10 [L:E], sendo que cada temperatura correspondeu a um tratamento (essa faixa foi escolhida porque corresponde à maioria das temperaturas médias mensais observadas em diferentes regiões brasileiras). Cento e vinte botões florais contendo ovos de *A. grandis* com até 24 horas de idade foram colocados em placas para cultivo de células. Para cada uma das sete temperaturas (tratamentos), cinco repetições foram avaliadas, sendo que cada repetição consistia de 24 insetos, totalizando 120 insetos por temperatura. Para cada temperatura, a duração do período de desenvolvimento (ovo-adulto) e a viabilidade dos insetos foram observadas diariamente para determinar quantos atingiram a fase adulta.

Vinte e quatro horas após a emergência, todos os bicudos foram separados por sexo de acordo com o descrito em Sappington e Spurgeon (2000). Vinte e cinco machos e fêmeas recém-emergidos foram pareados e colocados em gaiolas individuais compostas por um copo de plástico invertido de 500 mL, ajustado sobre uma tampa de plástico. Na superfície superior, 10 furos foram feitos para impedir o aumento da umidade relativa dentro dos copos. No interior dos copos, quinze botões florais (7-10 mm de diâmetro) foram fornecidos e substituídos diariamente para alimentar os adultos.

Os botões eram removidos todos os dias para contagem do número de ovos, separados no microscópio estereoscópico. A oviposição era distinguida da alimentação pela presença de uma substância de cera ou “frass” fechando a abertura da oviposição; somente os furos sem presença de cera ou fezes foram contabilizados como orifício de alimentação. Foram avaliados os seguintes parâmetros: duração do desenvolvimento (ovo - adulto), período de pré-oviposição, número de ovos, viabilidade ovo-adulto, longevidade dos adultos e razão sexual ($r_s = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$).

3.1.4 Biologia, exigências térmicas e tabela de vida de *A. grandis* criado na dieta artificial baseada em Monnerat et al. (2000) para o bicudo-do-algodoeiro (dieta artificial 1) e dieta artificial desenvolvida por Greene et al. (1976) para *A. gemmatalis* (dieta artificial 2)

Avaliou-se o efeito de diferentes temperaturas no período ovo-adulto do bicudo-do-algodoeiro nas dietas 1 e 2. O delineamento experimental foi semelhante ao descrito para dieta natural (item 3.1.3). Cento e vinte ovos de *A. grandis* foram individualizados em placas para cultivo de células contendo as respectivas dietas artificiais. Para a manutenção dos casais foram fornecidos 2 cubos (1x1x0,3 cm) de cada dieta artificial para cada tratamento, sendo substituída diariamente. Foram avaliados os seguintes parâmetros: duração do desenvolvimento (ovo - adulto), período de pré- oviposição, número de ovos, viabilidade ovo-adulto, longevidade dos adultos e razão sexual ($rs = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$).

3.2 Zoneamento ecológico de *A. grandis* no Brasil

A partir de bases de dados de médias de temperatura de 296 locais (Nasa Power 2018) e os valores da taxa líquida de reprodução (R_0) que foram determinados, referentes a cada temperatura da população, foi possível produzir mapas interpolados para os valores de R_0 .

3.3 Levantamento de espécies de parasitoides larvais de *A. grandis* em algodoeiro

As coletas dos parasitoides foram feitas no campo em área experimental no Departamento de Entomologia e Acarologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP). Semanalmente, foram coletados, desde fevereiro até maio de 2022, botões florais de algodoeiro com larvas de bicudo-do-algodoeiro, identificadas em campo pela marca de oviposição.

Para a coleta na planta foram cortadas a base do pedúnculo dos botões florais selecionados aleatoriamente, com o cuidado de manter a integridade das estruturas reprodutivas. Os botões coletados, presos à planta coletados foram levados ao

laboratório e separados em grupos de 100, para comparação de métodos de obtenção de parasitoides.

3.3.1 Métodos utilizados e processamento do material

3.3.1.1 “Método convencional”

Cem botões florais do algodoeiro com larvas de bicudo foram coletados no campo e individualizados em tubos de ensaio, cobertos com tecido tipo “voile” para circulação de ar, mantidos em sala com temperatura ambiente controlada, de 25°C, até a emergência do adulto do bicudo ou do parasitoide das larvas que se desenvolveram (Figura 5).

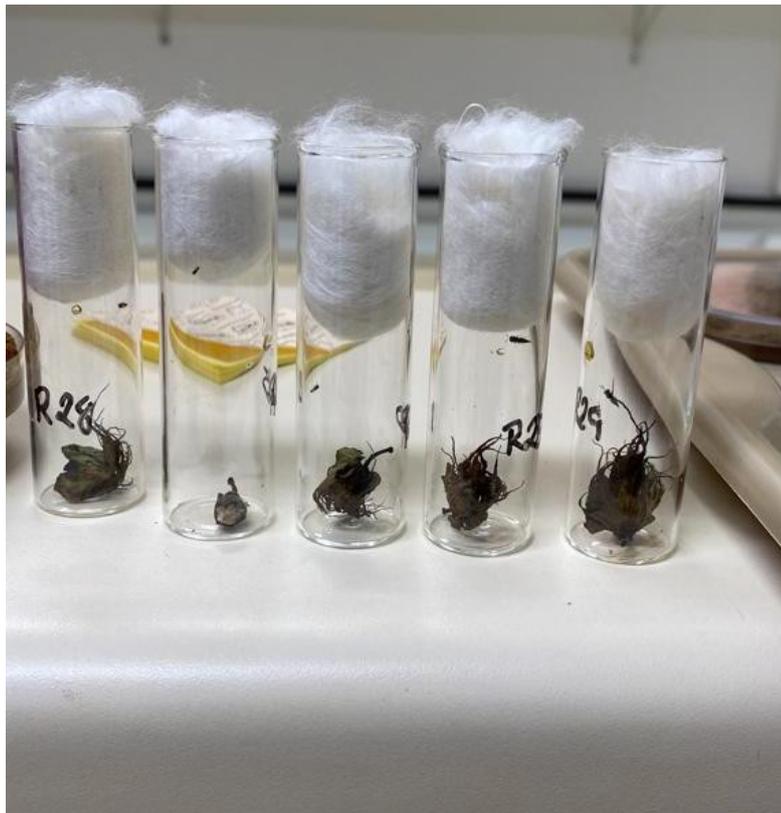


Figura 5. Método convencional, botões florais coletados em campo e acondicionados em tubos de ensaio

3.3.1.2 “Método colar”

Paralelamente, foi testado um outro método de coleta de parasitoides, modificado a partir da técnica de Cross et al. (1969). Nesse caso, os botões florais infestados foram recolhidos das plantas e, com eles, foram formados grupos (“fileiras” ou “colares”) com 10 botões cada, prendendo-os com linha comum e agulha através do pedúnculo (Figura 6). Foram confeccionados 10 colares, totalizando dez grupos de 10 botões, os quais foram pendurados em plantas escolhidas ao acaso no campo experimental. Após uma semana de exposição, os “colares” foram levados ao laboratório onde foram acondicionados em tubos de ensaio nas mesmas condições do “método convencional” (Figura 6).

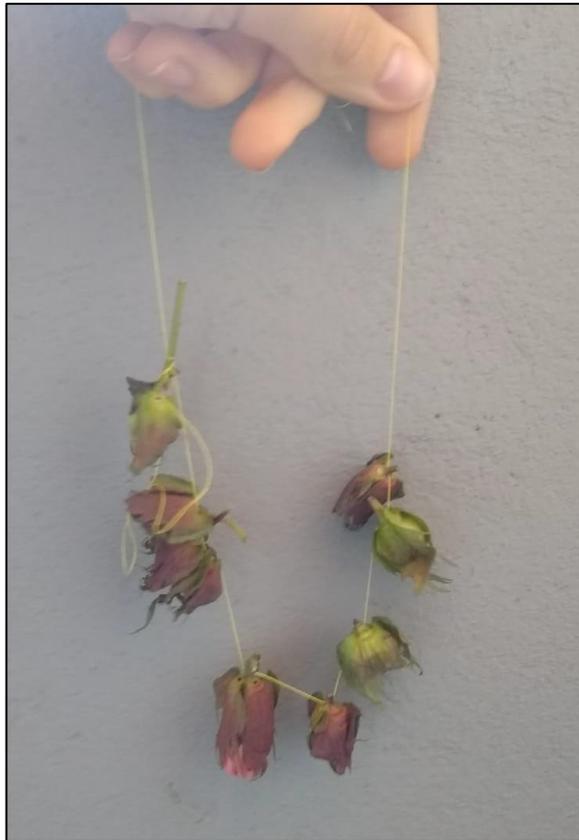


Figura 6. Método Colar mostrando como os botões florais foram agrupados por meio de linha comum.

3.3.1.3 “Método armadilha delta”

Trata-se de uma adaptação do método de colar. Neste método, os botões são dispostos no interior de armadilhas tipo Delta, em 5 grupos de 20 botões (sem o papel adesivo). Após uma semana de exposição, os botões foram levados ao laboratório onde foram acondicionados em tubos de ensaio nas mesmas condições do “método convencional e do método Colar” (Figura 7).



Figura 7. Método Delta, com os botões florais no interior das armadilhas das espécies de parasitoides

3.3.1.4 Identificação

Para todos os métodos, os potes foram inspecionados diariamente coletando-se adultos de parasitoides de larvas de bicudos que fossem recém-emergidos por um período de até 30 dias. Tanto os parasitoides quanto o adulto do bicudo que veio a se desenvolver foram contabilizados, notando-se também o dia da emergência e o dia em que haviam sido coletados primeiramente para posterior identificação e catalogação. Ao fim do período, os botões foram dissecados para constatação de morte por motivos desconhecidos. Os parasitoides obtidos foram devidamente

montados, etiquetados, identificados e depositados na Coleção de Insetos Entomófagos “Oscar Monte” (IBCBE, curador: V.A. Costa), do Instituto Biológico (Campinas, SP), sob número de referência IBCBE-S-812. A identificação dos parasitoides foi realizada pelo Dr. Valmir Antonio Costa, do Instituto Biológico de Campinas, SP.

Registros fotográficos também foram feitos. Com essas observações pode-se constatar a associação parasitoide/hospedeiro, e quantificar as taxas de parasitismo das espécies de parasitoide emergidos.

Ao final do período de 30 dias após a coleta, foi feito exame detalhado dos botões para identificar o orifício de saída do parasitoide e para dissecação das estruturas a fim de se observar os restos deixados pelos parasitoides. Para isso, cortou-se o plano vertical do fruto seco para observar qualquer elemento digno de nota no interior dos frutos que pudesse chamar a atenção em futuras observações.

3.4 Análise estatística

3.4.1 Biologia de *A. grandis* em 2 dietas artificiais e na natural

Foram avaliados os seguintes parâmetros: duração do desenvolvimento (ovo - adulto), viabilidade total, período de pré-oviposição, número de ovos colocados (fecundidade), longevidade dos adultos e razão sexual ($rs = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$).

Os dados foram analisados por meio de modelos lineares generalizados (GLM), sendo do tipo Poisson para comparação das médias de duração ovo-adulto, longevidade, fecundidade e período de pré-oviposição. Os dados referentes à viabilidade e razão sexual entre as temperaturas foram analisados por meio de GLM do tipo binomial, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

3.4.2 Exigências térmicas de *A. grandis* em 2 dietas artificiais e na natural

Após a determinação da duração dos estágios de desenvolvimento em diferentes temperaturas, foram calculadas o limiar térmico inferior (T_b) e a constante térmica (K) usando a seguinte equação linear (Worner 1992; Haddad et al. 1999):

$$1/D = a + bT$$

onde $1/D$ é a taxa de desenvolvimento ($d-1$) e T é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$). O limiar térmico inferior (T_b) foi calculado como razão entre os coeficientes angulares e lineares da linha ($-a/b$) e a constante térmica (K) foi obtida pelo quociente ($1/b$) (Campbell et al. 1974). O ajuste do modelo linear aos dados foi verificado por meio do coeficiente de determinação (R^2). A análise e estimativa dos parâmetros foi realizada no software R (R Development Core Team 2008).

3.4.3 Tabela de vida de fertilidade de *A. grandis* em 2 dietas artificiais e na natural

A partir dos dados de duração, viabilidade, oviposição diária por fêmea, longevidade dos adultos (machos e fêmeas) e razão sexual, foram determinados os parâmetros da tabela de vida de fertilidade de *A. grandis* na dieta artificial, para as sete temperaturas, sendo eles a taxa líquida de reprodução (R_0), razão finita de aumento (λ), taxa intrínseca de crescimento (r_m) e o tempo médio de uma geração (T). Para isso, foi utilizado o software TWOSEX-MSChart (Chi 2023) para determinação dos parâmetros da tabela de vida. A comparação estatística dos valores entre as dietas foi feita por meio do teste Bootstrap, disponível no software TWOSEX-MSChart (Chi 2023).

3.4.4 Zoneamento ecológico de *A. grandis* no Brasil

Para a determinação do zoneamento de *A. grandis*, foram utilizados os valores de R_0 da tabela de vida de fertilidade. Para isso, foram ajustados modelos matemáticos para relacionar a influência da temperatura com R_0 . Para isso, foi utilizado um modelo gaussiano para estabelecer essa relação seguindo a metodologia proposta por Sandhu et al (2013).

A partir de bases de dados de médias de temperatura de 296 locais (Nasa Power, 2018) e os valores da taxa líquida de reprodução (R_0) referentes a cada temperatura da população, foi possível produzir mapas interpolados para os valores de R_0 . Para a interpolação, utilizou-se software QGIS (QGIS Development Team 2022) que permitiu a elaboração do mapa de distribuição da praga nas regiões

algodoeiras do Brasil com base em equações de distribuição de R_0 em função dos valores de temperatura.

3.4.5 Levantamento de espécies de parasitoides larvais de *A. grandis* em algodoeiro

A média do parasitismo total e semanal obtido para cada amostra foram analisados através de análise de variância (one-way ANOVA) e comparados usando o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) com o software R (R Development Core Team 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Biologia comparada de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) em diferentes temperaturas em 2 dietas artificiais e na natural

As temperaturas estudadas neste experimento permitiram o total desenvolvimento de *A. grandis* criado nas 3 diferentes dietas. Foi observado que as variáveis biológicas foram altamente influenciadas pela temperatura. Verificaram-se diferenças significativas na duração do desenvolvimento total (ovo-adulto) entre as temperaturas testadas em cada dieta de *A. grandis* ($F=229.46$; $P<0.001$). Em termos de duração do período ovo-adulto, os valores obtidos para as sete temperaturas diferiram entre si. O tempo de desenvolvimento de cada estágio decresceu conforme a temperatura aumentou. Foi observado que os bichos avaliados nas diferentes dietas não apresentaram diferenças biológicas significativas entre as temperaturas testadas ($F=18.78$; $P=0.85$) (Tabela 3).

Para os resultados de viabilidade, houve diferenças significativas entre as temperaturas testadas para cada dieta ($F=58.92$; $P<0.001$), porém não foram observadas diferenças significativas entre as dietas testadas ($F=1.73$; $P=0.18$). Os dados mostraram que a população mantida em dieta artificial 1 apresentou valores de viabilidade superiores entre 18°C e 28°C, numericamente maiores do que os observados nos indivíduos da dieta natural e artificial 2; entretanto nas temperaturas de 30°C e 32°C foram observados maiores valores de viabilidade para dieta natural e artificial 2, uma possível explicação para esse evento consiste na quantidade de água presente nas diferentes dietas, visto que o botão floral e dieta artificial 2 podem ter maiores quantidades de água e em temperaturas mais altas a dieta artificial 1 acaba perdendo água mais facilmente. Entre todos os tratamentos testados para cada dieta foram observadas diferenças significativas e maiores valores para as temperaturas de 25°C e 28°C, indicando que essas faixas de temperaturas são mais adequadas para desenvolvimento da espécie, independente da dieta (Tabela 3).

Tabela 3. Duração (dias) e viabilidade (%) do período ovo-adulto de *Anthonomus grandis* criado em sete temperaturas em 2 dietas artificiais e natural. UR de 70±10%; fotofase: 14h.

| T (°C) | Duração (Ovo-adulto) | | | Viabilidade (Ovo-adulto) | | |
|--------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| | D. natural | D. artificial 1 | D. artificial 2 | D. natural | D. artificial 1 | D. artificial 2 |
| 18 | 45,9±0,06aA | 46,2±0,19aA | 46.33±0.16aA | 22,1±0,01aA | 23.3±2.1cA | 20.8±0.01 aA |
| 20 | 39,8±0,05bA | 40,7±0,16bA | 41.22±0.28bA | 28,6±0,03abA | 29.2±4.5cA | 29.0±0.04 aA |
| 22 | 27,5±0,07cA | 28,1±0,16cA | 28.64±0.15cA | 48,9±0,03cA | 49.6±4.5bA | 47.2±0.04 bA |
| 25 | 21,8±0,05dA | 22,3±0,18dA | 22.55±0.10dA | 60,3±0,03dA | 60.8±6.8aA | 58.3±0.02 cA |
| 28 | 20,8±0,06eA | 21,0±0,11eA | 21.24±0.12eA | 50,1±0,01dA | 51.6±3.1abA | 49.5±0.04 cA |
| 30 | 17,9±0,06fA | 18,7±0,16fA | 18.45±0.14fA | 39,5±0,02bcA | 37.2±3.9bcA | 38.3±0.03 aA |
| 32 | 15,8±0,06gA | 16,1±0,23gA | 16.04±0.14gA | 23,6±0,02aA | 22.1±2.5cA | 23.0±0.03 aA |

Médias seguidas de letras diferentes, na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); *letras minúsculas representam comparação entre os tratamentos da mesma dieta, letras maiúsculas representam comparação entre as dietas

Os períodos de pré-oviposição foram significativamente afetados pela temperatura, nos diferentes tratamentos para cada dieta, foi observada uma tendência de diminuição da duração com o aumento térmico ($F=357.45$; $P<0.001$). Porém, não foram observados diferenças significativas entre as dietas testadas para as temperaturas de 18, 20 e 22°C; somente a 25, 28, 30, 32°C, houve diferenças significativas entre dieta natural e as duas artificiais (Tabela 4). Na razão sexual dos insetos não houve diferenças significativas nas diferentes temperaturas testadas nas dietas avaliadas e entre elas (Tabela 4) ($F= 0.63$; $P=0.69$), ($F=16.01$; $P=0.86$). Em relação à fecundidade, foram observadas diferenças estatísticas entre as temperaturas nas dietas ($F=183.6$; $P<0.001$), porém não foram observadas diferenças significativas entre as dietas ($F=8.85$; $P=0.03$), as análises demonstraram que para as dietas testadas o máximo de oviposição foi observado nas temperaturas de 25°C e 28°C (Tabela 4). Pode-se observar que a fecundidade, portanto, foi dependente da temperatura, mas sempre maior na temperatura de 25°C e 28°C, com variação de 257, 255, 251 ovos/fêmea (25°C) e 245, 239 e 237 ovos/fêmea (28°C) nas dietas natural, artificial 1 e artificial 2, respectivamente.

Fêmeas e machos foram mais longevos nas temperaturas mais baixas em relação às mais elevadas, ocorrendo diferenças significativas entre as temperaturas estudadas nas dietas na longevidade de fêmeas ($F=494.07$; $P<0.001$), e de machos ($F=568.37$; $P<0.001$), porém não houve diferenças significativas entre as dietas testadas na longevidade de fêmeas ($F=13.25$; $P=2.73$) e machos ($F= 10.84$; $P=2.57$) (Tabela 4). Os resultados da maior longevidade nas temperaturas mais baixas eram esperados, devido, evidentemente, à menor atividade metabólica nestas temperaturas.

Tabela 4. Período de pré-oviposição, fecundidade, longevidade e razão sexual de *Anthonomus grandis* criado em sete temperaturas, em 2 dietas artificiais e na natural. UR de 70±10%; fotofase: 14h.

| Dieta | Temperatura (°C) | Razão sexual | Período de pré-oviposição (dias) | Fecundidade | Longevidade (dias) | |
|--------------------|------------------|--------------|----------------------------------|---------------|--------------------|--------------|
| | | | | | Fêmea | Macho |
| Natural | 18 | 0,46±0,02aA | 10,7 ±0,11aA | 35,1±3,25aA | 118,3±2,29aA | 112,2±3,32aA |
| | 20 | 0,46±0,01aA | 6,4±0,16bA | 100,3±8,14bcA | 76,5±0,97bA | 70,4±3,18bA |
| | 22 | 0,48±0,05aA | 5,8±0,09bA | 158±13,9cA | 70,5±2,72bA | 66,7±2,97cA |
| | 25 | 0,52±0,02aA | 4,73±0,15cA | 257±9,90dA | 57,1±1,91cA | 56,3±1,29dA |
| | 28 | 0,48±0,01aA | 4,13±0,13dA | 245±5,61dA | 49,5±1,31cA | 42,3±2,10dA |
| | 30 | 0,47±0,04aA | 3,6±0,13eA | 73,1±9,28bA | 35,5±1,72dA | 34,5±1,02eA |
| | 32 | 0,47±0,01aA | 3,07±0,11fA | 14,2±3,13aA | 14,8±0,73eA | 12,0±0,68fA |
| Dieta Artificial 1 | 18 | 0,51±0,04aA | 10,2±0,13aA | 33,7±3,05aA | 115±2,82aA | 111±4,90aA |
| | 20 | 0,43±0,09aA | 6,5±0,15bA | 99,3±10,6bA | 75,2±1,88bA | 66,5±1,94bA |
| | 22 | 0,43±0,07aA | 6,1±0,13bA | 156±12,1cA | 72,9±2,19bA | 64±3,11bA |
| | 25 | 0,50±0,04aA | 5,56±0,08cB | 255±15,8dA | 56,1±1,44cA | 55,1±1,31dA |
| | 28 | 0,45±0,05aA | 4,93±0,04dB | 239±17,9dA | 47,7±1,44dA | 41,0±1,95dA |
| | 30 | 0,51±0,10aA | 4,52±0,11dB | 70,2±9,59bA | 34,4±1,17eA | 31,9±1,44eA |
| | 32 | 0,49±0,06aA | 3,38±0,18eB | 9±1,47aB | 14,2±1,32fA | 11,8±0,82fA |
| Dieta Artificial 2 | 18 | 0,48±0,03aA | 10,3±0,12aA | 32,6±9,9aA | 111±5,75aA | 109±3,32aA |
| | 20 | 0,43±0,05aA | 6,3±0,18bA | 99,4±8,90bA | 76,3±3,68bA | 69,7±2,39bA |
| | 22 | 0,46±0,06aA | 6,2±0,15bA | 154±4,20cA | 69,5±2,32cA | 65,4±1,62bA |
| | 25 | 0,50±0,04aA | 5,87±0,15cB | 251±9,14dA | 54,1±0,75dA | 54,1±0,98cA |
| | 28 | 0,43±0,06aA | 4,97±0,09dB | 237±7,4dA | 46,0±1,69eA | 40,3±1,55cA |
| | 30 | 0,47±0,08aA | 4,42±0,13dB | 70,9±18,0bA | 35,2±1,28fA | 32,5±1,52dA |
| | 32 | 0,49±0,03aA | 2,93±0,07eB | 13,7±1,53aA | 14,7±0,76gA | 11,2±1,32eA |

Médias seguidas de letras diferentes, na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05); *letras minúsculas representam comparação entre os tratamentos da mesma dieta, letras maiúsculas representam comparação entre as dietas

4.2 Exigências térmicas de *A. grandis* criado em diferentes temperaturas em 2 dietas artificiais e na natural

Os valores calculados para constante térmica (K) e limiar térmico inferior de desenvolvimento ou temperatura base (Tb), na dieta natural foram de 346,76 GD e 10,33°C, na dieta artificial 1, de 357,84 GD e 10,18°C, na dieta artificial 2, e de 363,83 GD e 10,09°C, respectivamente (Tabela 5, Figura 8). Foi observado que, tanto para as dietas artificiais quanto para a natural, a temperatura influenciou significativamente a duração do desenvolvimento ovo-adulto.

Tabela 5. Constante térmica (K) e limiar térmico inferior de desenvolvimento (Tb) estimado para o período ovo-adulto de *Anthonomus grandis* criado em 2 dietas artificiais e na natural.

| | K | Tb |
|--------------------|--------|-------|
| Dieta natural | 346,76 | 10,33 |
| Dieta artificial 1 | 357,84 | 10,18 |
| Dieta artificial 2 | 363,83 | 10,09 |

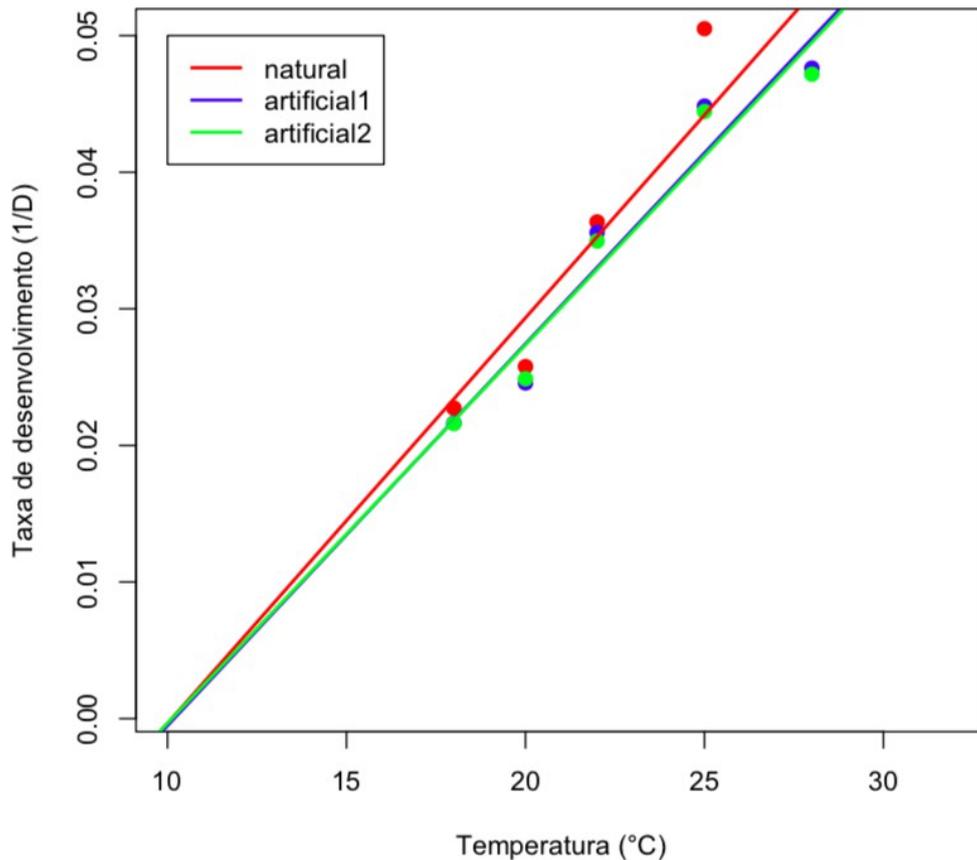


Figura. 8: Taxa de desenvolvimento de *Anthonomus grandis* criado em duas dietas artificiais e na natural em diferentes temperaturas. UR de $70\pm 10\%$; fotofase: 14h.

4.3 Tabela de vida de fertilidade de *A. grandis* em diferentes temperaturas criado em 2 dietas artificiais e na natural

Com base nos parâmetros da tabela de vida de fertilidade em diferentes temperaturas, foi observado que as populações apresentaram um melhor desempenho reprodutivo entre 25°C e 28°C em todas as dietas testadas (Tabela 4), mesmas temperaturas encontradas para a maior fecundidade (Tabela 4). Quanto ao R_0 (número de vezes que a população aumenta a cada geração), houve diferença entre todas as dietas testadas, exceto na faixa favorável (25°C e 28°C). O tempo médio de uma geração (T) foi significativamente afetado pela temperatura. Todos os indivíduos apresentaram uma diminuição na duração com o aumento da

temperatura, havendo diferenças significativas entre todas as temperaturas testadas, exceto nas de 25°C e 28°C (ver Tabela 6). O mesmo ocorre para taxa intrínseca de crescimento (r_m) e razão finita de aumento (λ); na faixa térmica mencionada anteriormente (25°C e 28°C) foram observados os maiores valores nas dietas testadas (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros da Tabela de vida de fertilidade de *Anthonomus grandis* em sete temperaturas em 2 dietas artificiais e na natural. UR de $70\pm 10^{\circ}\text{C}$; fotofase: 14h.

| Dieta | T (°C) | λ | r_m | R_0 | T |
|--------------------|--------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Natural | 18 | 1,020 \pm 0,003 aA | 0,019 \pm 0,003aA | 3,783 \pm 0,938aA | 70,191 \pm 1,035aA |
| | 20 | 1,042 \pm 0,004bA | 0,041 \pm 0,004bA | 11,975 \pm 2,963bA | 63,157 \pm 0,560bA |
| | 22 | 1,069 \pm 0,005cA | 0,066 \pm 0,005cA | 29,287 \pm 7,267cA | 50,426 \pm 0,949cA |
| | 25 | 1,149 \pm 0,009dA | 0,139 \pm 0,007dA | 76,380 \pm 18,930dA | 39,807 \pm 0,518dA |
| | 28 | 1,125 \pm 0,007dA | 0,127 \pm 0,007dA | 74,820 \pm 17,330dA | 38,424 \pm 0,222dA |
| | 30 | 1,100 \pm 0,010cA | 0,095 \pm 0,009cA | 12,887 \pm 4,066eA | 29,113 \pm 0,546eA |
| | 32 | 1,009 \pm 0,012eA | 0,009 \pm 0,012aA | 0,760 \pm 0,330fA | 22,042 \pm 1,243fA |
| Dieta Artificial 1 | 18 | 1,016 \pm 0,004aA | 0,016 \pm 0,004aA | 3,367 \pm 0,972aAB | 72,948 \pm 1,613aA |
| | 20 | 1,035 \pm 0,005bA | 0,034 \pm 0,005bA | 9,932 \pm 2,896bA | 64,874 \pm 1,035bA |
| | 22 | 1,067 \pm 0,004cA | 0,065 \pm 0,004cA | 28,623 \pm 5,921cA | 50,782 \pm 0,850cA |
| | 25 | 1,111 \pm 0,004dA | 0,105 \pm 0,004dA | 74,7661 \pm 11,411dA | 40,754 \pm 0,521dA |
| | 28 | 1,111 \pm 0,004dA | 0,105 \pm 0,004dA | 74,722 \pm 11,446dA | 40,755 \pm 0,528dA |
| | 30 | 1,083 \pm 0,008cA | 0,084 \pm 0,008cA | 11,681 \pm 2,841eA | 30,179 \pm 0,568eA |
| | 32 | 0,979 \pm 0,001eA | -2,084 \pm 0,018eA | 0,675 \pm 0,2399fA | 22,419 \pm 0,989fA |
| Dieta Artificial 2 | 18 | 1,012 \pm 0,005aA | 0,012a \pm 0,005aA | 2,791 \pm 1,176aB | 73,142 \pm 7,643aA |
| | 20 | 1,037 \pm 0,004bA | 0,037 \pm 0,004bA | 10,558 \pm 3,071bA | 65,182 \pm 0,857bA |
| | 22 | 1,065 \pm 0,004cA | 0,060 \pm 0,004cA | 28,102 \pm 5,470cA | 51,232 \pm 0,302cA |
| | 25 | 1,109 \pm 0,004dA | 0,104 \pm 0,004dA | 74,266 \pm 10,715dA | 41,212 \pm 0,230dA |
| | 28 | 1,107 \pm 0,005dA | 0,103 \pm 0,005dA | 71,083 \pm 8,401dA | 40,909 \pm 0,0240dA |
| | 30 | 1,091 \pm 0,001cA | 0,087 \pm 0,009cA | 14,233 \pm 4,065eA | 29,31 \pm 0,515eA |
| | 32 | 1,001 \pm 0,014eA | 0,001 \pm 0,014fA | 0,725 \pm 0,303aA | 22,090 \pm 1,416fA |

Médias seguidas de letras diferentes, na vertical, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); *letras minúsculas representam comparação entre os tratamentos da mesma dieta, letras maiúsculas representam comparação entre as dietas. λ : razão finita de aumento; r_m : taxa intrínseca de crescimento; R_0 : taxa líquida de reprodução; T: tempo médio de uma geração

Aspectos biológicos comparativos de *A. grandis* em sete temperaturas constantes foram avaliados. Os resultados indicaram interação temperatura e espécie nas durações dos estágios de desenvolvimento e no período ovo-adulto. Neste aspecto, resultados semelhantes foram encontrados, na literatura, onde observou-se que a duração de desenvolvimento de ovo até fase adulta foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura (Fye et al. 1969, Cole e Adkison. 1982, Greenberg et al. 2005 Spurgeon e Raulston 1998).

A viabilidade total foi afetada pelos valores extremos de temperatura, sendo mais baixa a 18°C e 32°C, indicando maior vulnerabilidade nessas condições em todas as dietas testadas. O mesmo padrão foi observado em outros estudos de biologia como o de Cole e Adkison (1982) e de Greenberg (2005), onde os estudos indicaram temperaturas ótimas para a viabilidade da espécie ao redor de 23,9°C e 29,5°C. À medida que as temperaturas se deslocavam para os extremos (18°C e 32°C) observou-se uma redução na porcentagem de sobrevivência.

As maiores fecundidades médias observadas foram a 25°C e 28°C (Tabela 8), valores próximos aos encontrados por Greenberg et al. (2005) e Cole e Adkison (1981), ou seja, 185 e 104 ovos/ fêmea, respectivamente. Segundo Cole e Adkison (1981) nenhum ovo foi depositado a 15,6°C e temperaturas acima de 29,5°C também foram prejudiciais à postura de *A. grandis*. De acordo com Greenberg et al. (2003), a quantidade do número de botões florais oferecidos para as fêmeas pode interferir na quantidade de ovos colocados por dia por fêmea; naquele trabalho os autores ofereceram 1, 5, 10, 15, 20 botões por fêmea por dia para oviposição e alimentação, e os resultados observados foram semelhantes aos do presente trabalho, no qual foram oferecidos 15 botões florais por dia. Assim, a fecundidade encontrada pelos referidos autores foi de 259.3 ovos por fêmea a 27°C e no presente trabalho foram registrados 245 ovos/fêmea a 28°C nos botões florais.

Maior longevidade foi observada nas diferentes dietas neste trabalho quando comparado a Greenberg et al. (2005). Foi observada uma maior longevidade dos adultos no presente trabalho, isto pode indicar que pode haver diferenças entre os recursos alimentares oferecidos aos adultos, como variedade do algodoeiro e composição da dieta artificial, além das diferenças fisiológicas entre as diferentes linhagens de bicudos testadas nos diferentes trabalhos (Pires et al. 2017, Marquesini et al., 2021). As condições prévias de alimentação dos estágios imaturos em campo também podem afetar a longevidade de adultos. De acordo com Paula et al (2013),

larvas que se desenvolvem em maçãs resultam em adultos maiores e com maiores reservas lipídicas, o que fornece energia para sobrevivência no final do ciclo do algodoeiro. Esse padrão está associado à fenologia do algodoeiro e pode ser considerado a principal estratégia adaptativa do bicudo para superar os períodos de entressafra no Centro-Oeste do Brasil.

O atual trabalho apresentou pela primeira vez, um estudo de exigências térmicas realizado com populações de origem tropical (Brasil). Na presente pesquisa os resultados para 2 dietas artificiais e a dieta natural foram próximos de 10°C, valores próximos aos encontrados por Fye e Bonham (1969), que ao avaliarem a biologia de *A. grandis* determinaram um limiar térmico inferior de 12,9°C; (Tabela 5). Tal diferença pode estar associada às diferenças temporais e geográficas das populações estudadas. Foi observado que, tanto para a dieta artificial quanto para a natural, a temperatura influenciou significativamente a duração do desenvolvimento ovo-adulto.

Os resultados da tabela de vida de fertilidade mostraram uma taxa de liquida de reprodução (R_0), maior nas temperaturas de 25°C ou 28°C. Essa faixa ótima de temperatura para o crescimento populacional também foi observada por Greenberg et al. (2005), apresentando um valor de R_0 igual a 66,8 a 25°C, próximo aos valores apresentados neste estudo na dieta natural, dieta artificial 1 e 2, ou seja, 76,38; 74,77; 74,26, respectivamente.

O tempo médio de uma geração (T) foi significativamente afetado pela temperatura. Todos os indivíduos apresentaram uma diminuição na duração com o aumento da temperatura, havendo diferenças significativas entre todas as temperaturas testadas, exceto nas de 25°C e 28°C (Tabela 6); para este parâmetro, outros autores como Greenberg et al. (2005) observaram valores menores no tempo médio de uma geração, estas diferenças podem estar associadas a vários aspectos como as populações utilizadas nos diferentes trabalhos e a influência dos fatores abióticos nos locais em que as populações foram coletadas, os quais podem influenciar os diferentes aspectos bioecológicos dos insetos estudados.

A taxa finita de aumento (λ), indica o número adicionado à população por fêmeas que darão fêmeas; na faixa térmica mencionada anteriormente (25°C e 28°C), também foram observados os maiores valores nas 3 dietas testadas (Tabela 5), corroborando com estudos feitos por Greenberg et al. (2005). Os valores da taxa intrínseca de crescimento (r_m) seguiram a mesma tendência de R_0 e λ .

Durante a oviposição foram registradas algumas observações comportamentais: os bicudos criados em dieta artificial têm uma tendência a ovipositar na superfície das dietas artificiais oferecidas e os bicudos coletados em campo, criados em botão floral, ovipositam no interior dos botões, nas plantas; entretanto, quando são oferecidos botões florais aos bicudos criados em laboratório eles apresentam essa mesma característica de oviposição na superfície dos botões florais, essas observações parecem indicar que os insetos de laboratório tendem a perder a capacidade de oviposição, sendo importante constantes introduções de espécies de campo. Porém, novas pesquisas em relação à resposta de oviposição em condições de laboratório, semi-campo e campo precisam ser feitas para melhorar o manejo da espécie no campo.

Os resultados aqui apresentados indicam que as dietas artificiais testadas permitem o bom desenvolvimento do inseto como demonstrado pelos parâmetros da tabela de vida de fertilidade (Tabela 6), deste modo, são dietas possíveis de serem utilizadas para produção de *A. grandis*, ainda dentro desse contexto destaca-se o uso da dieta de Greene et al., 1976, que apresenta uma possibilidade de redução de custos por não ser necessário o uso de Pharmamedia® e Ágar (produtos de alto custo). Portanto, deve-se ser recomendada a dieta de Greene et al. (1976) que é de menor custo, não necessita de ágar, sendo substituído por caragenina de menor valor e nem o produto importado Pharmamedia®, além de produzir insetos com características biológicas semelhantes às outras dietas testadas, incluindo a natural.

4.4 Zoneamento ecológico de *A. grandis* no Brasil

Para a confecção do zoneamento de *A. grandis*, foi utilizado como base o parâmetro R_0 da tabela de vida de fertilidade (Tabela 6). Como não houve diferenças significativas entre as dietas testadas, os dados da população criada em dieta artificial 1 foram considerados para elaboração do mapa. Para isso, foi ajustado um modelo gaussiano para relacionar temperatura e R_0 (Figura 9).

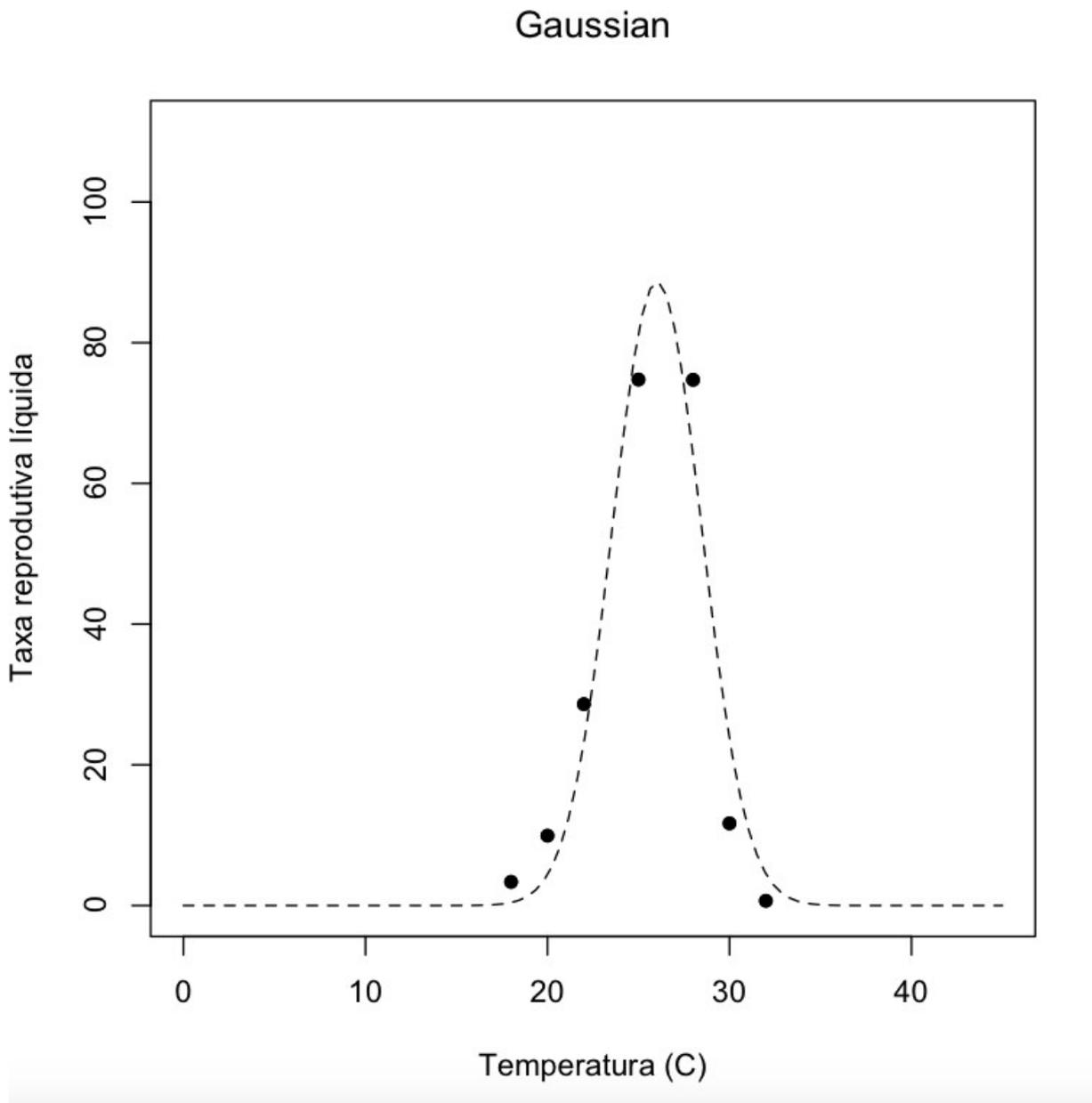


Figura 9. Curva gaussiana da taxa líquida reprodutiva (R_0) de *Anthonomus grandis* em relação à temperatura.

Usando o modelo Gaussiano, os valores de R_0 foram estimados a partir das normais climatológicas de 296 estações meteorológicas no Brasil e a partir desses dados foi possível obter um mapa interpolado de distribuição da praga levando-se em consideração a temperatura (Figura 10).

O mapa de temperatura mostrou que os valores mais altos ($R_0 \geq 70$) estão concentrados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (Figura 10). Levando-se

em consideração o mapa (Figura 10), nas áreas produtoras de algodão do Centro-Oeste e da região Nordeste (onde estão localizados os estados de Mato Grosso e Bahia, responsáveis pela maior produção nacional de algodão, respectivamente), há um maior crescimento populacional. Além disso, as temperaturas médias durante a entressafra nessas regiões, juntamente com as características biológicas mencionadas do inseto, contribuem para a manutenção da praga nessas áreas.

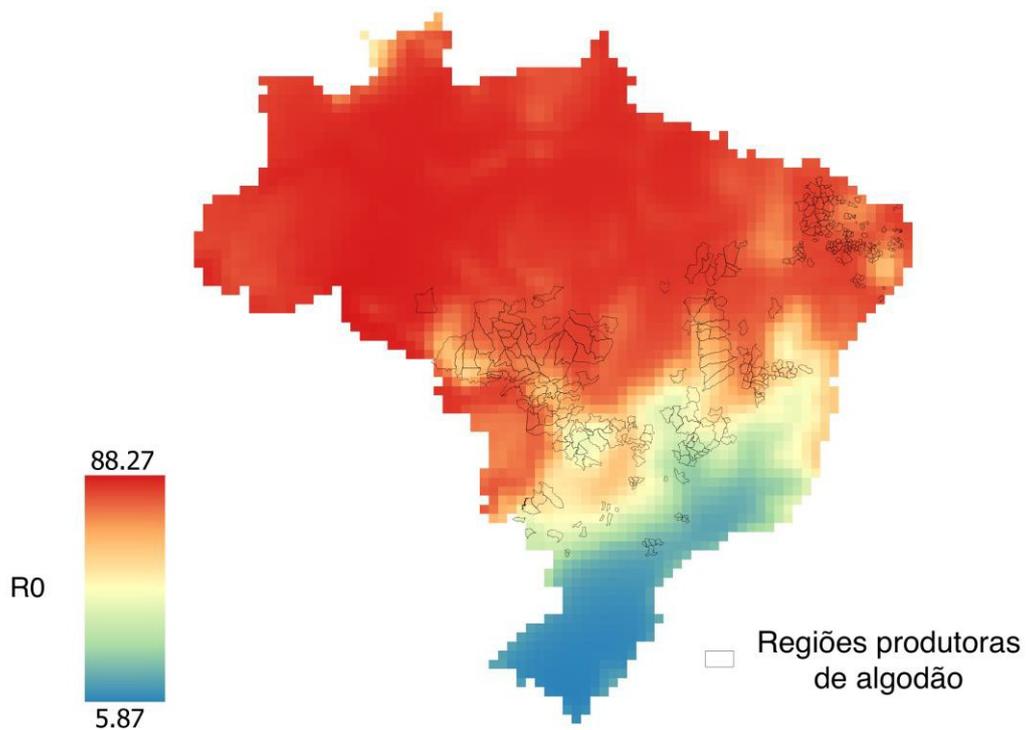


Figura 10. Mapa da distribuição de *Anthonomus grandis* nas regiões algodoeiras do Brasil, utilizando-se dados de temperatura interpolados com a taxa líquida reprodutiva (R_0).

O mapa temático baseado no R_0 e temperatura (Figura 10) indica que as regiões de clima tropical onde as temperaturas médias são superiores a 20°C são mais favoráveis para populações de *A. grandis*. Nessas regiões, que correspondem ao Centro-Oeste e Nordeste brasileiros (e pequena porção do Sudeste), o R_0 estimado foi superior a 70 a 25°C. Tal distribuição foi corroborada por Azambuja e Degrande (2014), que indicam forte ocorrência de *A. grandis* nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba Pernambuco, Rio Grande do Norte (Nordeste), Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste) e São Paulo (Sudeste). O zoneamento ecológico apresentou apenas valores da taxa líquida de reprodução, R_0 , de tabela de vida em diferentes temperaturas; contudo, outros elementos fisiológicos e comportamentais podem ser observados em condições de campo, tais como diapausa e exploração de recursos alimentares alternativos durante o período de entressafra (Ribeiro et al. 2010; Paula et al. 2013). Uma característica genética importante das populações de *A. grandis* no Brasil é o seu isolamento genético, sendo que cada região se diferencia pelos seus correspondentes haplótipos (Marquesini 2021). De acordo com uma pesquisa realizada por Degrande (2004), o bicudo-do-algodoeiro está ocorrendo em todas as áreas de cultivo representadas na Figura 10. Embora o limiar térmico inferior seja de 10,18°C observado no presente trabalho, o inseto pode entrar em diapausa ou dormência reprodutiva (Paula et al. 2013; Brazzel e Newsom 1959; Spurgeon e Raulston 1998), o que lhe permite sobreviver em temperaturas mais baixas. Observam-se que as temperaturas médias em todas as regiões do território brasileiro indicam um valor de R_0 superior a 5 em todas as regiões, o que indica que essa espécie é capaz de sobreviver desde o extremo sul até o extremo norte, quando as plantas hospedeiras estão disponíveis.

De forma geral, a metodologia proposta neste trabalho apresenta um componente interessante para compreender a dinâmica populacional das espécies de interesse, devido à integração das variáveis biológicas e ecológicas dos insetos com sua distribuição geográfica. Tal abordagem foi utilizada com sucesso por Lacerda et al (2019) e Parra et al (2022). Contudo, um posterior estudo de validação seria necessário para se verificar os valores estimados em cada região. Em síntese, as informações geradas sobre a biologia da praga demonstraram a influência que a temperatura tem sobre seu desenvolvimento e aspectos reprodutivos.

De maneira geral, o método proposto aqui é útil para entender a dinâmica populacional de uma espécie de interesse, uma vez que integra variáveis biológicas e ecológicas de insetos com sua distribuição geográfica. No entanto, um estudo de validação subsequente seria necessário para verificar os valores estimados em cada região. Em resumo, as informações geradas sobre a biologia da praga demonstraram o efeito da temperatura em seu desenvolvimento e aspectos reprodutivos. No caso da utilização do inimigo natural, *Jaliscoa grandis*, este zoneamento poderá ser uma indicação dos locais para liberação desse inimigo natural, conforme feito para *Tamarixia radiata* em citros (Garcia et al. 2019)

4.5 Levantamento de espécies de parasitoides larvais de *A. grandis* em algodoeiro

4.5.1 Identificações dos parasitoides coletados

Foram coletados botões ao longo de 12 semanas no ano de 2022, entre os meses de fevereiro e maio, distribuídos entre os métodos “convencional”, “colar” e “delta”. Um total de 193 parasitoides foram recuperados, emergidos principalmente das coletas feitas pelos métodos “colar” e “delta”.

Dentre as 5 espécies de parasitoides distintos recuperados (Tabela 7, Figuras 11 e 12), *Jaliscoa grandis* Burks, 1954 (Hymenoptera, Pteromalidae) foi a espécie predominante, seguida de *Eurydinoteloidea incerta* Ashmead, 1893 (Hymenoptera, Pteromalidae). As duas espécies são de difícil identificação por apresentarem poucas características distintivas. A diferenciação das duas espécies dentre aquelas registradas sendo parasitoides do bicudo pode ser feita pela contagem dos segmentos das antenas dos insetos (Gibson, 2013).

É importante levar em conta que essas duas espécies de insetos estão dentre aquelas que são parasitoides do bicudo-do-algodoeiro, nesse cenário, pode-se avaliar características distintivas dos grupos para chegar-se à identificação acertada. Porém, é imprescindível a sequência correta das chaves de identificação, como a de Gibson (2011, 2013), ou, como foi realizado, pelo envio a especialistas do grupo.

Tabela 7. Parasitoides de *Anthonomus grandis* (Coleoptera: Curculionidae) coletados em algodoeiro em Piracicaba (SP). Fevereiro-Maio/2022.

| Parasitoide | Família | Quantidade |
|---|--------------|------------|
| <i>Bracon cf. vulgaris</i> | Braconidae | 2 |
| <i>Eupelmus pulchriceps</i> (Cameron, 1904) | Eupelmidae | 2 |
| <i>Eurydinoteloides incerta</i> (Ashmead, 1893) | Pteromalidae | 15 |
| <i>Jaliscoa grandis</i> (Burks, 1954) | Pteromalidae | 168 |
| <i>Pteromalinae</i> indeterminado | Pteromalidae | 3 |
| Total geral | | 193 |

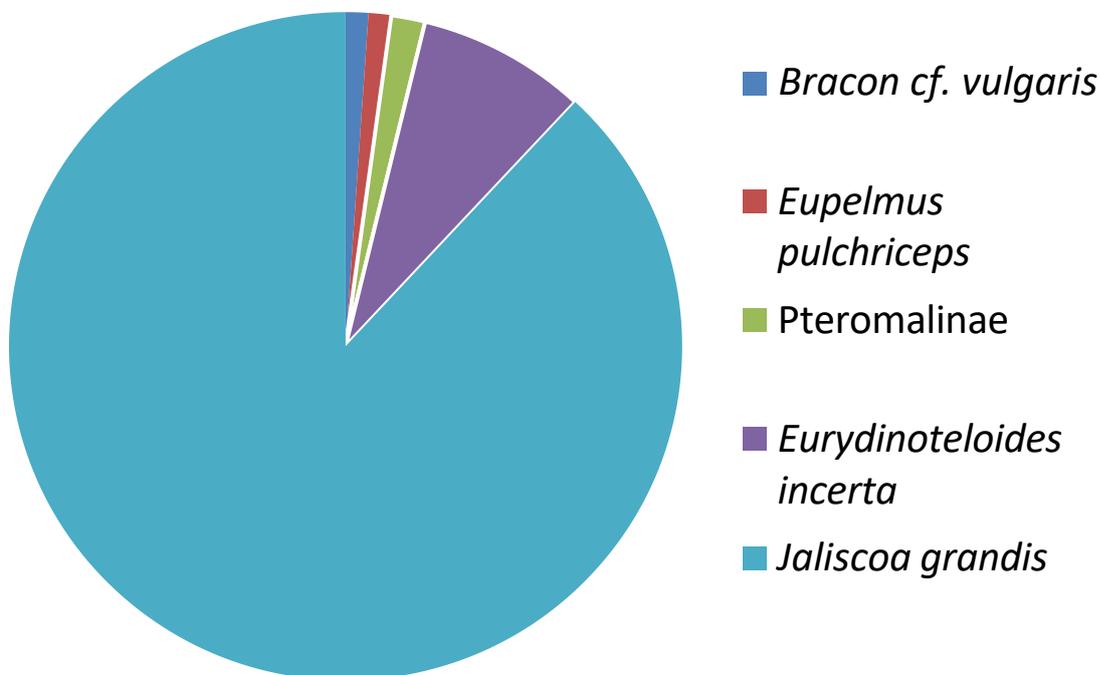


Figura 11. Distribuição percentual do número de parasitoides de *A. grandis* obtidos durante doze semanas de amostragem

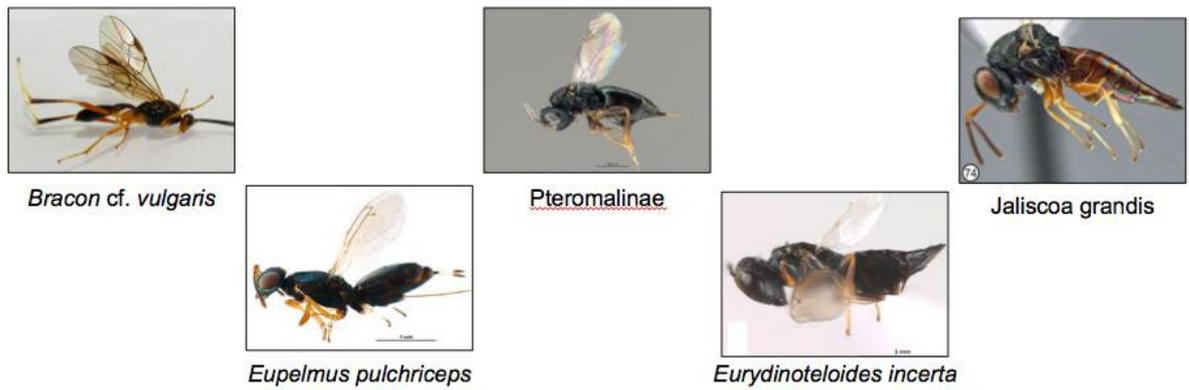


Figura 12. Parasitoides de *A. grandis* coletados em algodoeiro em Piracicaba (SP).

4.5.2 Parasitismo em cada método de coleta

As taxas de parasitismo de cada método estudado foram apresentadas na Figura 13. Na Figura 14 pode-se observar a taxa de parasitismo de cada método ao longo das 12 semanas de coleta, com exceção das taxas de parasitismo do método no dia 07.05, pois ambos foram perdidos devido às chuvas durante a semana de exposição no campo.

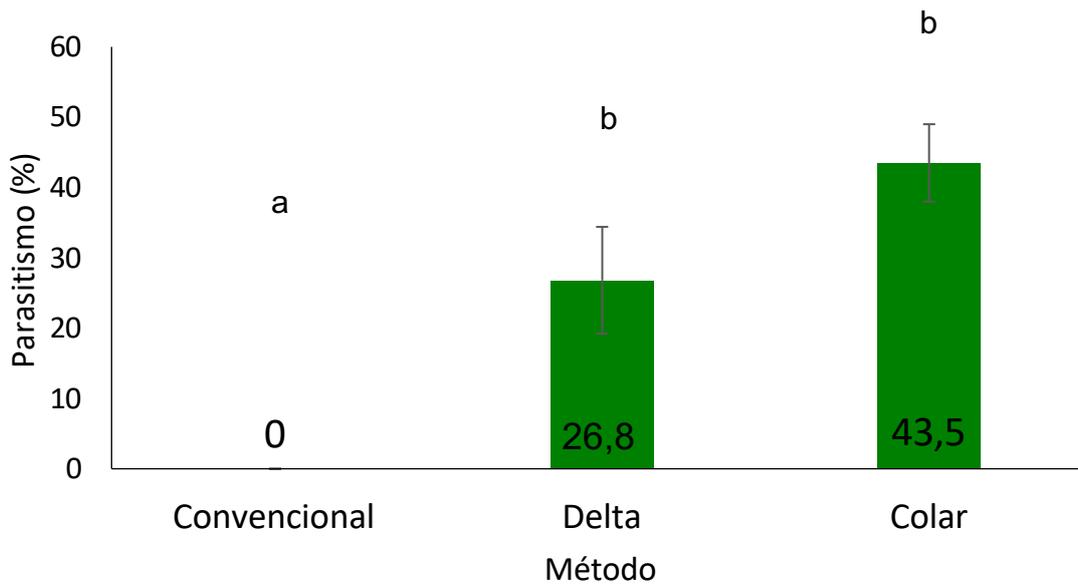


Figura 13. Taxa de parasitismo (%) de *Anthonomus grandis* nos 3 métodos estudados

Durante as 12 semanas, não foi observada qualquer emergência de parasitoides usando o método “convencional”. Foi levantada a hipótese de que os botões, que foram coletados todos diretamente das plantas a que estavam fixados, ainda que atacados pelo bicudo-do-algodoeiro, não necessariamente estariam ainda expostos aos parasitoides das larvas dessa praga e portanto, não teriam sido parasitados.

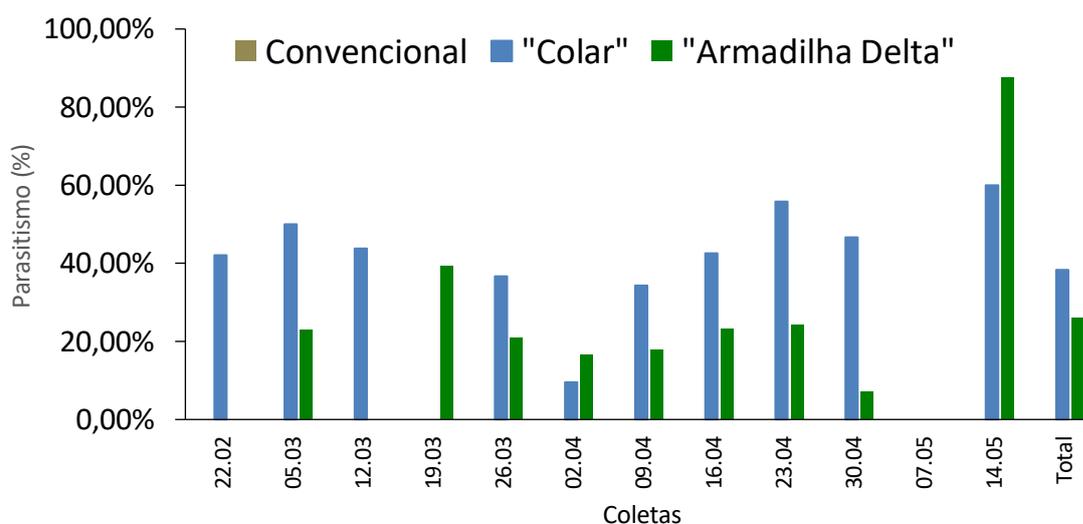


Figura 14. Taxa de parasitismo (%) de *A. grandis* pelos métodos estudados em cada semana de coleta. *no método convencional não se registrou parasitismo.

A taxa média de parasitismo no método “colar” foi de 43,5% e a do método “delta”, 26,8%, não havendo diferenças significativas ($F= 2,09$ $P= 0,1993$), indicando que os dois métodos podem ser utilizados para coleta de parasitoides no campo.

A obtenção de amostras de *J. grandis* coletadas no campo durante o presente trabalho serve de evidência para o estabelecimento desse parasitoide ocorrendo naturalmente na região de Piracicaba (tabela 7) e possivelmente em outras regiões no estado de São Paulo, havendo sido constatado pela última vez em Campinas, São Paulo, na década de 1990 por Costa et al. (1995a e b).

Alguns estudos foram feitos sobre a ocorrência de parasitoides do bicudo do algodoeiro no Brasil. No primeiro estudo, reportado na década de 1980 na região de Campinas, os autores observaram dois principais parasitoides larvais *Bracon* sp. (Hymenoptera, Braconidae) e *Jaliscoa grandis* (Burks) (Hymenoptera, Pteromalidae) (Pierozzi Junior et al. 1985).

No presente trabalho, foram observados maiores valores de parasitismo nos meses de abril e maio, sendo a média superior a 40%, assim como Habib et al. (1993) que observaram que a maior média mensal de parasitismo ocorreu em abril, os valores foram 39,3 e 3,1%, para as estruturas reprodutivas colhidas na planta e no solo, respectivamente. Em outro trabalho Carvalho et al. (1993), constataram que a maior taxa de parasitismo ocorreu em março, com valores de 57,0 % para

estruturas reprodutivas retiradas da planta e 31,6 % para aquelas recolhidas do solo. *J. grandis* já havia sido selecionado como o candidato mais promissor para uso contra o bicudo-do-algodoeiro, dada à sua capacidade de busca e especificidade. Em vários estudos, em outros países, foram obtidos níveis de parasitismo entre 70 e 90% (Morales-Ramos et al. 1991) e a eficiência do uso de *J. grandis* contra infestações do bicudo-do-algodoeiro também foi demonstrada no Mississippi (Johnson et al. 1973), centro do Texas (Cate et al. 1985), Alabama (Morales-Ramos et al. 1994), baixo Vale do Rio Grande (Summy et al. 1992; 1994; King et al. 1995), e no Sul do Texas (Summy et al. 1995), nos EUA.

De acordo com Costa et al. (1995b) que também testaram o método do colar foram constatados os seguintes micro-himenópteros: *Bracon vulgaris* Ashmead, *Bracon* sp., *Urosigalphus* sp. (Braconidae), *Jaliscoa grandis* (Burks) (Pteromalidae), *Eupelmus cushmani* (Crawford), *Eupelmus* sp. (Eupelmidae), *Eurytoma* sp. (Eurytomidae) e *Conura (Spilochalcis)* sp. (Chalcididae). Destes, *Urosigalphus* sp., e *Eurytoma* sp. que ainda não haviam sido referidos no Estado de São Paulo, enquanto que *Conura (Spilochalcis)* ainda não estava registrado sobre o bicudo no Brasil.

Posteriormente, descobriu-se um outro gênero, *Lycus* (Pteromalidae), ainda não relatado em *A. grandis* no Brasil. Assim como no presente trabalho, os autores observaram no método "colar" maior diversificação das espécies observadas e maior índice de parasitismo. Devido aos resultados obtidos, os autores sugeriram a utilização desta metodologia para se fazer um levantamento mais detalhado das espécies que parasitam o bicudo-do-algodoeiro.

Apesar de *J. grandis* e *B. vulgaris* explorarem o mesmo hospedeiro, ambos preferem parasitar em diferentes fases de desenvolvimento, *J. grandis* prefere atacar após os botões terem caído ao solo (Morales-Ramos e Cate 1992), enquanto *B. vulgaris* tende a parasitar quando os botões ainda estão na planta (Ramalho e Wanderley, 1996); esse mesmo comportamento foi observado no presente trabalho, *B. vulgaris* foi observado nos primeiros estágios do desenvolvimento da planta e *J. grandis* ao final do ciclo do algodoeiro. Esse comportamento demonstra a possibilidade de um aumento na taxa de parasitismo em programas de controle biológico de *A. grandis* através da liberação de ambas as espécies.

Os métodos alternativos empregados neste estudo mostraram-se essenciais para o seu desenvolvimento e podem ser úteis em futuras pesquisas que envolvam a

coleta de parasitoides do bicudo-do-algodoeiro. Até o momento e considerando a literatura científica, pode-se concluir que *J. grandis* apresenta potencial como candidato a agente de controle biológico de *A. grandis*.

O resultado obtido com a possibilidade de manutenção do bicudo em dieta artificial nos capítulos anteriores, poderá facilitar a implementação de programas de controle biológico para o bicudo no Brasil, utilizando-se *J. grandis*.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) bem como as exigências térmicas e o número de vezes que a população aumenta a cada geração (R_0) foram semelhantes na dieta natural e artificial;

As dietas artificiais são adequadas e podem substituir a dieta natural para criação de *A. grandis* com vistas à produção de inimigos naturais, com base no desenvolvimento e multiplicação do inseto;

A melhor temperatura para criação do bicudo-do-algodoeiro situa-se entre 25°C e 28°C e a constante térmica é de 346 a 364 GD, com um limite térmico inferior de desenvolvimento de 10°C;

O zoneamento da praga para o Brasil, baseando-se nas exigências térmicas e tabela de vida de fertilidade, mostra que as regiões mais favoráveis ao desenvolvimento de *A. grandis* são o Centro-Oeste e parte do Nordeste;

Utilizando-se o método “colar” de coleta, considerado o mais eficiente, o potencial agente de controle biológico de *A. grandis* é *Jaliscoa grandis* (Burks) 1954 (Hymenoptera: Pteromalidae) que poderá ser multiplicado no bicudo criado na dieta artificial desenvolvida para lepidópteros por Greene et al. (1976), por ser dentre as 2 dietas artificiais estudadas a de menor custo.

REFERÊNCIAS

- Abrapa. 2024. Algodão no Brasil. (<https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>).
- Agrofit (2024). Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 18 março 2023.
- Alberti, L., Diniz, A.J.F., Garcia, A.G., Parra, J.R.P. 2021. Determining the minimum temperature for storage of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) adults for biological control of Asian citrus psyllid. *Neotrop. Entomol.*, v. 50, p. 114-120.
- Araújo, L.H.A., Braga Sobrinho, R., Mesquita, C.K., Almeida R.P. 1991. Observações sobre alguns parasitoides do bicudo-do-algodoeiro. In: Congresso Brasileiro De Entomologia, 13. Anais. Recife. p.574.
- Araújo, L.H.A., Almeida, R.P., Dias, J.M. 1997. Tabela de esperança de vida para adultos de *Bracon* sp. (Hymenoptera: Braconidae) parasitoide do bicudo-do-algodoeiro. *Scientia Agricola*, Piracicaba. 54: 247-250.
- Arruda, L.S., Torres, J.B., Rolim, G.G., Silva-Torres, C.S.A. 2021. Dispersal of boll weevil toward and within the cotton plant and implications for insecticide exposure. *Pest Manage Sci* 77:1339–1347.
- Azambuja, R., Degrande, P.E. 2014. Trinta anos do bicudo-do-algodoeiro no Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*. 81: 377-410.
- Bacheler, J.S., Bradley, J.R. 1974. Effect of Temperature on Development and Mortality of the Boll Weevil Egg Stage. *Environ. Entomol.* 4: 319–320.
- Bacheler, J.S., Jones, J., Bradley, J.R., Bowen, H. 1975. The effect of temperature on development and mortality of boll weevil immature stages. *Environ. Entomol.* 4: 808–810.
- Bastos, C. S., Torres, J.B. 2003. Controle Biológico como opção no Manejo de Pragas do Algodoeiro. *Circular técnica - Embrapa*. 72:1–29.
- Bastos, C., Pereira, M., Takizawa, E., Ohl, G., Aquino, V. 2005. Bicudo-do-algodoeiro: identificação, biologia, amostragem e táticas de controle. *Embrapa algodão*. 79: 31.
- Bélot, J.L., Barros, E.M., Miranda, J.E. 2016. Riscos e oportunidades: O bicudo-do-algodoeiro. In: AMPA (Org) *Desafios do cerrado*. Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão, Cuiabá, MT, pp 77–118
- Boheman, C. 1843. Original description of *Anthonomus grandis*, pp. 232–233. In Schoenherr, C. (ed.), *Genera et Species Curculionidum*.

- Brazzel, J.R., Newsom, L.D. 1959. Diapause in *Anthonomus grandis* Boh. J. Econ. Entomol, 52, 603-611.
- Burke, H. R., Clark, W. E., Cate, J.R., Fryxell, P.A. 1986. Origin and Dispersal of the Boll Weevil. Bull. Entomol. Soc. Am. 32: 228–238.
- Cabi 2023 (Centre for Agriculture and Bioscience International). Invasive Species Compendium: *Anthonomus grandis* (Mexican cotton boll weevil). Disponível em <https://www.cabi.org/isc/datasheet/5735>; acesso em 15 de abril de 2023.
- Campbell, A.B.D., Frazer, N., Gilbert, N., Gutierrez, A.P., Mackauer, M. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. J. Appl. Ecol. 11:431–438.
- Carvalho, S. L., Fernandes, W.D., Patel, P.N., Habib, M.E.N. 1993. Parasitismo por *Bracon vulgaris*, Ashmead (Hymenoptera: Braconidae) em *Anthonomus grandis*, Boheman 1843 (Coleoptera: Curculionidae) em área de algodão, sem medidas de controle. In: Congresso Brasileiro de Entomologia. Piracicaba: SEB. p. 278.
- Cate, J.R. 1985. Cotton: Status and current limitations to biological control in Texas and Arkansas. In: Hoy, M.A., Herzog, D.C. (Eds) Biological control in agricultural IPM systems. Academic, New York, p. 537-556
- Cate, J., Krauter, P., Godfrey, K. 1990. Pests of cotton, pp. 17–29. In Class. Biol. Control South. United States. Habeck, Lanham, MD.
- Chi, H. TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. 2023. Disponível em: < <http://140.120.197.173/Ecology/prod02.htm> >.
- Cole, C.L., Adkisson, P.L. 1981. Life history and fecundity of the boll weevil reared in constant and variable temperature regimens. Southwest. Entomol. 64: 298-302.
- Cole, C.L., Adkisson, P.L. 1982. Effects of constants and variable temperature regimes of the survival and rate of increase of the boll weevil. Southwest. Entomol. 7; 50-55.
- Coutinho, J., Cavalcanti, V. 1988. Utilização do fungo *Beauveria bassiana*, no controle biológico do bicudo-do-algodoeiro em Pernambuco. Pesqui. Agropecu. Bras. 23: 455–461.
- Cross, O., Lukefahr, P., Fryxell, P. A., Burke, H.R. 1975. Host plants of the boll weevil. Environ. Entomol. 4: 19–26.
- Cross, W., Chestnut, T. 1971. Arthropod parasites of the boll weevil, *Anthonomus grandis*: an annotated list. Ann. Entomol. Soc. Am. 64: 516–527.
- Cross, W., Mitchell, H.C. 1969. Distribution and importance of *Heterolaccus grandis* as a parasite of the boll weevil. Ann. Entomol. Soc. Am. 62: 235–236.

- Costa, V.A., Ramiro, Z.A., Pacheco, D.J.P., Garcia, S.L. 1995a. Novos registros de parasitóides de *Anthonomus grandis* no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro De Entomologia, 15., Caxambu, *Anais*. Caxambu, Sociedade Entomológica do Brasil, p.337.
- Costa, V.A., Moura, A.C., Ramiro, Z.A. 1995b. Resultados preliminares da incidência de parasitóides de *Anthonomus grandis* em função do seu desenvolvimento larval e localização dos botões florais. In: Congresso Brasileiro De Entomologia, 15., Caxambu, *Anais*. Caxambu, Sociedade Entomológica do Brasil, p.370.
- Degrande, P. 1991. Bicudo-do-algodoeiro: manejo integrado. Embrapa, Dourados, MS.
- Degrande, P. 1994. Táticas de controle do bicudo-do-algodoeiro. *Corr. Agrícola*. 2: 19–23.
- Degrande, P., Santos, W., Silva, A. 2004. Programa nacional contra o bicudo. *Cultiv. Gd. Cult.* 68: 8–10.
- Fan, Y., Groden, E., Drummond, F. 1992. Temperature-dependent development of Mexican bean beetle (Coleoptera: Curculionidae) under constant and variable temperatures. *J. Econ. Entomol.* 85: 1762–1770.
- Fryxell, P. A. 1965. Stages in the evolution of *Gossypium* L. *Adv. Front. Plant. Sci.* 10: 31–56.
- Fye, R.E., Patana, R., McAda, W.C. 1969. Developmental periods for boll weevils reared at several constant and fluctuating temperatures. *J. Econ. Entomol.* 62: 1402-1405.
- Garcia, A. G., Diniz, A. J. F., Parra, J. R. P. 2019. A fuzzy-based index to identify suitable areas for host-parasitoid interactions: Case study of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* and its natural enemy *Tamarixia radiata*. *Biol. Control.* 135: 135-140.
- Garcia, A.G., Godoy, W.A.C., Thomas, J.M.G., Nagoshi, R.N., Meagher, R.L. 2019. A Computational model to predict the population dynamics of *Spodoptera frugiperda*. *J. Pest. Sci.* v. 92, n.2, p.429-441.
- Garcia, A.G, Parra, J.R.P. 2022. Métodos de determinação de limites térmicos e constante térmica para insetos. 25p. Esalq. Piracicaba, São Paulo.
- Gibson, G.A.P. 2011. The species of *Eupelmus* (*Eupelmus*) Dalman and *Eupelmus* (*Episolidelia*) Girault (Hymenoptera: Eupelmidae) in North America north of Mexico. *Zootaxa*, Auckland. 2951: 1-97.
- Gibson, G.A.P. 2013. Revision of the species of *Jaliscoa* Bouček within a review of the identity, relationships and membership of *Jaliscoa*, *Catolaccus* Thomson, *Eurydinoteloidea* Girault, *Lyracus* Walker and *Trimeromicrus* Gahan (Hymenoptera: Pteromalidae). *Zootaxa*, Auckland. 3612: 1-85.

- Greene, G.L., Leppla, N.C., Dickerson, W.A. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *Journ. of Econ. Entomol.* Lanham, 69: 487-488.
- Greenberg, S.M., Sappington, T.W., Spurgeon, D.W., Setamou, M. 2003. Boll Weevil (Coleoptera: Curculionidae) feeding and reproduction as function of cotton square availability. *Environ. Entomol.* 32(3): 698-704.
- Greenberg, S.M., Setamou, M., Sappington, T.W., Liu, T-X., Coleman, R., Armstrong, J.S. 2005. Temperature-dependent development and reproduction of the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Insect Sci.* 12: 449-459.
- Habib, M., Fernandes, W. 1983. *Anthonomus grandis* Boheman (Curculionidae) já está na lavoura algodoeira do Brasil. *Rev. Agric.* 58: 74.
- Habib, M.E.M., Carvalho, S.L., Fernandes, W.D., Patel, P.N. 1993. Ocorrência de parasitismo em *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae) por *Bracon vulgaris* (Hymenoptera: Braconidae) em área de algodão submetida ao manejo integrado de pragas. In: Congresso Brasileiro De Entomologia, 14., Piracicaba, 1993. *Anais.* Piracicaba, Sociedade Entomológica do Brasil. p.276.
- Haddad, M., Parra, J.R.P., Moraes, R. 1999. Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento dos insetos. *Fealq.* 29.
- Harcourt, D. 1967. The development and use of life tables in the study of natural insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 14: 175–196.
- Howard, L. O. 1894. A new cotton insect in Texas. *Insect Life.* 7: 273.
- King, E. G., King, R.J., Coleman, L., Wood, L., Wendell, S., Greenberg, A.W., Scott, J., Roberson, D., Hardee, D. 1995. Suppression of the boll weevil in commercial cotton by augmentative releases of a wasp parasite, *Catolaccus grandis*. In: Proc. Beltwide Cotton Conference. Ed. National Cotton Council Of America. Memphis, TN: Lanham, MD, 26-30,.
- Johnson, W.L., Cross, W.H., MCGovern, W.L., Mitchell, H.C. 1973. Biology of *Heterolaccus grandis* in a laboratory culture and its potential as an introduced parasite of the boll weevil in the United States. *Environ. Entomol.* 2: 112–118.
- Lacerda, L.F., Coelho, Jr. A., Garcia, A.G., Sentelhas, P.C., Parra, J.R.P. 2019. Biology at Different Temperatures, Thermal Requirements, and Ecological Zoning of *Opogona sacchari* (Lepidoptera: Tineidae). *J. Econ. Entomol.* 112: 1676–1682.
- Lee, R.E., Delinger, D.E. 1991. *Insects at low temperatures.* London: Chapman & Hall. 514p.
- Lindig, O. H. 1979. A replacement for cottonseed meal and meats in boll weevil diets. *J. Econ. Entomol.* 72: 291-292.

- Lloyd, E. 1986. Ecologia do bicudo-do-algodoeiro, pp. 135–144. *In* O Bicudo Do Algodoeiro. Embrapa, Brasília.
- Marin, H. 1981. El picudo del algodoneiro-treinta años de existencia en Colombia. *Ins. Colomb. Agropecu. Bol. Tec.* 81.
- Marquesini, C.J.V., Maggio, D.H., Guedes, R.N.C., Correa, A.S. 2021. Brazilian invasion and dispersion routes of the cotton boll weevil. *Journal of Applied Entomology*, 146: 352-358.
- Martins, J.C., Picanço, M.C., Bacci, L., Guedes, R.N.C., Santana, P.A., Ferreira, D.O., Chediak, M. 2016. Life table determination of thermal requirements of the tomato borer *Tuta absoluta*. *J. Pest Sci.* 89: 897–908.
- Milanez, J. M., Pandolfo, C., Hammes, L. A., Parra, J.R.P. 2005. Zoneamento ecológico de *Dilobopterus costalimai* Young, *Oncometopia facialis* e *Acrogonia citrina* Marucci & Cavichioli (Hemiptera: Cicadellidae) para Santa Catarina. *Neotropical Entomology*. v. 34 (2) p. 297-302.
- Monnerat, R., Dias, S., Oliveira Neto, O., Nobre, S., Silva-Werneck, J., Sá, M. 2000. Criação massal do bicudo-do-algodoeiro *Anthonomus grandis* em laboratório. *Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia*. 29: 1-22.
- Morales-Ramos, J.A., Cate, J.R. 1992. Rate of increase and adult longevity of *Catolaccus grandis* (Burks) (Hymenoptera: Pteromalidae) in the laboratory at four temperatures. *Environ. Entomol.* 21: 620–627.
- Morales-Ramos, J.A., Cate, J.R. 1993. Temperature-dependent developmental rates of *Catolaccus grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Environ. Entomol.* 22: 226–233.
- Morales-Ramos, J., King, E.G. 1991. Evaluation of *Catolaccus grandis* (Burks) as a biological control agent against the cotton boll weevil. *In* Proc. Beltwide Cott. Conf. Memphis, TN.
- Morales-Ramos, J., Rojas, M.G., Roberson, J., Jones, R., King, E.G., Summy, K., Brazzel, J. 1994. Suppression of the boll weevil first generation by augmentative releases of *Catolaccus grandis* in Aliceville, Alabama, pp. 958–964. *In* Proc. Beltwide Cott. Conf. Memphis, TN.
- Nasa Power. 2018. POWER Project Data Sets [WWW Document]. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>.
- Nelson, T., Boots, B. 2005. Identifying insect infestation hot spots: an approach using conditional spatial randomization. *Journal of Geographical Systems*. v. 7. p. 291-311.
- Nikiphoroff, B., Whitaker, M. 1992. Constraints on the improvement of insect pest management practices among smallholder cotton farmers in Paraguay. *Cott. Fibres Trop.* 47: 213–225.
- Norris, R.F., Chen, C., Kogan, M. 2003. Concepts in integrated pest management. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

- Oliveira, C.M., Auad, A.M., Mendes, S.M., Frizzas, M.R. 2012. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. *J Appl Entomol* 137:1–15.
- Oliveira-Marra, S.O.D., Guedes, R.N.C., Bastos, C.S., Marra, P.H.A., Vivan, L.M., Zanine, A.M. 2019. Insecticide resistance and control failure likelihood among populations of the boll weevil (*Anthonomus grandis*) from Mato Grosso (Brazil). *Acta Sci Agronomy* 41:e42714.
- Parra, J. R. P., Haddad, M. 1984. Métodos para estimar os limites térmicos e a faixa ótima de desenvolvimento das diferentes fases do ciclo evolutivo dos insetos. Fealq, Piracicaba, Brasil.
- Parra, J.R.P. 1999. Criação de insetos para programas de controle biológico. FEALQ.
- Parra, J.R.P. 2000. A biologia de insetos e o manejo de pragas: da criação em laboratório à aplicação em campo, pp. 1–30. *In* UFSM (ed.), Bases e Técnicas Do Manejo de Insetos. Santa Maria, RS.
- Parra, J.R.P. 2002. Criação de inimigos naturais, pp. 143–161. *In* Controle Biológico No Brasil. Parasitoides e Predadores. Manole, São Paulo.
- Parra, J. R. P., Panizzi, A.R., Haddad, M. 2012. Nutritional indices for measuring insect food intake and utilization, pp.13-51. *In* A. R. Panizzi and J. R. P. Parra (eds.), *Insect bioecology and nutrition for integrated pest management*. CCR Press, Boca Raton, FL.
- Parra, J.R.P. 2014. Biological control in Brazil: an overview. *Sci. Agric.* 71: 5.
- Parra, J.R.P., Coelho Jr. A., Cuervo-Rugno, J.B., Garcia, A.G., Moral, R.A., Specht, A., Neto, D.D. 2022. Important pest species of the Spodoptera complex: Biology, thermal requirements and ecological zoning. *Journal of Pest Science.* 95: 169-186.
- Paula, D.P., Claudino, D., Timbó, R.V., Miranda, J.E., Bemquerer, M.P., Ribeiro, A.C.J., Sujii, E.R., Fontes, E.M.G., Pires, C.S.S. 2013. Reproductive dormancy in boll-weevil from populations of the Midwest of Brazil. *J. of Econ. Entomol.*106: 86-96.
- Pierozzi Junior, I., Habib, M.E.M., Andrade, C.F.S. 1985. Primeiro registro de ocorrência no Brasil de *Catolaccus grandis* (Burks) (Hymenoptera, Pteromalidae), parasito de *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera, Curculionidae). *In*: Congresso Brasileiro De Zoologia, 12., Campinas. *Resumos*. Campinas, Editora da UNICAMP. p.135.

- Pires, C.S.S., Pimenta, M., Mata, R.A., Souza, L.M., Paula, D.P., Sujii, E.R., Fontes, E.M.G. 2017. Survival pattern of the boll weevil during cotton fallow in Midwestern Brazil. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 52:149-160.
- QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em:<<http://qgis.org>>
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramalho, F., Gonzaga, J., Silva, J. 1993. Método para determinação das causas da mortalidade natural do bicudo-do-algodoeiro. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 28: 877–887.
- Ramalho, F. 1995. Comportamento de alimentação e oviposição do bicudo-do-algodoeiro em relação a densidade de botão floral e temperatura. *An. Acad. Bras. Cienc.* 24: 533–541.
- Ramalho, F., Wanderley, P. 1996. Ecology and management of the boll weevil in South American cotton. *Am. Entomol.* 42: 41–47.
- Ramalho, F., Wanderley, P., Mezzomo, J. 1998. Influência da temperatura na fecundidade e ataque de *Catolaccus grandis* (Burks) (Hymenoptera: Pteromalidae), parasitoide do bicudo-do-algodoeiro, *Anthonomus grandis* Bohamen (Coleoptera: Curculionidae). *Rev. Bras. Entomol.* 42: 285–293.
- Ramalho, F. S., Medeiros, R.S., Lemos, W.P., Wanderley, P.A., Dias, J.M., Zanuncio, J.C. 2000. Evaluation of *Catolaccus grandis* (Burks) (Hym., Pteromalidae) as a biological control agent against cotton boll weevil. *J. Appl. Entomol.* 124: 359–364.
- Ramalho, F., Silva, A., Zanuncio, J., Serrão, J. 2007. Competition between *Catolaccus grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae) and *Bracon vulgaris* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of the boll weevil. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 50: 371–378.
- Riley, C. 1885. Natural history of other species of the genus *Anthonomus*.
- Rolim, G.G., Coelho, R.R., Antonino, J.D., Arruda, L.S., Rodrigues, A.S., Barros, E.M., Torres, J.B. 2021. Field-evolved resistance to beta-cyfluthrin in the boll weevil: detection and characterization. *Pest Manag Sci* 77:4400–4410.
- Sandhu, H.S., Nuessly, G.S., Webb, S.E., Cherry, R.H., Gilbert, R.A. 2013. Temperature-dependent reproductive and life table parameters of *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane. *Fla. Entomol.* 96: 380–390.
- Sappington, T., Spurgeon, D. 2000. Preferred technique for adult sex determination of the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93: 610–615.

- Schwartz, P. 1983. Losses in yield of cotton due to insects. *Agriculture Handbook*, USDA. 589: 329–358.
- Sharpe, P., DeMichele, D. 1977. Reaction kinetics of poikilotherm development. *J. Theor. Biol.* 64: 649–670.
- Sidra-IBGE. 2024. SIDRA-IBGE. (<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>).
- Sobrinho, R., Lukefahr, M. 1983. Bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman): nova ameaça a cotonicultura Brasileira, biologia e controle. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa Algodão, Paraíba, Brasil.
- Spurgeon, D.W., Raulston, J.R. 1998. Boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) reproductive development as a function of temperature. *Environ. Entomol.* 27: 675–681.
- Stinner, R., Butler Jr, G., Bacheler, J., Tuttle, C. 1975. Simulation of temperature-dependent development in population dynamics models. *Can. Entomol.* 107: 1167–1174.
- Sterling, W.L., Adkisson, P.L. 1966. An artificial diet for laboratory cultures of boll weevil larvae and adults. *J Econ Entomol.* 59: 1074–1077.
- Summy, K., Morales-Ramos, J., King, E.G. 1995. Suppression of boll weevil infestations on South Texas cotton by augmentation releases of the exotic parasite *Catolaccus grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Biol. Control.* 5: 523–529.
- Toledo, D., Brodsky, H., Pardo, G., Conci, O., Sobrinho, R. 2000. Monitoreo del Picudo del Algodonero (*Anthonomus grandis* Boh.) en el Noreste Argentino. *Univ. Nac. del Nord. Comun. Cient. y Tecnológicas.* (http://www.unne.edu.ar/cyt/2000/5_agrarias/a_pdf/a_038.pdf).
- Tomquelski, G., Martins, G. 2008. Bicudo em algodão. *Cultiv. Gd. Cult.* 111: 42–45.
- Torres, J.B., Bueno, A.F. 2018. Conservation biological control using selective insecticides—a valuable tool for IPM. *Biol Control* 126:53–64.
- Torres, J.B., Rolim, G.G., Arruda, L.S., Santos, M.P.D., Leite, S.A., Neves, R.C. S. 2022. Insecticides in Use and Risk of Control Failure of Boll Weevil (Coleoptera: Curculionidae) in the Brazilian Cerrado. *Neotrop. Entomol.* 51:613–627.
- Townsend, C. 1895. Report of the Mexican cotton boll weevil in Texas (*Anthonomus grandis* Boh.). *Insect Life.* 7: 295–309.
- Vanderzant, E.S., Davich, T.B. 1958. Entomology research division. Agr. Res. Serv, USDA.
- Wagner, T., Wu, H., Sarper, P., Schoolfield, R., Coulson, R. 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 208–225.

- Warner, R., Smith Jr, C. 1968. Boll weevil found in Pre-Columbian cotton from Mexico. *Science*. 162: 911–912.
- Whitcomb, W., Britton, L. 1953. The control of the cotton boll weevil *Anthonomus grandis* Boh. in Venezuela. *Emp. Cott. Grow. Rev.* 30: 177–181.
- Worner, S.P. 1992. Performance of phenological models under variable temperature regimes: consequences of the Kaufmann or rate summation effect. *Environ. Entomol.* 21: 689–699.