

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE -CCBS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA- DECO

RAFAEL VIEIRA MELO

Indução do parasitoidismo por *Myrmosicarius grandicornis*, Borgmeier, 1928 (Diptera: Phoridae) em *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae) em condições de laboratório

São Cristóvão - SE

2025.1

RAFAEL VIEIRA MELO

Indução do parasitoidismo por *Myrmosicarius grandicornis*, Borgmeier, 1928 (Diptera: Phoridae) em *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae) em condições de laboratório

Orientador: Prof.º Dr. º Leandro de Sousa Souto

Monografia apresentada ao departamento de Ecologia da Universidade Federal de Sergipe como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ecologia.

São Cristóvão - SE

2025.1

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Èṣù, aos orixás e Maria Padilha, por me concederem força, caminhos, saúde e perseverança ao longo desta caminhada. Laroyê!

À minha família, em especial à minha mãe, Maria Luciene e ao meu pai, Manoel (in memoriam), que foram exemplos de sabedoria e honestidade. Obrigado pelo amor incondicional e pelo incentivo constante em todos os momentos da minha vida.

Agradeço também à minha irmã e amiga Mara, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e protegendo. Sua presença foi essencial em minha jornada, e sem você, eu não teria chegado até aqui. Irmã, este estudo também é seu. Te amo!

Aos meus irmãos Matheus, Edson, Edjane, Wesley (in memoriam), Manezinho (in memoriam), à minha cunhada-mãe Edilene, aos meus sobrinhos e sobrinhas — em especial Samuel, Aline, Laysa, Lyumara, Jade e Sophia — e à minha prima Rosi, meu sincero muito obrigado pelo carinho e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leandro, agradeço profundamente pela paciência, confiança e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sei que não foi fácil, e por isso sou grato por compartilhar seu conhecimento, contribuindo de forma significativa para minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus amigos que me motivaram e ajudaram durante todo esse processo — em especial Fernanda Melo, Shauana, Jhonny, Moisés, Rainer, Cristian, Igor, Gustavo, Edinho, Guilherme, Yan, JP, Milka, Odara, Élide, João e Max — obrigado pelo companheirismo. Vocês são incríveis!

Aos colegas de laboratório, Ivana, Caroline, Clarisse, Vitória e a Prof^a. Dr^a. Bianca, agradeço pela troca de conhecimento e por tornarem esse percurso mais leve e colaborativo.

Expresso minha sincera gratidão à banca examinadora pela disponibilidade e dedicação em avaliar este trabalho.

A todos os professores que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha trajetória acadêmica, deixo meu reconhecimento e gratidão.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho, deixo meu muito obrigado!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo médio de vida de operárias parasitadas e não parasitadas, entre os grupos (Expostas e Controle).....	20
Tabela 2 – Experimentos	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Entrada da colônia no Centro de Ciencias Exatas-UFS	11
Figura 2 – Entrada da colônia Praça Horacio Souza Lima	11
Figura 3 – Olheiro de colônia da <i>A. sexdens</i> do Departamento de Letras/UFS	12
Figura 4 – Potes com formigas armazenadas em câmara de B.O.D	12
Figura 5 – Sugador entomológico e aspirador entomológico a pilha.....	13
Figura 6 – Captura de forídeos na Universidade Federal de Sergipe (UFS)	14
Figura 7 – Captura de forídeos na entrada da colônia na Universidade Federal de Sergipe (UFS)	14
Figura 8 – Forídeo capturado	15
Figura 9 – Bioensaio	16
Figura 10 – Medição da cápsula cefálica com paquímetro	17
Figura 11 – Material utilizado para dissecação das formigas.....	17
Figura 12 – Cápsulas cefálicas contendo pupas do parasitoide	18
Figura 13 – Parasitoide emergido da cápsula cefálica.....	18
Figura 14 – Cápsula cefálica sem sinais de parasitoidismo.....	19
Figura 15 – Gráfico de Qui-quadrado, representando os resultados para o n° de formigas mortas e parasitadas, entre os dois grupos.....	21
Figura 16 – Curvas de Probabilidade de sobrevivência, de acordo com o teste Kaplan-Meier	22
Figura 17 – Relação entre o tamanho da cápsula cefálica entre grupos	23
Figura 18 – Tempo médio de sobrevivência (dias) de formigas nos grupos exposto ao forídeo	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVO GERAL.....	10
2.1 Objetivos específicos.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Local de coleta das formigas saúva-limão	11
3.2 Coletas dos forídeos em campo	12
3.3 Indução ao parasitoidismo	15
3.4 Identificação de parasitoidismo.....	16
3.5 Análises estatísticas.....	19
3.5.1 Taxa de parasitoidismo	19
3.6.2 Índice de sobrevivência	19
3.6.3 Tamanho da cápsula cefálica	20
4 RESULTADOS.....	20
5 DISCUSSÃO	24
6 REFERÊNCIAS.....	27
ANEXOS	31

RESUMO

A interação entre formigas e seus inimigos naturais constitui um campo relevante da ecologia, sobretudo em contextos nos quais parasitoides atuam como agentes naturais de controle populacional. Esse enfoque tem despertado crescente interesse como alternativa sustentável ao uso de defensivos químicos, diante dos impactos ambientais e econômicos associados a essas substâncias. Dentre os grupos de formigas pragas, as formigas-cortadeiras, especialmente *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae), destacam-se por sua complexa organização social e por ocasionarem prejuízos significativos à agricultura. Neste estudo, avaliaram-se as taxas de parasitoidismo em formigas-cortadeiras submetidas à indução controlada ao forídeo *Myrmosicarius grandicornis* Borgmeier, 1928 (Diptera: Phoridae), analisando variáveis como mortalidade, tempo de sobrevivência e tamanho da cápsula cefálica. As coletas foram realizadas em três pontos distintos no município de São Cristóvão-SE, entre fevereiro e junho de 2025, totalizando 360 formigas e 26 forídeos. As formigas foram divididas igualmente em dois grupos (controle e exposto), sendo grupo controle sem exposição ao forídeo e o grupo exposto ao forídeo. Os experimentos foram conduzidos em condições controladas, com exposição direta das formigas aos forídeos por 90 minutos em gaiola entomológica, na proporção de cinco formigas para um forídeo, sendo posteriormente armazenadas em B.O.D. e monitoradas por 15 dias. Observaram-se diferenças significativas nas taxas de parasitoidismo entre os grupos tratamento e controle ($p = 0,04$), além de maior mortalidade e menor tempo de sobrevivência no grupo exposto ($p = 0,04$), bem como tamanho médio da cápsula cefálica inferior no grupo tratamento ($p < 0,01$). Esses resultados reforçam o potencial dos forídeos como agentes de controle biológico e contribuem para a compreensão da dinâmica parasitoide-hospedeiro em sistemas de formigas-cortadeiras. O estudo ressalta a importância de estratégias integradas e ecologicamente viáveis no manejo de pragas agrícolas, destacando o uso de inimigos naturais como alternativa promissora.

Palavras-chave: inimigos naturais; parasitoide; controle biológico, interações tróficas.

ABSTRACT

The interaction between ants and their natural enemies is a relevant field of ecology, especially in contexts where parasitoids act as natural agents of population control. This approach has gained increasing interest as a sustainable alternative to chemical pesticides, given their environmental and economic impacts. Among ant pest groups, leaf-cutting ants, particularly *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae), stand out for their complex social organization and the significant damage they cause to agriculture and the environment. In this study, parasitism rates in leaf-cutting ants artificially exposed to the phorid fly *Myrmosicarius grandicornis* Borgmeier, 1928 (Diptera: Phoridae) were evaluated, considering variables such as mortality, survival time, and head capsule size. Collections were carried out at three sites in São Cristóvão, Sergipe State, Brazil, between February and June 2025, totaling 360 ants and 26 phorid flies. Ants were equally divided into two groups (control and treatment). The experiments were conducted under controlled conditions, with direct exposure of ants to phorids for 90 minutes in entomological cages, at a ratio of five ants per phorid, and subsequently stored in a B.O.D. chamber and monitored for 15 days. Significant differences were observed in parasitism rates between the treatment and control groups ($p = 0.04$), in addition to higher mortality and shorter survival time in the exposed group ($p = 0.04$), as well as a smaller average head capsule size in the treatment group ($p < 0.01$). These findings reinforce the potential of phorids as biological control agents and contribute to the understanding of parasitoid–host dynamics in leaf-cutting ant systems. The study highlights the importance of integrated and ecologically viable strategies in pest management, emphasizing the use of natural enemies as a promising alternative.

Keywords: natural enemies; parasitoid; biological control; trophic interactions.

1. INTRODUÇÃO

A relação entre formigas e seus parasitas tem sido objeto de intensas pesquisas, principalmente em ambientes ecológicos onde o parasitoidismo exerce influência significativa na regulação das populações de pragas, como as próprias formigas (Bragança et al., 2008). As formigas cortadeiras são insetos que pertencem à subfamília Attinae e incluem os gêneros *Acromyrmex* e *Atta*, sendo este último composto por 17 espécies e presentes em todo o território brasileiro (Colombari et al., 2023). Essas formigas se destacam por sua organização social e sua relação simbiótica com fungos. As formigas do gênero *Atta* contam com pelo menos três pares de espinhos distribuídos pelo corpo enquanto as formigas do gênero *Acromyrmex* possuem quatro pares de espinhos (Colombari et al., 2021).

Elas manifestam um desenvolvimento social avançado, em que as funções dentro das colônias são bem definidas em castas, como transportadoras, coletoras, soldados e jardineiras (Schneider, 2003). As formigas cortadeiras coletam uma ampla variedade de espécies vegetais, preferencialmente frescas, para cultivar o fungo que serve de alimento às larvas e outros indivíduos da colônia. Outrossim, esse fungo fornece energia e nutrientes essenciais às operárias adultas, que complementam sua dieta ingerindo os líquidos liberados pelas plantas durante o processo de corte (Mueller et al., 1998; Leal & Oliveira 2000; Nagamoto et al., 2011).

A área de forrageamento explorada pelas formigas saúvas tende a se expandir à medida que a colônia cresce. Esse aumento populacional amplia a demanda por recursos vegetais de maior valor nutricional, o que leva as operárias a explorar territórios mais amplos em busca de alimento suficiente para sustentar o desenvolvimento da colônia (Della Lucia & Oliveira, 1993).

As formigas-cortadeiras estão amplamente distribuídas em todo o Brasil, ocorrendo em ambientes urbanos e rurais. Em áreas urbanas, sua atividade pode ser observada em locais com vegetação ornamental, como praças, jardins e pomares, onde danificam diversas espécies vegetais. Já em áreas agrícolas, são consideradas pragas relevantes, devido aos prejuízos que causam às lavouras. Esse impacto é ainda mais evidente durante o estabelecimento de novas plantações, pois o corte das folhas pode comprometer o crescimento de mudas, afetando negativamente a produtividade das culturas (Campos & Zorzenon, 2018).

A *Atta sexdens*, popularmente chamada de saúva-limão, é conhecida como uma importante engenheira dos ecossistemas naturais devido às modificações físicas e químicas que promove no solo, além de sua influência na organização e dinâmica das comunidades vegetais (Farji Brener & Werenkraut, 2017). Por outro lado, não só a saúva-limão, como as formigas cortadeiras em geral, possuem relevante impacto econômico, devido à sua intensa atividade de forrageamento em diversas culturas agrícolas e florestais (Souza et al., 2009).

Devido à importância das formigas-cortadeiras como pragas agrícolas, o controle químico tem sido continuamente desenvolvido, com a criação de compostos cada vez mais potentes (Wilcken & Berti Filho, 1994). No entanto, essas formigas demonstram elevada capacidade adaptativa, o que compromete a eficácia dos métodos convencionais de manejo. Além disso, o uso crescente de substâncias altamente tóxicas contribui para o agravamento dos impactos ambientais (Wilcken & Berti Filho, 1994).

Na estratégia de controle baseada em produtos químicos, destacam-se as formulações em isca contendo como princípios ativos a sulfluramida e o fipronil. A sulfluramida, apesar de eficiente, tem o inconveniente dos resíduos de iscas não recolhidos, que podem se decompor no ambiente, originando substâncias como o perfluorooctano sulfonato (PFOS) e o perfluorooctano sulfonil fluoreto (PFOSF), ambos reconhecidos por sua alta persistência ambiental, potencial de bioacumulação e toxicidade (Guillade & Folgarait, 2014). O fipronil apresenta toxicidade aguda para diversos organismos não-alvo, incluindo aves, mamíferos e insetos que exercem funções ecológicas relevantes. Devido aos riscos associados ao uso desses compostos, tanto a sulfluramida quanto o fipronil foram classificados como pesticidas altamente perigosos pelo Conselho de Manejo Florestal (FSC) em 2015 (Guillade & Folgarait, 2014; Vinha, 2017; Catalani et al., 2016).

Como alternativa aos danos ecológicos e agrônômicos causados pelo uso de agrotóxicos, foi desenvolvido, no final da década de 1950, o conceito de Manejo Integrado de Pragas (MIP). Essa abordagem propõe a integração de diferentes estratégias como o controle por agentes naturais (Valicente, 2009).

Com a formalização do conceito de MIP em 1976, a estratégia de criação massal de insetos para aplicação em programas de manejo biológico surgiu com o objetivo de manter as populações de pragas abaixo dos níveis que causam prejuízos econômicos. Esse avanço favoreceu o progresso de áreas complementares, como bioecologia, mapeamento populacional de pragas e inimigos naturais (Valicente, 2009). No Brasil, esse tipo de controle vem sendo amplamente utilizado, especialmente na cultura da cana-de-açúcar, onde parasitoides como *Trichogramma galloi* (espécie nativa) e *Cotesia flavipes* (espécie exótica) têm sido liberados em milhões de hectares cultivados (Parra & Coelho Jr., 2022). Os sistemas de criação utilizados na produção de agentes de estratégia biológica de controle podem ser adaptados de acordo com critérios econômicos e operacionais, possibilitando o uso tanto de hospedeiros naturais quanto alternativos (Parra & Coelho Jr., 2022).

Diante disso, o método de controle por inimigos naturais consolida-se como uma alternativa promissora no manejo de pragas, por oferecer soluções sustentáveis de longo prazo e contribuir para a redução dos impactos ambientais decorrentes do uso de agrotóxicos. Nesse contexto, é pertinente retomar um princípio fundamental da biologia, segundo o qual todo organismo possui ao menos um inimigo natural. No caso das formigas cortadeiras, essa premissa se confirma, uma vez que essas espécies sofrem ataques naturais de diversos inimigos, incluindo predadores, entomopatógenos e parasitas. Entre os parasitoides, destacam-se os forídeos (Wilcken & Berti Filho, 1994).

Segundo Bragança (2006), a família *Phoridae* é composta por diversas espécies de moscas parasitoides, muitas das quais atuam especificamente sobre formigas, com notável diversidade na região Neotropical. Os forídeos exibem diferentes graus de especificidade, sendo capazes de parasitar uma única espécie ou múltiplas espécies hospedeiras. No caso do gênero *Atta*, foram registradas 39 espécies de forídeos distribuídas em cinco gêneros, sendo o *Myrmomicarius* com a maior extensão geográfica (Bragança, 2006).

Após alcançarem a maturidade sexual, as fêmeas dos parasitoides dedicam a maior parte de sua vida à busca por hospedeiros adequados onde possam realizar a oviposição, comportamento essencial para o sucesso reprodutivo da espécie. Elas podem localizar seus hospedeiros em diferentes pontos da colônia, como nas trilhas de forrageamento, na entrada do ninho ou até mesmo no interior deste, especialmente em áreas destinadas ao descarte de resíduos. Durante o ataque para oviposição, esses dípteros apresentam a capacidade de selecionar distintos pontos do corpo da formiga para depositar seus ovos, como o gáster, o tórax ou a cápsula cefálica. A escolha do local varia conforme a espécie de forídeo envolvida (Bragança et al., 2009; Nascimento et al., 2025).

Essas características demonstram que os forídeos possuem potencial como ferramenta de manejo biológico das saúvas, sua função de parasita natural pode contribuir para a regulação dessas colônias, reduzindo a degradação ambiental e agrícola e diminuindo o uso de pesticidas químicos (Folgarait, 2013). Apesar dos avanços no conhecimento sobre a biologia dos forídeos e sua relação com formigas cortadeiras, ainda são escassos os estudos experimentais que avaliem o efeito da Indução controlada sobre a taxa de parasitoidismo.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da Indução controlada de *Atta sexdens* ao forídeo *Myrmosicarius grandicornis* na taxa de parasitoidismo.

2.1 Objetivos Específicos

- Comparar as taxas de parasitoidismo entre os grupos controle e tratamento;
- Analisar a mortalidade e o tempo de sobrevivência das formigas expostas;
- Avaliar a relação entre o parasitoidismo e o tamanho da cápsula cefálica.

3. MATERIAI E MÉTODOS

3.1 Local de coleta das formigas saúva-limão

As coletas das formigas foram realizadas no período de 11 de fevereiro a 10 de junho de 2025, em três locais distintos. Dois deles situam-se na Universidade Federal de Sergipe, no município de São Cristóvão, SE, Brasil (10°55'33,55" S, 37°57'6,33" W), caracterizados por um bosque urbano, com amplas áreas de grama natural, arbustos e árvores. O terceiro ponto corresponde à Praça Horácio Souza Lima – bairro Rosa Elze, em São Cristóvão, SE, Brasil (10°55'36,01" S, 37°6'25,48" W), composta por espécies arbóreas e gramíneas. Os pontos foram nomeados da seguinte forma: ponto 1 – Centro de Ciências Exatas, Bloco C (Figura 1); ponto 2 – Praça Horácio Souza Lima – Rosa Elze (Figura 2); ponto 3 – Departamento de Letras (Figura 3).



Figura 1- Entrada da colônia de formigas no CCET - UFS.



Figura 2- Entrada da colônia de formigas na praça Rosa Elze.



Figura 3- Olheiro de colônia da *Atta sexdens* do Departamento de Letras/UFS.

Após cada coleta, as formigas foram acondicionadas em potes plásticos (Figura 4) contendo dois algodões embebidos, um com água e outro com uma solução de água e mel 50%. Em seguida, os potes foram transferidos para uma incubadora climatizada (26 ± 1 °C, $85 \pm 5\%$ UR) do tipo B.O.D. (Biological Oxygen Demand), onde permaneceram por media de duas horas até a captura dos forídeos e iniciar dos experimentos.



Figura 4 – Potes com formigas armazenadas em câmara de B.O.D. (Biological Oxygen Demand).

3.2 Coletas dos forídeos em campo

As coletas dos forídeos foi realizada nas dependências da Universidade Federal de Sergipe, localizada no município de São Cristóvão – SE, Brasil (10° 55' 33.55" S, 37° 97' 6.327" W) no período entre 18/02/2025 e 10/06/2025. As coletas ocorreram durante o forrageamento de *A. sexdens*, momento em que os parasitoides se mostraram mais ativos. A captura dos indivíduos foi feita com o auxílio de um sugador entomológico e um aspirador entomológico a pilha (Figura 5) e coletados preferencialmente na região de entrada do formigueiro, local onde os forídeos foram observados realizando oviposição (Figuras 6 e 7). Após as capturas (Figura 8), os forídeos foram colocados na B.O.D. por cinco minutos para diminuir o estresse antes do experimento. Foram realizadas 10 coletas, totalizando 26 forídeos.



Figura 5- Sugador entomológico e aspirador entomológico a pilha.



Figura 6 – Captura de forídeos na colônia CCET- UFS.



Figura 7 – Captura de forídeos na entrada da colônia CCET-UFS.



Figura 8- Forídeo capturado.

3.3 Indução controlada

Após cada coleta, as formigas foram divididas igualmente em dois grupos: um grupo exposto aos forídeos (tratamento), e um grupo controle, mantido sem exposição. Para o grupo experimental, foi adotada a proporção de cinco formigas para cada forídeo.

As formigas foram colocadas em bandejas e mantidas em duas gaiolas entomológicas com dimensões internas (cm) de comprimento= 40 x largura= 40 x altura= 60, revestida por uma tela anti ácaro e abertura lateral por 90 minutos junto com os forídeos (Figura 9). Uma das gaiolas foi usada como controle, ou seja, apenas as formigas foram acondicionadas. Outra gaiola foi utilizada como tratamento, ou seja, foram colocadas juntas formigas e forídeos.



Figura 9 – Bioensaio: à direita, gaiola correspondente ao grupo tratamento (formigas em bandeja expostas ao forídeo solto, na proporção de cinco para um, por 90 minutos); à esquerda, gaiola correspondente ao grupo controle (formigas em bandeja mantidas sem forídeos pelo mesmo período).

Após esse período as formigas foram acondicionadas de volta aos potes plásticos contendo água e uma solução de água e mel 50%, depois foram transferidas para a B.O.D a 26°C. As formigas foram acompanhadas por 15 dias consecutivos, efetuando troca de água e alimento.

Os forídeos foram recapturados e armazenados em potes tipo Eppendorf (5 mL) em álcool 70%.

3.4 Identificação de parasitoidismo

Formigas mortas durante o intervalo de 15 dias após os bioensaios foram individualizadas, sua cápsula cefálica foi medida e foram armazenadas em Eppendorfs e acompanhadas até 20 dias pós-exposição. Após 15 dias da exposição, as formigas que permaneceram vivas foram medidas o tamanho da cápsula cefálica com paquímetro (Figura 10), consideradas não-parasitadas e descartadas. Todas as formigas mortas (expostas ou controle) foram submetidas à dissecação para verificar a presença de estágios imaturos do parasitoide em seu interior (Figura 11).



Figura 10- Medição da cápsula cefálica com paquímetro.



Figura 11- Material utilizado para dissecação das formigas.

Após a dissecação formigas foram classificadas como parasitadas (Figura 12 e 13) e não parasitadas (Figura 14).

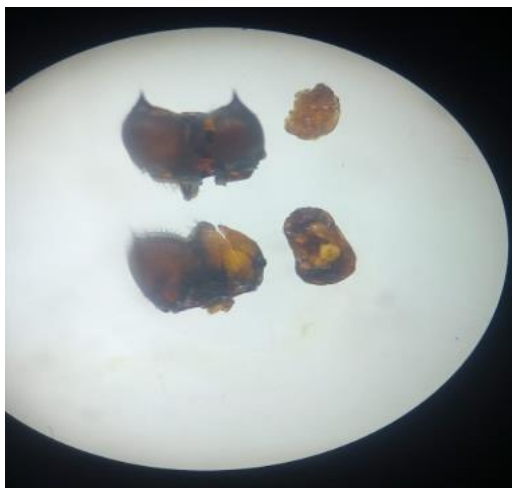


Figura 12 – Cápsulas cefálicas contendo pupas do parasitoide.



Figura 13 – Parasitoide emergido da cápsula cefálica.



Figura 14 – Cápsula cefálica sem sinais de parasitoidismo.

3.5 Análises estatísticas

3.5.1 Taxa de parasitoidismo

Para a análise estatística, os dados foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($\alpha = 5\%$), a fim de avaliar se apresentavam distribuição normal. Os resultados indicaram desvios da normalidade, ou seja, os dados são não paramétricos. Assim, optou-se pela utilização de métodos não paramétricos, sendo aplicado o teste do qui-quadrado de Pearson, proposto em 1900, amplamente consolidado na literatura como um procedimento robusto e versátil para a análise de variáveis categóricas. Esse teste tem por finalidade comparar as **frequências observadas** com as **frequências esperadas** em tabelas de contingência, possibilitando identificar diferenças estatisticamente significativas e avaliar a existência de associação ou independência entre as categorias analisadas (Valarmathi, Hemapriya, & Sundar, 2024).

$$X^2 \text{ calculado} = \sum (O-E)^2/E, \text{ onde: } O \text{ corresponde à proporção observada de formigas parasitadas e } E \text{ representa a proporção de formigas esperada.}$$

A taxa de parasitoidismo das formigas submetidas à presença de forídeos foi tratada como uma variável—numérica, entre os grupos controle e tratamento (variável categórica). Para a análise estatística, foram considerados apenas os indivíduos que morreram durante os 15 dias pós-exposição aos parasitoides. As análises foram conduzidas utilizando o software PAST (Paleontological Statistics) (Hammer et al. 2001) com nível de significância $\alpha = 5\%$.

3.5.2 Índice de sobrevivência

A sobrevivência de formigas parasitadas e não parasitadas foi avaliada utilizando-se a análise de Kaplan-Meier, que permite estimar a função de sobrevivência ao longo do tempo. Para verificar diferenças estatísticas entre os grupos, foram realizadas comparações pareadas com o teste log-rank, adotando-se um nível de significância de 5% (Nascimento et al., 2025). Esse método é especialmente útil quando nem todos os indivíduos apresentam o evento de

interesse (morte) durante o período de observação, ou seja, em situações de dados censurados (Crawley, 2013; Nascimento et al., 2025).). Além disso, aplicou-se o teste t para comparar a média de dias de sobrevivência entre os grupos analisados.

3.5.3 Tamanho da cápsula cefálica

Para analisar o tamanho da cápsula cefálica das formigas, foi aplicado o teste t, um procedimento estatístico paramétrico amplamente utilizado para comparar as médias de duas populações, neste caso, o grupo controle e tratamento. Esse teste permite avaliar se as diferenças observadas entre os grupos são estatisticamente significativas, fornecendo informações sobre a existência de efeitos do tratamento sobre a variável estudada (Brown, 2008; Nascimento et al., 2025).

4. RESULTADOS

Das 180 formigas expostas aos forídeos (grupo tratamento), registrou-se uma mortalidade total de 141 indivíduos (78,3%), dos quais 35 estavam parasitadas. No grupo controle, também composto por 180 formigas, foram registradas 105 mortes (58,3%), sendo que apenas 13 indivíduos estavam parasitados.

A análise estatística por meio do teste de Qui-quadrado revelou uma diferença significativa entre os valores esperados *versus* observados, quanto à taxa de parasitoidismo ($\chi^2 = 4,06$; $p = 0,04$) (Figura 15). As formigas cortadeiras da espécie *A. sexdens*, quando submetidas à indução controlada aos forídeos, apresentaram um aumento expressivo na incidência de parasitoidismo em comparação àquelas que não foram expostas aos parasitoides. O resultado obtido indica que a presença dos forídeos teve efeito direto sobre o incremento da taxa de parasitoidismo.

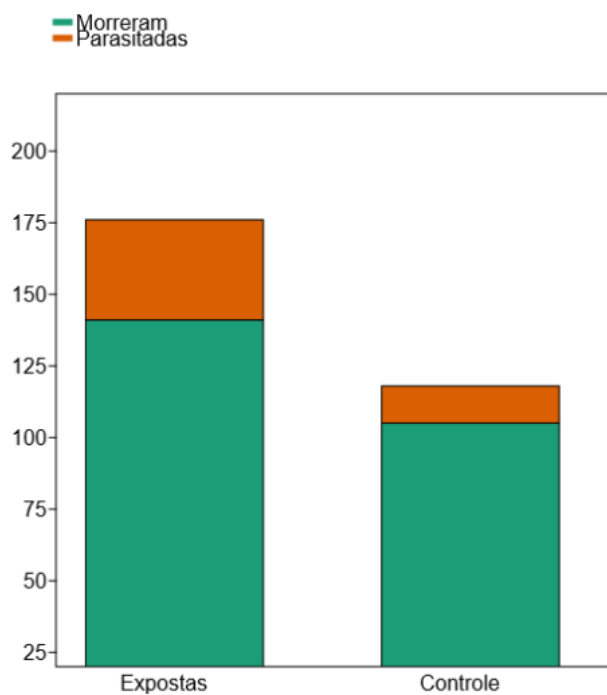


Figura 15 – Gráfico de Qui-quadrado, representando os resultados para o n° de formigas mortas e parasitadas (eixo y), entre os dois grupos (expostas ao forídeo e controle, eixo x) ($\chi^2 = 4,06$; $p = 0,04$).

Adicionalmente, os resultados experimentais indicaram que o índice de sobrevivência das formigas expostas aos forídeos foi significativamente menor em comparação àquelas mantidas no grupo controle, que não tiveram contato com os parasitoides ($p = 0,045$) (Figura 16).

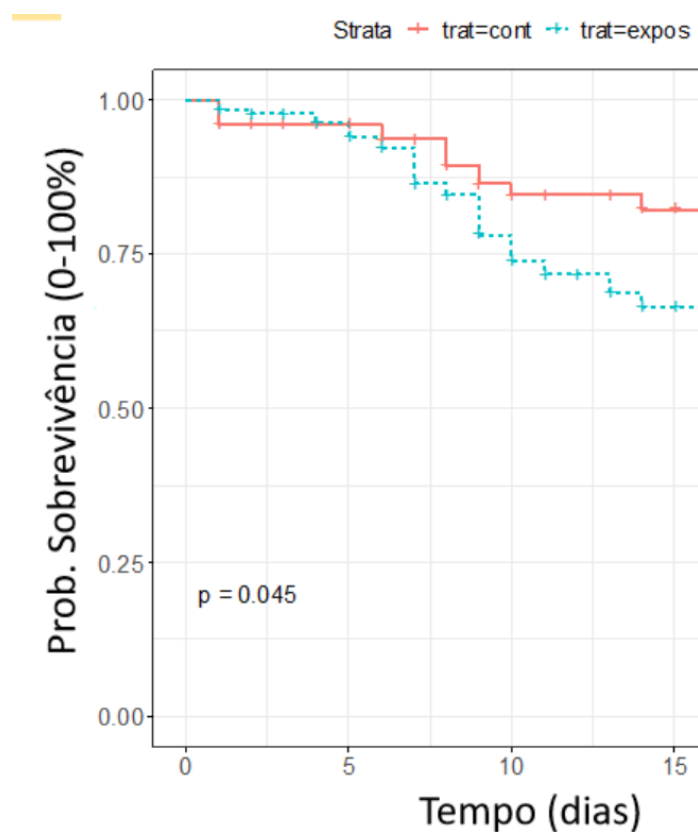


Figura 16 - Curvas de Probabilidade de sobrevivência, de acordo com o teste Kaplan-Meier. Linha azul = formigas expostas; linha vermelha = formigas controle).

Formigas parasitadas no grupo tratamento apresentaram cápsulas cefálicas com tamanho médio inferior ao observado no grupo controle (Figura 17), isto sugere que existe preferência dos forídeos ao tamanho dos hospedeiros ($t = 4$; $p < 0,01$).

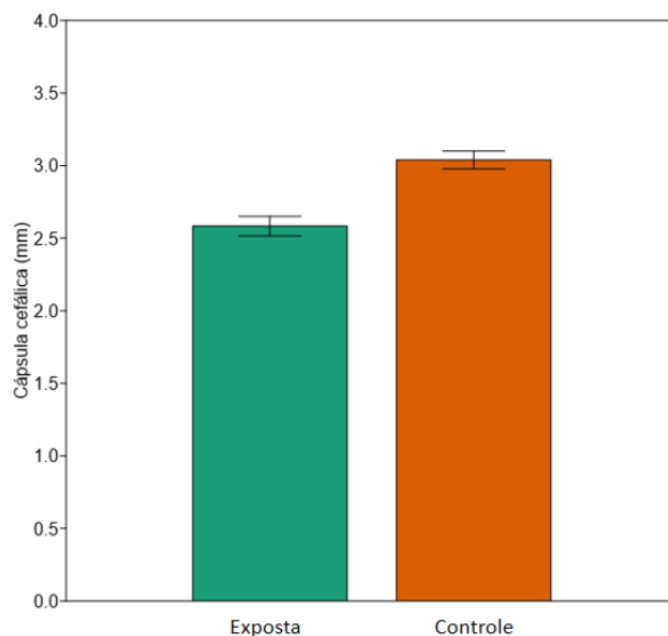


Figura 17 – Relação entre o tamanho da cápsula cefálica entre os grupos. verde = formigas expostas ao forídeo; laranja = formigas controle.

Outro resultado relevante do experimento foi a diferença significativa no tempo de sobrevivência entre os grupos analisados. As formigas expostas aos forídeos apresentaram uma média de dias de sobrevivência inferior àquelas do grupo controle (Figura 18), conforme indicado pelo teste de Mann-Whitney ($U = 1076$; $p = 0,003$).

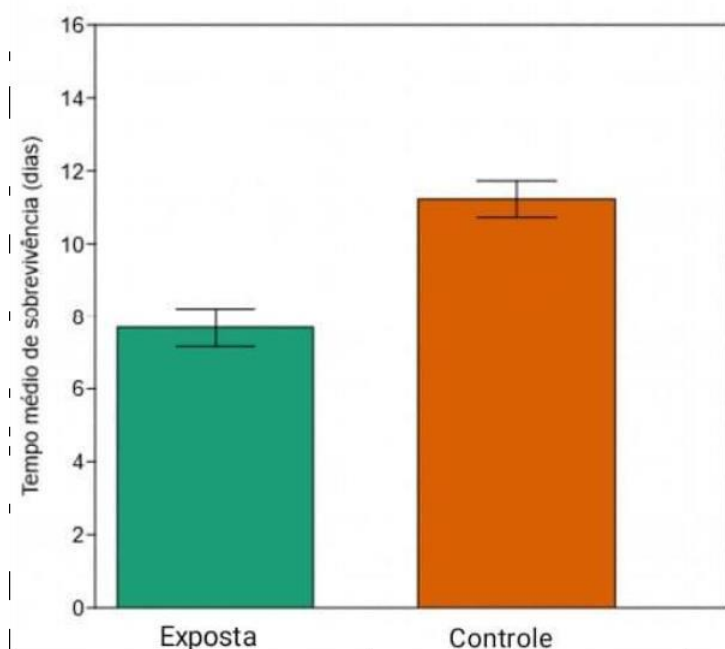


Figura 18 – Tempo médio de sobrevivência (dias) de formigas nos grupos exposto ao forídeo (sim) e controle (não).

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que forídeos da espécie *M. grandicornis* aumentam sua taxa de sucesso ao serem expostos artificialmente às formigas *A. sexdens*. Esse aumento é acompanhado por um menor tempo de sobrevivência das formigas. Tais resultados abrem perspectivas promissoras para o uso de *M. grandicornis* como agentes de controle biológico de *A. sexdens*. A elevação nas taxas de parasitoidismo observada neste experimento pode ser atribuída à espécie de forídeo utilizada, à maior densidade de parasitoides atuando diretamente sobre os hospedeiros (proporção de cinco formigas para um forídeo) e ao tempo de exposição, fatores que ampliam as oportunidades de oviposição e, consequentemente, o êxito reprodutivo das fêmeas. Esse resultado assemelha-se a da taxa de parasitoidismo em *A. sexdens* por *Neodohrniphora elongata* obtida por Bragança et al. (2009), que obteve uma taxa de 68% de parasitismo, em condições de menor tempo de exposição e proporção reduzida de parasitoides. Esse comportamento reforça a eficiência desses insetos, sobretudo quando aplicados de forma estratégica e em ambientes propícios à sua atuação.

As taxas de parasitoidismo registradas no presente estudo foram superiores às relatadas em trabalhos anteriores (Tonhasca, 1996; Bragança & Medeiros, 2006), evidenciando que a

indução controlada pode elevar em mais de 600% a incidência de parasitoidismo em saúvas. Para fins comparativos, a taxa de parasitoidismo natural em *Atta laevigata*, encontrada por Bragança e Medeiros (2006) em Tocantins, foi de apenas 2,8%, distribuídas em três espécies de forídeos. Já Tonhasca (1996) reportou taxa de 2,2% em *A. sexdens rubropilosa*, na região Sudeste. No presente estudo, a taxa de parasitoidismo natural por *M. grandicornis* sobre *A. sexdens* foi de 7,2%. No entanto, no grupo exposto, esse valor atingiu 19,4%, representando um aumento expressivo em relação à taxa natural previamente documentada para essa espécie e muito superior aos valores reportados pelos autores acima citados.

Além do aumento no parasitoidismo, outro efeito importante foi a redução significativa no índice de sobrevivência das formigas expostas aos forídeos. Os indivíduos do grupo tratamento apresentaram menor tempo médio de vida em comparação às do grupo controle (Tabela 1), resultado que evidencia o impacto negativo direto da ação parasitária sobre a longevidade das saúvas. Esse efeito pode comprometer o equilíbrio funcional da colônia (Mueller et al., 1998). Em investigação anterior, Bragança e Medeiros (2006) relataram que formigas do gênero *Atta* parasitadas por forídeos apresentaram tempo médio de sobrevivência em condições laboratoriais de $(4,2 \pm 2,2)$ dias, enquanto formigas não parasitadas apresentaram tempo médio de $(7,6 \pm 4,3)$ dias, indicando que formigas parasitadas tiveram aproximadamente 55% de redução no tempo de vida. Esse resultado é semelhante ao observado no presente estudo, no qual a média de sobrevivência de formigas parasitadas foi próxima a sete dias, apresentando entre 31% e 41% de redução no tempo de vida em comparação às formigas não parasitadas do mesmo grupo.

Tabela 1 – Tempo médio de vida de operárias parasitadas e não parasitadas, entre os tratamentos (Expostas e Controle).

Tratamento	Tempo de vida	Redução da sobrevivência (%)
Exposta/não parasitada	$11,22 \pm 0,5$	31,0
Exposta/ parasitada	$7,7 \pm 0,52$	
Controle/não parasitada	$10,7 \pm 0,5$	41,0
Controle/ parasitada	$6,3 \pm 1,15$	

O estudo também revelou uma tendência na escolha dos hospedeiros pelos forídeos: as formigas parasitadas no grupo exposto apresentaram cápsulas cefálicas significativamente menores que aquela do grupo controle. Esse padrão indica uma possível seletividade por parte dos parasitoides. Esse comportamento pode estar associado a uma estratégia adaptativa das fêmeas parasitoides, que buscam maximizar a relação custo-benefício ao selecionar hospedeiros mais vulneráveis ou com menor capacidade de defesa. Dessa forma, além de reduzir os riscos durante o ataque, as fêmeas asseguram recursos adequados para o desenvolvimento das larvas, aumentando a probabilidade de sucesso reprodutivo na oviposição (Nascimento et al., 2025).

Bragança et al. (2023) relataram que a largura da cápsula cefálica das operárias hospedeiras está associada à espécie de forídeo responsável pelo parasitoidismo. De modo geral, operárias maiores (cápsula > 2 mm) foram predominantemente parasitadas por *Apocephalus vicosa* e *Eibesfeldtphora erthali*, enquanto operárias menores (≤ 2 mm) apresentaram maior incidência de parasitoidismo por *Apocephalus attophilus* e *M. grandicornis*. Esses resultados indicam que a eficiência do controle biológico depende, em parte, da seleção adequada da espécie parasitoide em função do tamanho médio das formigas presentes no campo.

Essas observações experimentais reforçam a viabilidade do uso de *M. grandicornis* como ferramenta de manejo sustentável, sobretudo em sistemas agrícolas onde o uso de agrotóxicos tem se mostrado ambientalmente problemático. Diferentemente dos pesticidas convencionais, que oferecem riscos de contaminação e seleção de resistência nas pragas-alvo (Guillade & Folgarait, 2014; Catalani et al., 2016), os parasitoides representam uma alternativa ecologicamente mais segura e alinhada aos princípios do Manejo Integrado de Pragas (Valicente, 2009).

No entanto, é fundamental considerar que, apesar dos resultados promissores em condições laboratoriais, a aplicação prática do controle biológico por forídeos exige estudos complementares em ambientes naturais. Aspectos como a dispersão dos parasitoides, sua sobrevivência fora do ambiente controlado, a densidade de colônias de formigas no campo e possíveis interações com outros organismos ainda precisam ser avaliados com maior profundidade. Além disso, a compatibilidade do uso de forídeos com outras estratégias de controle, incluindo métodos culturais, mecânicos e biológicos, deve ser explorada de forma integrada, visando à eficiência e à sustentabilidade do manejo (Valicente, 2009).

Em síntese, os resultados deste estudo evidenciam que a indução controlada de formigas cortadeiras à espécie parasitoide *M. grandicornis* promove um aumento significativo na taxa

de parasitoidismo, além de reduzir o índice de sobrevivência das operárias e indicar preferência dos parasitoides por indivíduos com menor tamanho corporal (Bragança & Medeiros, 2006). Esses resultados reforçam o potencial dos forídeos como agentes eficazes no controle biológico de *A. sexdens*, oferecendo uma alternativa viável e ecologicamente sustentável aos métodos químicos convencionais.

Caso estudos de campo confirmem a redução populacional da espécie-alvo, o emprego de parasitoides configura-se como uma alternativa promissora dentro das estratégias de manejo integrado de pragas (Valicente, 2009). Essa abordagem tem o potencial de mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de agrotóxicos, favorecendo sistemas agrícolas que demandam soluções sustentáveis, de longo prazo e com menor efeito adverso sobre os ecossistemas.

6. REFERÊNCIAS

Bragança, M. A. L., & Medeiros, Z. C. S. (2006). Ocorrência e características biológicas de forídeos parasitoides (Diptera: Phoridae) da saúva *Atta laevigata* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae) em Porto Nacional, TO. *Neotropical Entomology*, 35(3), 408–411. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000300018>

Bragança, M. A., Tonhasca, A. J., & Della Lucia, T. M. (2009). Características biológicas e comportamentais de *Neodohrniphora elongata* Brown (Diptera, Phoridae), um parasitoide da saúva *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera, Formicidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 53(4), 600–606.

Bragança, M. A. L., Souza, L. M. D., Nogueira, C. A., & Della Lucia, T. M. C. (2008). Parasitoidismo por *Neodohrniphora* spp. Malloch (Diptera, Phoridae) em operárias de *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera, Formicidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 52(2), 300–302.

Bragança, M. A. L., Souza, M. L. O., Oliveira, R. J., & Samuels, R. I. (2023). Phorid fly parasitism rates vary between individual colonies of the leaf-cutting ant *Atta laevigata*. *Agricultural and Forest Entomology*, 25(4), 558–570. <https://doi.org/10.1111/afe.12575>

Brown, A. (2008). As estranhas origens do teste t de Student. *Physiology News*, 71(Summer), 13–15. <https://doi.org/10.36866/pn.71.13>

Campos, A. E. C., & Zorzenon, F. J. (2018). *Programa de Sanidade em Agricultura Familiar – Formigas-Cortadeiras (Apostila do Prosa)*. Instituto Biológico/APTA.

Catalani, L. H., et al. (2016). Toxicidade ambiental da sulfluramida e seus produtos de degradação. *Public Health and Environmental Studies*.

Colombari, K. F. S., Fujihara, R. T., Souza-Campana, D. R., Wazema, C. T., & Souza, E. S. (2021). Levantamento de espécies de formigas-cortadeiras na região central do estado do Tocantins, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, 81(3), 743–751.

Colombari, K. F. S., Fujihara, R. T., Souza-Campana, D. R., Wazema, C. T., & Souza, E. S. (2023). Survey of leaf-cutting ant species in the central region of the state of Tocantins, Brazil = Levantamento de espécies de formigas-cortadeiras na região central do estado do Tocantins, Brasil. *Brazilian Journal of Biology*, 83(1), e248727. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.248727>

Crawley, M. J. (2013). *The R book* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Della Lucia, T. M. C., & Oliveira, M. A. (1993). O território de forrageamento das formigas-cortadeiras. In T. M. C. Della Lucia (Org.), *As formigas cortadeiras* (pp. 163–190). Folha de Viçosa.

Erthal, M. Jr., & Tonhasca, A. Jr. (2000). Biology and oviposition behavior of the phorid *Apocephalus attophilus* and the response of its host, the leaf-cutting ant *Atta laevigata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95(1), 71–75. <https://doi.org/10.1023/A:1003902402166>

Farji-Brener, A. G., & Werenkraut, V. (2017). The effects of ant nests on soil fertility and plant performance: A meta-analysis. *Journal of Animal Ecology*, 86(4), 866–877. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12672>

Guillade, A. C., & Folgarait, P. J. (2014). Natural enemies of *Atta vollenweideri* negatively affected by synthetic pesticides, chlorpyrifos and fipronil. *Journal of Economic Entomology*, 107(1), 105–114.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9 pp.

Leal, I. R., & Oliveira, P. S. (2000). Foraging ecology of attine ants in a Neotropical savanna: Seasonal use of fungal substrate in the Brazilian cerrado vegetation. *Insectes Sociaux*, 47(4), 376–382. <https://doi.org/10.1007/PL00001734>

Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per Regna Tria Naturae* (10th ed., Vol. 1, pp. 1–824). Holmiae [Stockholm].

Mueller, U. G., Rehner, S. A., & Schultz, T. R. (1998). The evolution of agriculture in ants. *Science*, 281(5385), 2034–2038.

Nagamoto, N. S., Barbieri, R. F., Forti, L. C., Cardoso, S. R. S., Moreira, S. M., & Lopes, J. F. S. (2011). Attractiveness of copperleaf-based bait to leaf-cutting ants. *Ciência Rural*, 41(6), 931–934.

Nascimento, L. C. F., Pereira, T. P. L., Bragança, M. A. L., & Sousa-Souto, L. (2025). First record of parasitoidism by Phoridae flies in *Atta opaciceps* Borgmeier (Hymenoptera: Formicidae), a leafcutter ant from the Northeast Region of Brazil. *Sociobiology*, 72(3), e11408. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v72i3.11408>

Parra, J. R. P., & Coelho, A. Jr. (2022). Insect rearing techniques for biological control programs, a component of sustainable agriculture in Brazil. *Insects*, 13(105), 1–18. <https://doi.org/10.3390/insects13020105>

Schneider, M. O. (2003). *Comportamento de cuidado da prole da saúva-limão Atta sexdens rubropilosa Forel, 1908 (Hymenoptera, Formicidae)* (Master's dissertation). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro.

Souza, R. M., Anjos, N., Cordeiro, G., & Mourão, S. A. (2009). Primeiro registro de *Atta sexdens rubropilosa* Forel atacando árvores de Nim, *Azadirachta indica* A. Juss. Universidade Federal de Viçosa.

Valarmathi, S., Hemapriya, A. S., & Sundar, J. S. (2024). Chi-square tests: A quick guide for health researchers. *International Journal of Advanced Research*, 12(10), 1214–1222. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/19746>

Tonhasca, A. Jr. (1996). Interactions between a parasitic fly, *Neodohrniphora declinata* (Diptera: Phoridae), and its host, the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). *Ecotropica*, 2, 157–164.

Tonhasca, A. Jr., Bragança, M. A. L., & Erthal, M. (2001). Parasitism and biology of *Myrmosicarius grandicornis* (Diptera, Phoridae) in relationship to its host, the leaf-cutting ant *Atta sexdens* (Hymenoptera, Formicidae). *Insectes Sociaux*, 48(2), 154–158.

Valicente, F. (2009). Controle biológico de pragas com entomopatógenos. *Informe Agropecuário*, 30(251), 48–55.

Vinha, G. L. (2017). *Sulfluramida como ingrediente ativo de iscas formicidas no manejo de formigas cortadeiras* [Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Agrônômica]. Universidade Federal de Viçosa.

Wilcken, C. F., & Berti Filho, E. (1994). Controle biológico de formigas cortadeiras. In *Curso de atualização no controle de formigas cortadeiras*. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. https://www.ipef.br/publicacoes/anais/anais_curso_formigas_cortadeiras.pdf

ANEXOS

Tabela 2: Experimentos

Nº do experimento	Tratamento	Controle	Nº de forídeos
1- 18/02	25	25	5
2- 25/02	25	25	5
3- 05/03	25	25	5
4- 10/03	25	25	5
5- 23/05	15	15	3
6- 26/05	10	10	2
7- 02/06	10	10	2
8- 05/06	10	10	2
9- 06/06	15	15	3
10- 10/06	20	20	4