



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**TAIANE GOMES FELICIANO DA SILVA**

**INTERAÇÃO ADJUVANTES E ECOLOGIA COMPORTAMENTAL  
COMPUTADORIZADA DE *Marava arachidis* (DERMAPTERA: LABIIDAE)**

**AREIA**

**2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**TAIANE GOMES FELICIANO DA SILVA**

**INTERAÇÃO ADJUVANTES E ECOLOGIA COMPORTAMENTAL  
COMPUTADORIZADA DE *Marava arachidis* (DERMAPTERA: LABIIDAE)**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

**Orientador:** Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista

**Coorientador:** Prof. Dr. José Bruno Malaquias

**AREIA**

**2024**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catálogo e Classificação**

S586i Silva, Taiane Gomes Feliciano da.

Interação adjuvantes e ecologia comportamental  
computadorizada de Marava Arachidis (Dermaptera:  
Labiidae) / Taiane Gomes Feliciano da Silva. - Areia,  
2024.

26 f. : il.

Orientação: Jacinto de Luna Batista.

Coorientação: José Bruno Malaquias.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Resposta funcional. 2. Adjuvantes. 3. Controle  
Biológico. 4. . I. Batista, Jacinto de Luna. II.  
Malaquias, José Bruno. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635 (043.3)

TAIANE GOMES FELICIANO DA SILVA

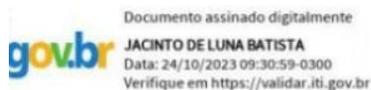
**INTERAÇÃO ADJUVANTES E ECOLOGIA COMPORTAMENTAL  
COMPUTADORIZADA DE *Marava arachidis* (DERMAPTERA: LABIIDAE)**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Agricultura Tropical.

Defesa em 23 de outubro de 2023.

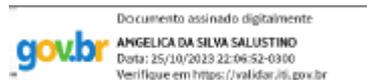
**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista – DFCA/CCA/UFPB

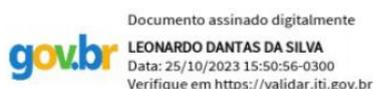


(Orientador)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Angélica da Silva Salustino - DFCA/CCA/UFPB



Prof. Dr. Leonardo Dantas da Silva - CCHSA/UFPB



Aos meus pais,  
Francisco Feliciano da Silva  
Maria Dorisvan Gomes da Silva

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que por mais dúvidas que me venham à mente, a força para seguir lutando, eu tive pedindo a ti em minhas orações.

A minha família, meus pais Maria Dorisvan Gomes e Francisco Feliciano, por todo apoio e por sempre acreditarem no meu potencial, meu irmão Felipe Feliciano que também passou por essa experiência e me incentivou a dar o meu melhor, aos meus tios e tias, primos e primas, que direta ou indiretamente contribuíram com um gesto de apoio a essa caminhada.

As minhas amigas Aline César e Priscila Alexandre, que me viram passar por várias etapas dessa vida acadêmica e no meio de toda correria, sempre me deram apoio e estiveram ao meu lado mesmo não sendo fisicamente. Ao Rafael Barreto, que mesmo com pouco tempo de amizade, nossa troca sempre foi muito rica, gratidão e muito carinho por vocês.

A Érika Amaro, por toda a jornada percorrida desde a graduação, junto na pós-graduação também, ainda compartilhamos a experiência de sermos colegas de apartamento, que foi gratificante cada momento, e torço pelos projetos que você tem, pois sei que é muito capaz de conseguir tudo que almeja, gratidão pelos 12 anos de amizade. E junto dessa história, agradecer aos amigos lá da graduação que ficaram pra vida também, Carla Alves, Kamilla Costa, William Santana e Karen Paz.

A Larissa Eduarda Oliveira, que me deu um suporte enorme nesses últimos meses, a sua compreensão, torcida, e amor principalmente, foram e é uma felicidade que quero ter por muito tempo.

As amigadas que eu fiz nesse período, em especial a Aíla Batista, que esteve presente em muitos momentos de aprendizado, de muitas risadas, você é uma pessoa determinada e que quer muito crescer na vida, e tem tudo para conseguir, sempre terá meu apoio e torcida.

Aos meus colegas de laboratório, Erisvaldo, Gemerson, Robério, Luana, Letícia, Carla, Paulo, Kennedy, Silvio pela imensa ajuda na estatística do trabalho, Angélica pela sua disponibilidade e ajuda também no desenvolvimento da escrita, vocês foram essenciais nessa construção. Ao “Seu Nino”, técnico do laboratório, que sempre esteve aposto para ajudar no que fosse necessário, seu carinho e atenciosidade serão lembrados sempre por mim. E aos demais que adentraram o grupo, que vocês continuem sendo pessoas tão boas e cheias de vontade de dar seu melhor onde forem.

Ao meu Professor Orientador Dr. Jacinto de Luna Batista, pelos seus ensinamentos e paciência, compartilhando seus conhecimentos e experiências que foram muito valiosas.

Ao professor Dr. José Bruno Malaquias, meu coorientador, pela sua disponibilidade, paciência, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos que foram muito importantes.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, pela oportunidade da realização do mestrado.

A CAPES pela bolsa concedida durante esse processo.

“Eu escrevo sem esperança de que o que eu escrevo altere qualquer coisa. Não altera em nada... Porque no fundo a gente não está querendo alterar as coisas. A gente está querendo desabrochar de um modo ou de outro...”.

**Clarice Lispector**

SILVA, T. G. F. **INTERAÇÃO ADJUVANTES E ECOLOGIA COMPORTAMENTAL COMPUTADORIZADA DE *Marava arachidis* (DERMAPTERA: LABIIDAE)**. Areia – Paraíba: Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, outubro, 2023, p. 26, Dissertação (Mestrado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

## RESUMO

O controle biológico vem sendo um método muito demandado pela comunidade de produtores rurais na América Latina para o manejo de pragas de grande importância econômica. O uso de compostos adjuvantes é essencial para otimização da calda de aplicação de defensivos agrícolas. Tendo em vista que o princípio essencial do manejo integrado é a utilização de estratégias compatíveis, é essencial a condução de estudos que evidenciem a compatibilidade de moléculas químicas como o adjuvante com o controle biológico, apesar de que tal conhecimento ainda é considerado incipiente. Para a cultura do algodão, entre os inimigos naturais para o controle de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae), a espécie *Marava arachidis* (Yersin, 1860) (Dermaptera: Labiidae) possui status de destaque pela sua voracidade. Diante disso, o presente estudo teve os seguintes objetivos (i) caracterização da capacidade predatória de *M. arachidis* utilizando como presas larvas de 3º instar de *A. grandis*; (ii) evidenciar o impacto dos adjuvantes Redobro® e Ranger® na resposta funcional de *M. arachidis* utilizando larvas de *A. grandis* e (iii) analisar a ecologia comportamental computadorizada desse predador. O experimento foi conduzido em condições de laboratório. Para a caracterização de resposta funcional, os predadores foram expostos às seguintes densidades de presas por predador: 1, 2, 4, 6 e 8 larvas por placa de Petri de 90x15mm, com 10 repetições em cada densidade. Para avaliação do impacto dos adjuvantes e resposta funcional, os tratamentos utilizados foram: H<sub>2</sub>O destilada e os adjuvantes Redobro® (dose comercial= 3ml/L) e Ranger® (dose comercial= 3ml/L), sendo adotadas as mesmas densidades do estudo anterior. Variáveis comportamentais computadorizadas foram quantificadas para verificar efeitos subletais dos produtos na etologia de *M. arachidis*. Os dados foram modelados com regressão não linear e com análise de sobrevivência. Os resultados apontaram que *M. arachidis* é um excelente predador de larvas de *A. grandis*, com resposta funcional do tipo II; entretanto ao ser exposta ao adjuvante Ranger®, a sobrevivência e o comportamento predatório de *M. arachidis* foi alterado. Além disso, o padrão de locomoção de fêmeas de *M. arachidis* foi alterado, expressando menor frequência de repouso e mobilidade contínua. Portanto, os resultados do presente estudo evidenciam a elevada capacidade predatória de *M. arachidis*. Por outro lado, o uso do adjuvante Ranger® deve ser adotado de forma ponderada em virtude do seu impacto na sobrevivência e padrão de comportamento de predação de *M. arachidis*.

**Palavras-chave:** resposta funcional; adjuvantes; controle biológico.

SILVA, T. G. F. **ADJUVANT INTERACTION AND COMPUTERIZED BEHAVIORAL ECOLOGY OF *Marava arachidis* (DERMAPTERA: LABIIDAE)**. Areia – Paraíba: Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, October, 2023, p. 26, Dissertation (Master's in Agronomy). Postgraduate Program in Agronomy.

### ABSTRACT

Biological control has been a highly demanded method by the rural producer community in Latin America for the management of pests of great economic importance. The use of adjuvant compounds is essential for optimizing the application of pesticides. Bearing in mind that the essential principle of integrated management is the use of compatible strategies, it is essential to conduct studies that demonstrate the compatibility of chemical molecules such as adjuvants with biological control, although such knowledge is still considered incipient. For cotton cultivation, among the natural enemies for the control of *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae), the species *Marava arachidis* (Yersin, 1860) (Dermaptera: Labiidae) has a prominent status due to its voracity. Therefore, the present study had the following objectives (i) characterization of the predatory capacity of *M. arachidis* using 3<sup>o</sup> instar larvae of *A. grandis* as prey; (ii) highlight the impact of Redobro® and Ranger® adjuvants on the functional response of *M. arachidis* using *A. grandis* larvae and (iii) analyze the computerized behavioral ecology of this predator. The experiment was conducted under laboratory conditions. To characterize the functional response, predators were exposed to the following densities of prey per predator: 1, 2, 4, 6 and 8 larvae per 90x15mm Petri dish, with 10 replications at each density. To evaluate the impact of adjuvants and functional response, the treatments used were: distilled H<sub>2</sub>O and the adjuvants Redobro® (commercial dose= 3ml/L) and Ranger® (commercial dose= 3ml/L), adopting the same densities as in the previous study. Computerized behavioral variables were quantified to verify sublethal effects of the products on the ethology of *M. arachidis*. The data were modeled with nonlinear regression and survival analysis. The results showed that *M. arachidis* is an excellent predator of *A. grandis* larvae, with a type II functional response; however, when exposed to the Ranger® adjuvant, the survival and predatory behavior of *M. arachidis* was altered. Furthermore, the locomotion pattern of *M. arachidis* females was altered, expressing a lower frequency of rest and continuous mobility. Therefore, the results of the present study highlight the high predatory capacity of *M. arachidis*. On the other hand, the use of the Ranger® adjuvant must be adopted in a considered manner due to its impact on the survival and pattern of predation behavior of *M. arachidis*.

**Keywords:** functional response; adjuvants; biological control.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** - Padrão de sobrevivência de *M. arachidis* em função do adjuvante e controle (testemunha). .....18
- FIGURA 2** - Resposta funcional de *Marava arachidis* mediante adjuvantes .....21

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - Tempo letal mediano (dias) de <i>Marava arachidis</i> em função do adjuvante NA= Não estimado... ..	19
<b>TABELA 2</b> - Parâmetros do modelo de resposta funcional para <i>Marava arachidis</i> expostas a adjuvantes... ..	20
<b>TABELA 3</b> - Variáveis comportamentais computadorizadas de <i>M. arachidis</i> submetidas a diferentes tratamentos.....	22

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO...</b>	<b>12</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>15</b>
2.1 Caracterização do tipo de resposta funcional de <i>M. arachidis</i> utilizando larvas de <i>A. grandis</i> .....	15
2.2 Impacto de adjuvantes na sobrevivência e resposta funcional de <i>M. arachidis</i> utilizando como presas larvas de <i>A. grandis</i> .....	15
2.3 Análise computadorizada do comportamento de <i>M. arachidis</i> exposta a adjuvantes.....	16
2.4 Análise dos dados... ..	16
<b>2.4.1 Modelos de Resposta Funcional...</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Análise de Sobrevivência.....</b>	<b>17</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>18</b>
3.1 Caracterização do tipo de resposta funcional de <i>M. arachidis</i> utilizando larvas de <i>A. grandis</i> .....	18
3.2 Impacto de adjuvantes <i>M. arachidis</i> .....	19
<b>3.2.1 Análise de sobrevivência...</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2 Análise de Resposta Funcional...</b>	<b>20</b>
3.3 Análise computadorizada do comportamento de <i>M. arachidis</i> exposta adjuvantes.....	23
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS... ..</b>	<b>25</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O controle biológico é uma das estratégias da agricultura sustentável que tem assumido cada vez mais importância frente ao Manejo Integrado de Pragas. Esse método visa o uso de inimigos naturais (predadores, parasitoides ou entomopatógenos) para controlar uma praga alvo nas culturas agrícolas, sendo comumente utilizado em associação com outros métodos de controle, como o químico, estabelecendo uma manutenção das pragas abaixo do nível de dano econômico (GARAVAZI et al., 2020).

Dentre os agentes de biocontrole, os dermápteros vêm despertando atenção por possuírem habilidades de predação voraz e capacidade de alimentação diversificada, com particularidade por ovos e fases imaturas de insetos que permeiam as ordens Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera e Coleoptera (SOUZA et al., 2019). Representante dos dermápteros a espécie *Marava arachidis* (Yersin) (Dermaptera: Labiidae), tem sido uma referência importante como predador em diversas culturas agrícolas (FERREIRA et al., 2022), como algodoeiro, que possui estruturas reprodutivas como o botão floral e a maçã do algodão, que têm um valor comercial alto e são atacados pela praga. Podendo assim, atuar de forma eficaz como agente controlador de uma das principais pragas da cotonicultura o bicudo do algodoeiro *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae).

O bicudo do algodoeiro é considerado a praga de maior importância econômica na cultura do algodão, devido ao impacto financeiro que causa ao aumentar os custos de produção e reduzir a parte comercializável do produto (ROLIM et al., 2021). O inseto apresenta desenvolvimento direto atacando a cultura durante as fases larval e adulta por meio da alimentação de flores e frutos (GRIGOLLI et al., 2017). As fêmeas realizam a oviposição nos botões florais, os quais são consumidos pelas larvas após a eclosão, causando perda direta da colheita (NUSSENBAUM et al., 2018).

O controle de *A. grandis* tem sido realizado principalmente com o uso de inseticidas químicos (OLIVEIRA-MARRA et al., 2019), o que tem levado a um grande número de aplicações terrestres e aéreas que implicam no elevado custo de produção além das consequências de maior contaminação do ambiente, redução do número de agentes biológicos e possibilidade de resistência da praga aos inseticidas, nesse sentido o uso do controle biológico para essa praga em sistema de manejo integral e integrado poderá minimizar os possíveis danos causados pelos inseticidas e aumentar a biodiversidade do sistema produtivo do algodoeiro.

No entanto, para que haja a utilização de um agente de controle biológico num sistema de produção, vários aspectos devem ser investigados e um dos mais importantes é a resposta funcional. Essa é capaz de fornecer informações sobre a capacidade predatória que um inimigo natural possui, estando classificada em três tipos. Por exemplo, um predador apresenta resposta funcional do tipo I quando a taxa de ataque tem uma constância e não irá depender da densidade de presas, tipo II, quando ocorre uma taxa de ataque que declina de forma gradual e tendo a correlação inversa com a densidade de presas e por fim, do tipo III, onde o aumento da taxa de ataque inicia assim que a densidade aumenta, e a diminuição é gradual depois. Sendo esses tipos classificados de acordo com as características gerais do comportamento predatório como, taxa de ataque e tempo de manuseio que o predador leva para atacar, matar e consumir a presa (NUNES et. al., 2019).

O estudo do comportamento dos insetos, em sua grande maioria o comportamento é considerado inato, pois os estímulos são programados geneticamente e podem surgir de forma padronizada quando uma primeira exposição ocorre pelo estímulo correto. Em outra vertente, muitos dos comportamentos de insetos que são observados, ocorrem modificações pelo ambiente e pela fisiologia desses organismos. Ainda para entender o desempenho do papel evolutivo do comportamento dos insetos, temos o estudo do comportamento natural, conhecido como etologia, que é o estudo mais importante para se entender a capacidade de modificar o comportamento através do aprendizado (GULLAN; CRANSTON, 2017).

Um outro aspecto importante que deve ser estudado é a relação dos produtos químicos com os agentes de biocontrole, além dos inseticidas os adjuvantes também devem ser analisados. Essas substâncias químicas quando misturadas a outras têm a capacidade de melhorar a eficiência do produto final a ser aplicado, adaptando-se às condições ambientais e assumindo um papel importante para a produção, aplicação e comercialização de produtos agropecuários (OLIVEIRA, 2011). A utilização de adjuvantes em adição às misturas de defensivos agrícolas vem se tornando muito importante, devido à otimização no processo de aplicação dos cultivos (SANTOS et. al., 2019). Por outro lado, a avaliação da ação dos adjuvantes na capacidade predatória ainda é incipiente, demonstrando uma necessidade de estudos nessa linha de investigação.

Diante da contextualização apresentada, este estudo teve os seguintes objetivos: (i) caracterizar a capacidade predatória de *M. arachidis* utilizando como presas larvas de 3º instar de *A. grandis*; (ii) evidenciar o impacto dos adjuvantes Redobro® e Ranger® na resposta funcional de *M. arachidis* utilizando larvas de *A. grandis* e (iii) em variáveis relacionadas à ecologia comportamental computadorizada desse predador. O estudo tem como hipóteses: (i)

haverá resposta funcional do tipo II em *M. arachidis* utilizando como presa as larvas do bicudo do algodoeiro; (ii) a ação predatória de *M. arachidis* sobre as larvas de *A. grandis* é inibida mediante a utilização de adjuvantes; (iii) a ecologia comportamental do predador apresenta modificações pelo uso de adjuvantes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Entomologia (LEN), localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Município de Areia. O experimento foi realizado utilizando-se espécimes de *M. arachidis* provenientes da criação estoque mantida no Laboratório de Zoologia de Invertebrados, assim como a utilização de larvas de *A. grandis* provenientes da Embrapa Algodão, localizada em Campina Grande - PB.

### 2.1 Caracterização da capacidade predatória de *M. arachidis* utilizando como presas larvas de 3º instar de *A. grandis*

Para a caracterização da capacidade predatória foi avaliado o tipo de resposta funcional, para isso os predadores foram expostos às seguintes densidades de presas por predador: 1, 2, 4, 6 e 8 larvas por placa de Pétri de 90x15mm, com 10 repetições em cada densidade. Após 24 horas foi avaliado o nível de predação de *M. arachidis*, a partir da proporção de larvas predadas pelo predador.

### 2.2 Impacto de adjuvantes na sobrevivência e resposta funcional de *M. arachidis* utilizando como presas larvas de *A. grandis*

A sobrevivência foi recordada em um ensaio independente adotando 100 repetições por tratamento. Para quantificar os efeitos dos tratamentos na sobrevivência do predador, essa variável foi avaliada durante 5 dias consecutivos, registrando-se a ocorrência de cadáveres ou de indivíduos moribundos do predador. Para isso, os adultos de *M. arachidis* permaneceram isolados em placas de Pétri durante o período mencionado e em contato com duas larvas de *A. grandis*.

Para avaliação da capacidade predatória mediante a exposição a adjuvantes, foi necessário manter indivíduos adultos de *M. arachidis* em jejum por 24 horas. Os tratamentos utilizados no experimento foram: H<sub>2</sub>O destilada (T1) e os adjuvantes Redobro® (dose comercial= 3ml/L) (T2) e Ranger® (dose comercial= 3ml/L) (T3). As fêmeas dos predadores foram expostas aos produtos por meio de aplicação tópica dos tratamentos, utilizando-se micropipeta. Um volume de suspensão de 5 µL foi pulverizado no mesotórax dos predadores. Foram adotadas 5 densidades da presa por predador, sendo: 1, 2, 4, 6 e 8 larvas por placa de Petri, com 25 repetições por tratamento, esquematizadas em delineamento experimental inteiramente casualizado. Após 24 horas, foi realizada avaliação do nível de predação da *M. arachidis*.

### 2.3 Análise computadorizada do comportamento de *M. arachidis* exposta a adjuvantes

Esse ensaio teve como finalidade a avaliação de aspectos comportamentais de *M. arachidis*, mantida na presença e ausência dos produtos, de forma individualizada, com auxílio de captura de imagens em vídeo. Foram as mesmas formas de exposição e tratamentos descritos anteriormente, ou seja: T1 controle, T2: Redobro® e T3: Ranger®. Foram utilizadas 10 fêmeas de *M. arachidis*.

Os insetos foram mantidos em placas de Petri nas mesmas condições climáticas mencionadas anteriormente. O experimento foi realizado com delineamento experimental estruturado para blocos ao acaso. O comportamento de movimento dos insetos foi filmado com o auxílio do sistema de captura de imagens automatizado EthoVision (Noldus et al. 2001), durante o período de 10 minutos. As variáveis extraídas do programa foram: Velocidade média (cm/s); Frequência de Repouso; Tempo de Repouso acumulado (s); Distância Locomovida (cm) e Mobilidade contínua (s) (NOLDUS et al. 2002).

### 2.4 Análise dos dados

#### 2.4.1 Modelos de Resposta Funcional

O coeficiente linear de regressão logística de um modelo linear generalizado betabinomial foi utilizado para evidenciar o tipo de resposta funcional. Pela equação de Holling (1959), foi possível determinar os parâmetros como taxa de ataque ( $a$ ), que corresponde a resposta funcional do tipo II (equação 1) e a constante ( $b$ ), quando a resposta é do tipo III (equação 2), e o tempo de manuseio ( $T_h$ ), sendo adotado para ambos os casos (tipo II e tipo III). Para o modelo do tipo II, foi utilizada a seguinte equação:

$$N_e = aNT / (1 + aNT_h) \quad (1)$$

Onde,  $N_e$  é o número de lagartas predadas;  $N$  é o número de lagartas oferecidas;  $a$  é a taxa de ataque;  $T$  é o tempo total disponível que o predador tem para se alimentar da presa; e  $T_h$  é o tempo de manuseio. Em certos casos a taxa de ataque pode aumentar linearmente ( $a = bN$ ), sendo  $b$  uma constante, que resulta em um modelo de resposta funcional do tipo III:

$$N_e = bN^2T / (1 + bN^2T_h) \quad (2)$$

Os parâmetros taxa de ataque ( $a$ ) e tempo de manuseio ( $T_h$ ) foram estimados através de uma regressão não linear, e o coeficiente de determinação ( $R_2$ ), que foi calculado como a soma

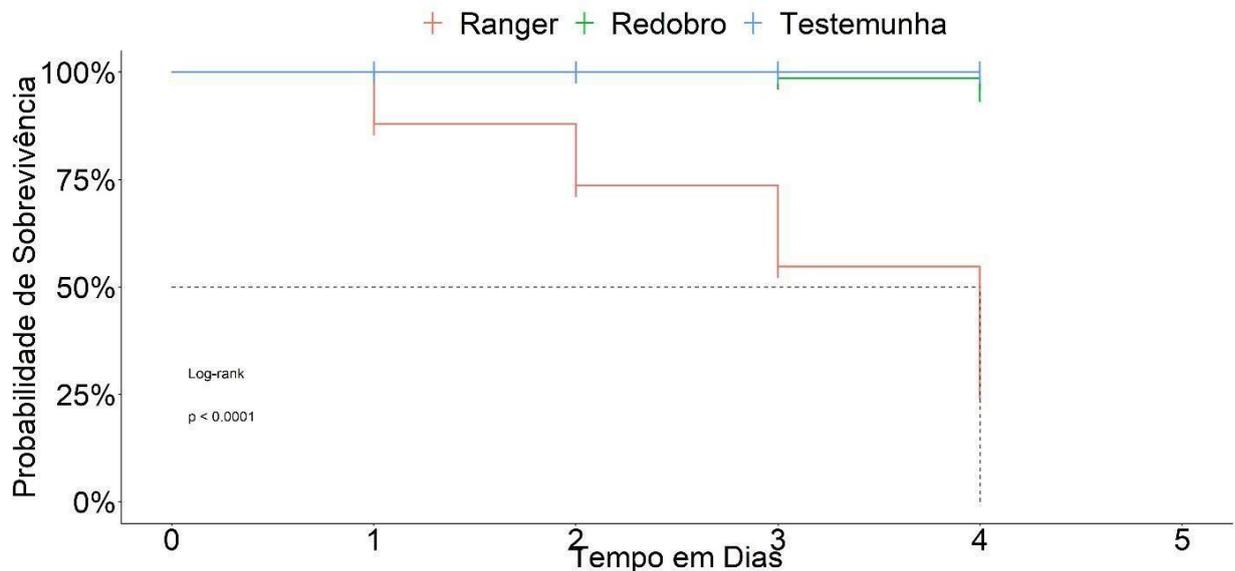
dos quadrados não correlacionados. Os parâmetros foram estimados pelo método mínimos quadrados não lineares (ponderados) utilizando o modelo não linear mencionado. Para isso, foi empregada a função *nls* da base do R (R Core Team, 2023). Apesar de ser um modelo de auto-inicialização (com 'valores iniciais automáticos'), o valor 0,99 foi utilizado como base inicial para o parâmetro  $a$  (taxa de ataque). Para facilitar a convergência do modelo foi adotado a seguinte conformação para estimar o tempo de manuseio:  $2 * \log(2) / \text{valor inicial de } a$ .

#### **2.4.2 Análise de Sobrevida**

Os dados de sobrevivência foram analisados usando o modelo de regressão de riscos proporcionais de Cox. As curvas de sobrevivência foram computadas pelo método Log-rank ( $P=0,05$ ). Funções foram programadas utilizando-se os pacotes “*survminer*” (Kassambra et al., 2021) e “*survival*” (Therneau, 2021) do R (R Core Team, 2023) para comparar as curvas de sobrevivência e para estimar o Tempo Letal Mediano (TLM) dos insetos em cada tratamento e os seus respectivos Intervalos de Confiança com 95% de probabilidade (IC 95%). Consideramos que dois valores de TLM são significativamente diferentes quando apenas seus limites fiduciais de 95% não se sobrepuseram.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização da capacidade predatória de *M. arachidis* utilizando como presas larvas de 3º instar de *A. grandis*



**Figura 1** – Padrão de sobrevivência de *Marava arachidis* em função de adjuvantes e controle (testemunha).

A figura 1 demonstra os resultados de uma resposta quadrática da predação em função da densidade de presas, com o número de presas variando de 1 larva (proporção absoluta de 1,0) na densidade de 1 larva/predador a 6,50 larvas (proporção absoluta de 0,8125) em uma densidade de 8 larvas/predador. Dessa forma, a capacidade predatória de *M. arachidis* é considerada satisfatória, pois a taxa diária de predação pode superar a 6 presas por dia.

O sinal negativo do coeficiente linear também revela a resposta funcional quadrática, ou seja, tipo II. O parâmetro taxa de ataque ( $a$ ) do predador foi estimado pelo método dos mínimos quadrados em 0,0374 (IC 95% = 0,0290 – 0,0457). Assim, esses resultados mostram o potencial do dermátero *M. arachidis* como agente de controle biológico de larvas do bicudo-do-algodoeiro. Isso pode ser afirmado pela presença da resposta funcional do tipo II durante avaliação da capacidade predatória, essa é considerada ideal para o controle biológico, tendo em vista que os agentes de biocontrole serão capazes de detectar e atacar suas presas em baixas densidades. Nessa perspectiva, no controle biológico os tipos de respostas funcionais podem refletir características distintas, todavia, a resposta funcional do tipo I é escassa, devido a ocorrência ser quase exclusiva dos filtradores (insetos aquáticos), pois o manejo é quase totalmente ínfimo em outras espécies. A do tipo III permite uma resposta negativa com dependência da densidade de sobrevivência das presas atrelado a densidade populacional das

presas, em comparação com o tipo II, podendo ter efeito estabilizador das populações de presas, diminuindo a possibilidade de flutuação dessa população (REEVES et. al, 2023).

O tempo de manuseio da presa pela fêmea de *M. arachidis* (*Th*) foi estimado em 0,3794 h (IC 95% = 0,0793 – 0,6794 h), ou seja, tempo de 22,20 minutos, com intervalos de confiança assimétricos variando de 4,75 a 40,76 minutos. Tal estimativa encontra-se dentro do limite médio para outros dermapteros. Ramos et al. (2019) em um experimento laboratorial utilizando como predador a tesourinha preta *Chelisoches morio* (Fabricius, 1775) (Dermaptera: Chelisochidae) e como presa o besouro da folha do coqueiro, *Brontispa longissima* (Gestro) (Coleoptera: Chrysomelidae), apontaram que a fêmea teve um tempo médio de 31,75 minutos para consumir a presa, enquanto o macho teve um tempo médio de 64,88 minutos, a fêmea foi mais veloz na captura e ingestão da presa com 60% e o macho cerca de 22%.

### 3.2 Impacto de adjuvantes sob *M. arachidis*

#### 3.2.1 Sobrevivência

Tratamento	Tempo letal mediana	Intervalos de Confiança	
		Limite Inferior	Limite Superior
Testemunha	NA	NA	NA
Ranger®	4	3	4
Redobro®	NA	NA	NA

**Tabela 1** – Tempo letal mediano (dias) de *Marava arachidis* em função do adjuvante NA= Não estimado

Durante o período experimental foi possível estimar o Tempo Letal Mediano (TLM) apenas para os indivíduos de *M. arachidis* expostos ao tratamento Ranger, com TLM estimado em 4 dias (IC95%= 3-4 dias), para os demais tratamentos não foi averiguada mortalidade expressiva o que não possibilitou tal estimativa.

Houve diferença entre as curvas de sobrevivência entre os insetos expostos a Ranger® versus Redobro® (Log-Rank test *p*-valor < 0,0001) e Ranger® versus Testemunha (Log-Rank test *p*-valor < 0,0001). Não houve diferença entre os tratamentos Redobro® versus Testemunha (Log-Rank test *p*-valor = 0.16) . No tratamento Ranger® houve um declínio na probabilidade de sobrevivência dos insetos, chegando a 50% em 4 dias, diferentemente dos outros tratamentos que durante os 5 dias mantiveram probabilidade de sobrevivência. Se por um lado esse alto nível de mortalidade não seria esperado pela ação do produto Ranger®, por ter como uma das funções a potencialização dos defensivos e de promoção da alta penetração de ativos (ação

translaminar) para diminuir a deriva e quebra da tensão superficial das gotas formadas; por outro lado, esse produto age como desalojante de insetos e potencializador dos agentes químicos de controle, apresentando algum componente que contribuam para a nocividade de organismos não-alvo, como mistura de hidrocarbonetos parafínicos saturados e insaturados, e adicionalmente nesse produto há uma alta concentração (20%) de óleo extraído da casca de laranja (Fispq-Adj-Ranger-Plus, 2023). O óleo de laranja já tem sido muito bem documentado na literatura com atividade bioinseticida (Oliveira et al., 2011; Sarma et al., 2019), e agora confirmada nesse estudo a ação não seletiva à *M. arachidis*.

### 3.2.2 Resposta Funcional utilizando como presas larvas de *Anthonomus grandis*

O modelo de regressão não linear baseado na equação disco de Holling para resposta funcional do tipo II evidenciou uma maior taxa de ataque ( $a$ ) quando os predadores foram expostos aos produtos Redobro® e Ranger® em relação ao grupo controle.

O tempo de manuseio ( $Th$ ) da presa pelo predador foi prolongado para até 7,84 horas quando os insetos foram expostos ao adjuvante Redobro® em relação ao grupo Ranger® (até 4,37 horas) e Controle (2,14 horas), como pode ser observado na tabela 2.

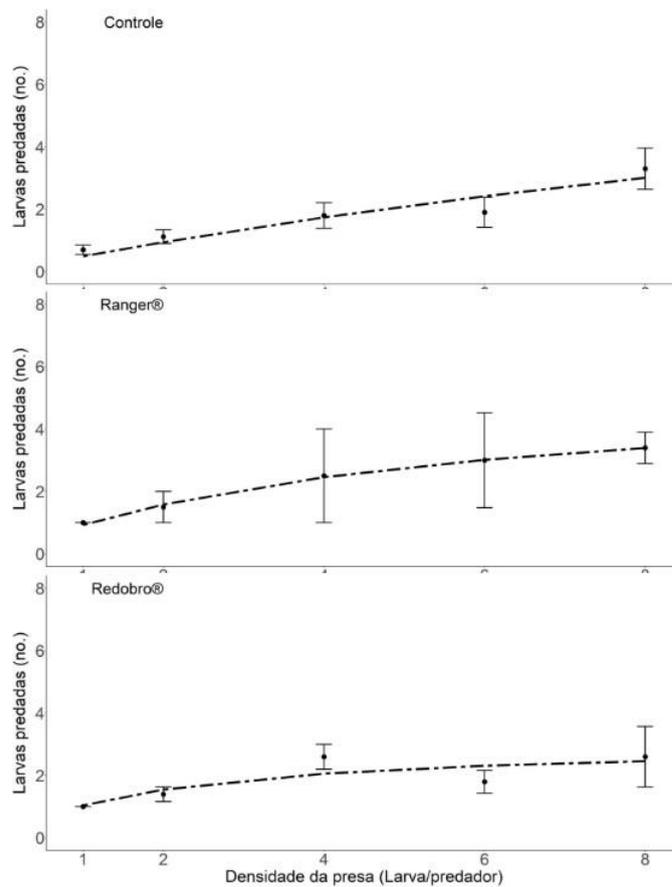
**Tabela 2** - Parâmetros do modelo de resposta funcional para *Marava arachidis* expostas a adjuvantes

Tratamento	Parâmetro		
	$a$	$Th$	$R^2$
Controle	0.0214 b	2.14 b	0.9117
Redobro®	0.0655 a	7.84 a	0.7666
Ranger®	0.0464 a	4.37 ab	0.9971

$a$ : Taxa de ataque.  $Th$ : Tempo de manuseio.  $R^2$ : Coeficiente de determinação.

A exigência nutricional maior, assim como maior habilidade de manuseio da presa e um comportamento mais agressivo do predador, podem prolongar o tempo de manuseio (RIBEIRO; GONTIJO, 2017). Nesse estudo além do fato da presa estar em um estágio mais avançado de desenvolvimento, demonstrando constante movimento, estimulou o ataque e a manipulação pela tesourinha, apesar do retardo promovido pelos adjuvantes aplicados. Em um estudo com a espécie *Euborellia annulipes* Lucas (Dermaptera: Anisolabididae) a taxa de ataque e taxa de manuseio foi menor em lagartas neonatas, onde mesmo havendo o consumo de uma presa, a detecção desta pode reduzir o tempo de manuseio de *E. annulipes*, pois o movimento das lagartas estimula o ataque da tesourinha (NUNES et. al, 2019).

O tipo de resposta funcional observada neste estudo foi a do tipo II (figura 2), evidenciando que os adjuvantes não interferiram no padrão de resposta da taxa de ataque. De forma diferente à relatada no presente estudo, em estudos conduzidos por Malaquias et al., (2014) foi evidenciando que o produto Imidacloprid® interferiu tanto na taxa de ataque quanto no tempo de manuseio do predador *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). Tratando-se da resposta funcional de predadores, como é o caso das tesourinhas, pode ocorrer variações em função do comportamento astucioso da presa, as movimentações que essa realiza, sendo essa um exemplo, ou pode estar ligada ao estímulo de ataque e a qualidade alimentar do predador (BOTTEON et al., 2017). Além da resposta defensiva da presa, o padrão de locomoção do predador também pode ser uma condição essencial para determinação dos parâmetros de resposta funcional, foi por isso que o próximo estudo contemplou a análise do padrão comportamental do predador mediante a exposição dos tratamentos adotados.



**Figura 2** - Resposta funcional de *Marava arachidis* mediante adjuvantes.

### 3.3 Análise computadorizada do comportamento de *M. arachidis* exposta a adjuvantes

Ao analisar o comportamento computadorizado de *M. arachidis* após exposição aos adjuvantes foi possível observar diferença significativa para as variáveis frequência de repouso ( $P < 0,01$ ) e mobilidade contínua ( $P = 0,004$ ). Ambas as variáveis tiveram seus valores reduzidos quando o predador *M. arachidis* foi exposto ao produto Ranger®, em comparação com o produto Redobro® e o tratamento controle (Tabela 3). Esses resultados evidenciam que o uso de adjuvantes interfere na ecologia comportamental de *M. arachidis* pois ao passo que a tesourinha repousa com menos frequência há um *trade off* para a promoção da continuidade da sua mobilidade contínua quando exposta aos adjuvantes testados.

Os adjuvantes são produtos usados em misturas com defensivos para aumentar a sua eficácia (Bergeron; Schmidt-Jeffris, 2023), no entanto, outros estudos já revelaram efeitos subletais em organismos não alvo. Niedobová et al., (2016), comprovaram a diminuição da atividade predatória de aranhas da espécie *Pardosa agrestis* (Westring 1861) (Arachnida: Araneae). Tais resultados também estão em conformidade com Straw et al., (2022), os quais afirmam que adjuvantes também podem oferecer efeitos nocivos a organismos não-alvo, como as abelhas solitárias da espécie *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae).

**Tabela 3** – Variáveis comportamentais computadorizadas de *M. arachidis* submetidas a diferentes tratamentos.

Parâmetro	Controle	Ranger®	Redobro®	F valor	p valor
Velocidade média (cm/s)	0,39 ± 0,17a	0,11 ± 0,02a	0,35 ± 0,06a	1,87	0,16
Frequência de Repouso	18,53 ± 4,11a	7,20 ± 0,02b	20,50 ± 4,35a	4,39	0,01
Repouso acumulado (s)	442,23 ± 66,97a	383,76 ± 83,03a	233,70 ± 52,61a	2,13	0,13
Distância (cm)	85,18 ± 19,50a	43,50 ± 16,30a	77,79 ± 16,30a	1,66	0,2
Mobilidade contínua (s)	37,90 ± 6,63a	17,34 ± 4,71b	43,38 ± 4,64a	6,16	0,004

#### 4 CONCLUSÃO

- A caracterização do tipo de resposta funcional de *M. arachidis* utilizando larvas de *A. grandis* revela que essa espécie de tesourinha tem potencial para utilização em controle biológico, com capacidade de predação média de 6 larvas por predador.
- A resposta funcional encontrada de *M. arachidis* utilizando larvas de terceiro instar de *A. grandis* é a do tipo II.
- O padrão de sobrevivência de *M. arachidis* tem uma redução significativa quando fêmeas desse predador são expostas ao adjuvante Ranger®.
- Os adjuvantes Ranger® e Redobro® alteram negativamente parâmetros da resposta funcional e de ecologia comportamental computadorizada de *M. arachidis*.

## REFERÊNCIAS

- BERGERON, Paul; SCHMIDT-JEFFRIS, Rebecca. Herbicides Harm Key Orchard Predatory Mites. **Insects**, v. 14, n. 5, p. 480, 2023. <https://doi.org/10.3390/insects14050480>.
- BOTTEON, V. W.; NEVES, J. A.; GODOY, Wesley Augusto Conde. Functional response and matrix population model of *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851)(Hemiptera: Pentatomidae) fed on *Chrysomya putoria* (Wiedemann, 1818)(Diptera: Calliphoridae) as alternative prey. **Neotropical entomology**, v. 46, p. 137-143, 2017.
- FERREIRA, R. R. ABREU, K. G., DE OLIVEIRA FILHO, M. C., FERREIRA, R. R., DA SILVA SALUSTINO, A., MORAIS, M. D. M. D., & DE BRITO, C. H. Avaliação de dietas artificiais no desenvolvimento biológico de *Marava arachidis* (Dermaptera: Labiidae) e *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Forficulidae). **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 3, 2022.
- FISPQ-ADJ-RANGER-PLUS - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Fertiliza Chemical. Data de emissão: 04/03/2020. Data de revisão: 20/03/2023, em conformidade com NBR 14725-4:2014.
- GARAVAZI, Fabio; PATRONI, Bruno Henrique; DE CARVALHO BALIEIRO, Cristiano. Comparativo do controle biológico e químico de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 4, n. 1, p. 89-98, 2020.
- GRAVENA, S. e CUNHA, H. F. Artrópodos predadores na cultura algodoeira. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 41p.
- GRIGOLLI, J. F. J. et al. Spatial distribution of adult *Anthonomus grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae) and damage to cotton flower buds due to feeding and oviposition. **Neotropical Entomology**, v. 46, p. 442-451, 2017. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s13744-016-0471-1>.
- GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. Insetos: fundamentos da entomologia. **Editorial ROCA, 5ª Ed., Barcelona. 460pp**, 2017.

MALAQUIAS, J. B.; RAMALHO, F. S.; OMOTO, C.; GODOY, W. A. C.; SILVEIRA, R. F. Imidacloprid affects the functional response of predator *Podisus nigrispinus* (Dallas)(Heteroptera: Pentatomidae) to strains of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) on Bt cotton. *Ecotoxicology*, v. 23, p. 192-200. 2014.

NIEDOBOVÁ, Jana; HULA, Vladimír; MICHALKO, Radek. Sublethal effect of agronomical surfactants on the spider *Pardosa agrestis*. *Environmental Pollution*, v. 213, p. 84-89, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.005>.

NOLDUS, L.P.J.J., Spink, A.J. & Tegelenbosch, R.A.J. EthoVision: A versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 33, 398–414 (2001). <https://doi.org/10.3758/BF03195394>.

NOLDUS, Lucas PJJ; SPINK, Andrew J.; TEGELENBOSCH, Ruud AJ. Computerised video tracking, movement analysis and behaviour recognition in insects. **Computers and Electronics in agriculture**, v. 35, n. 2-3, p. 201-227, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00019-4).

NUNES, G. S., RAMALHO, D. G., DOS SANTOS, N. A., TRUZI, C. C., VIEIRA, N. F., CARDOSO, C. P., & DE BORTOLI, S. A. Parasitism-mediated interactions between the ring-legged earwig and sugarcane borer larvae. **Neotropical entomology**, v. 48, n. 6, p. 919-926, 2019.

NUSSENBAUM, Ana Laura et al. Discrimination of infested cotton squares by females of *Anthonomus grandis*. **Journal of pest science**, v. 91, p. 107-119, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0865-94>.

OLIVEIRA-MARRA, Sharrine Omari Domingues et al. Insecticide resistance and control failure likelihood among populations of the boll weevil (*Anthonomus grandis*) from Mato Grosso (Brazil). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, 2019. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42714>.

OLIVEIRA, Rone Batista de. Caracterização funcional de adjuvantes em soluções aquosas. 2011. 134 f. Tese (doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, Curso de Agronomia, São Paulo, 2011.

RAMOS, Franchesca Lizette D.; DE OÑO, Joseph L.; COSICO, Stephanie Maris Q. Field Evaluation and Behavioral Response of Black Earwig, *Chelisoches morio* (Fabricius) (Dermaptera: Chelisochidae) to the Coconut Leaf Beetle, *Brontispa longissima* (Gestro)(Coleoptera: Chrysomelidae). **Ascendens Asia Journal of Multidisciplinary Research Abstracts**, v. 3, n. 2, 2019.

REEVES, Laura A. et al. Functional and behavioral responses of the natural enemy *Anthocoris nemoralis* to *Cacopsylla pyri*, at different temperatures. **Journal of Insect Behavior**, p. 1-17, 2023.

RIBEIRO, André L.; GONTIJO, Lessando M. Alyssum flowers promote biological control of collard pests. **BioControl**, v. 62, n. 2, p. 185-196, 2017.

ROLIM, Guilherme G. et al. Field-evolved resistance to beta-cyfluthrin in the boll weevil: Detection and characterization. **Pest Management Science**, v. 77, n. 10, p. 4400-4410, 2021. <https://doi.org/10.1002/ps.6474>.

SANTOS, C. A. M. D., SANTOS, R. T. D. S., DELLA'VECHIA, J. F., GRIESANG, F., POLANCZYK, R. A., & FERREIRA, M. D. C. Effect of addition of adjuvants on physical and chemical characteristics of Bt bioinsecticide mixture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 12525, 2019.

SARMA, Riju et al. Insecticidal activities of *Citrus aurantifolia* essential oil against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Toxicology Reports**, v. 6, p. 1091-1096, 2019.

SOUZA, C. et al. Controle biológico: qual espécie de tesourinha consome mais lagartas e pode ser menos sensível à exposição a inseticidas?. 2019.

STRAW, Edward A. et al. 'Inert' ingredients are understudied, potentially dangerous to bees and deserve more research attention. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 289, n. 1970, p. 20212353, 2022.