



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**EMILY OLIVEIRA FONSECA**

**ECOLOGIA DA INTERAÇÃO ENTRE O FUNGO *GIBELLULA* SP. (HYPOCREALES:  
CORDYCIPTACEAE) E A ARANHA *MACROPHYES PACOTI* (ARANEAE:  
ANYPHAENIDAE) NA MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL**

**FORTALEZA**

**2022**

EMILY OLIVEIRA FONSECA

ECOLOGIA DA INTERAÇÃO ENTRE O FUNGO *GIBELLULA* SP. (HYPOCREALES:  
CORDYCIPTACEAE) E A ARANHA *MACROPHYES PACOTI* (ARANEAE:  
ANYPHAENIDAE) NA MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia Terrestre.

Orientador: Prof. Dr. Jober Fernando Sobczak

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F743e Fonseca, Emily Oliveira.  
Ecologia da Interação entre o fungo *Gibellula* sp. (Hypocreales: Cordycipitaceae) e a aranha *Macrophyes pacoti* (Araneae: Anyphaenidae) na Mata Atlântica do nordeste do Brasil / Emily Oliveira Fonseca. – 2021.  
40 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Dr. Jober Fernando Sobczak.
1. Fungos entomopatogênicos. 2. *Torrubiella*. 3. Fenótipos estendidos. 4. *Ophiocordyceps*. 5. Serra de Baturité. I. Título.

CDD 577

EMILY OLIVEIRA FONSECA

ECOLOGIA DA INTERAÇÃO ENTRE O FUNGO *GIBELLULA* SP. (HYPOCREALES:  
CORDYCIPTACEAE) E A ARANHA *MACROPHYES PACOTI* (ARANEAE:  
ANYPHAENIDAE) NA MATA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia Terrestre.

Aprovada em: 09/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Jober Fernando Sobczak (Orientador)  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dr. German Antonio Villanueva Bonilla  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

---

Prof. Dr. Gabriel Máximo Xavier  
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradeço à Capes, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Jober Fernando Sobczak, pela orientação.

Aos professores membros da banca, Prof. Dr. German Antonio Villanueva Bonilla, Prof. Dr. Gabriel Máximo Xavier e a Profa. Dra. Camila Rabelo Oliveira Leal.

Agradeço aos meus pais Rose Fonseca e Márcio Barbosa pelos anos de dedicação e apoio a minha formação. Ao meu namorado Bonnei por estar sempre ao meu lado durante esses anos de pesquisa. Aos meus grandes amigos do grupo de pesquisa: Joedson Pires, Julie Erica, Luis Campili, Aladje Ambrósio, Lílian Santiago, Isaac Queiroz, João Batista, Brenda Kelly e Ageu Nóbrega pelos trabalhos realizados em conjunto em campo. À minha coorientadora Thairine Mendes pereira, pelas grandes contribuições ao meu trabalho.

Aos professores do PPGERN, pela dedicação e qualidade de ensino prestados ao longo dos dois anos letivos, independente das adversidades enfrentadas durante o período pandêmico.

Aos parceiros do laboratório de Ecologia e Evolução da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, ao Instituto Butantan, ao Laboratório de Biologia Molecular e Computacional de Fungos - UFMG e demais colaboradores. Aos proprietários e funcionários do Instituto Sítio São Luiz; Hotel Vale das Nuvens pela permissão e incentivo à pesquisa científica em suas propriedades.

Em suma, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento desta pesquisa, assim como para o meu crescimento acadêmico e profissional.

“Tudo o que você vê faz parte de um delicado equilíbrio... E assim, estamos todos ligados no grande ciclo da vida.” (MURRAY, 2021, p. 20).

## RESUMO

Este estudo explora a ecologia da interação entre o fungo *Gibellula* sp. e *Macrophyes pacoti*. Recentemente a manipulação do hospedeiro por fungos Hypocreales tem sido relacionada a uma mudança vertical na vegetação feita pelo hospedeiro infectado para o local da morte. Para determinar a importância do local de morte do hospedeiro infectado no sucesso reprodutivo do fungo, mudamos a altura das aranhas infectadas 50% e 100% para cima na vegetação, e relacionamos a abundância a fatores abióticos importantes na reprodução fúngica. Realizamos regressão logística e análise descritiva dos fatores abióticos e da abundância do hospedeiro, bem como de suas relações, utilizando o programa R. Encontramos correlações positivas na abundância de aranhas parasitas e correlações negativas em hospedeiros saudáveis para a pluviosidade, temperatura, umidade e topografia entre o índice pluviométrico. Não foram observadas correlações significativas para os estágios iniciais, maduros e antigos do parasitismo. A mudança de 50% teve um aumento na dispersão dos dados da abundância. A mudança de 100% mostrou uma diminuição na abundância de aranhas parasitas e um aumento na abundância de aranhas saudáveis. Supomos que a dispersão de esporos pode ser aumentada nos hospedeiros que escalaram a vegetação, mas um limite na altura ideal à taxa de parasitismo.

**Palavras-chave:** fungos entomopatogênicos; *Torrubiella*; fenótipos estendidos; *Ophiocordyceps*; Serra de Baturité; manipulação de hospedeiros.

## ABSTRACT

This study explores the ecology of the interaction between the fungus *Gibellula* sp. and *Macrophyes pacoti*. Recently host manipulation by Hypocreales fungi has been related to a vertical shift in vegetation made by the infected host to the death site. To determine the importance of the infected host death site on the reproductive success of the fungus, we shifted the height of infected spiders 50% and 100% upward in the vegetation, and related the abundance to abiotic factors important in fungal reproduction. We performed logistic regression and descriptive analysis of abiotic factors and host abundance and their relationships using the R program. We found positive correlations in parasitic spider abundance and negative correlations in healthy hosts for rainfall, temperature, humidity and topography among the rainfall index. No significant correlations were observed for early, mature, and old stages of parasitism. The 50% change had an increase in the dispersion of the abundance data. The 100% change showed a decrease in the abundance of parasitic spiders and an increase in the abundance of healthy spiders. We hypothesize that spore dispersal may be increased in hosts that climbed the vegetation, but a limit on the optimal height to the rate of parasitismo.

**Keywords:** entomopathogenic fungi; *Torrubiella*; extended phenotypes; *Ophiocordyceps*; Serra de Baturité; host manipulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de estudo. Mapa da APA da Serra de Baturité .....	14
Figura 2 – <i>Gibellula</i> sp. ....	32

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Série temporal do índice pluviométrico e da abundância de hospedeiros parasitados e saudáveis .....	20
Gráfico 2 – Dispersão da abundância de hospedeiros em relação a temperatura .....	21
Gráfico 3 – Dispersão da abundância de hospedeiros em relação a temperatura para Controle, Tratamento 1 e tratamento 2 .....	22
Gráfico 4 – Dispersão da abundância de hospedeiros em relação a umidade .....	23
Gráfico 5 – Dispersão da abundância de hospedeiros em relação a quantidade de luz .....	25
Gráfico 6 – Dispersão da abundância de hospedeiros em relação ao nível topográfico ..	26
Gráfico 7 – Dispersão da abundância de hospedeiros em relação ao nível topográfico para Controle, Tratamento 1 e tratamento 2 .....	27
Gráfico 8 – Gráfico de caixas para abundância de hospedeiros saudáveis e parasitados por unidade experimental .....	30
Gráfico 9 – Gráfico de caixas para abundância de fungos no estágio inicial, maduro e velho por unidade experimental .....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tamanho da amostra por ponto de localização .....	18
Tabela 2 – Índice pluviométrico e abundância de parasitados e saudáveis .....	19
Tabela 3 – Valor p e estatística Z para os parâmetros do modelo ajustado .....	28
Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros para o modelo ajustado .....	28

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Alguns fungos patogênicos de artrópodes tem a capacidade de parasitar uma grande variedade de hospedeiros, podendo inclusive modificar o comportamento dos hospedeiros a fim de incrementar a aptidão do parasita em se disseminar. Compreende-se que estes fungos estejam envolvidos na regulação das populações de artrópodes, contribuindo assim para manter a estabilidade dos ecossistemas em florestas tropicais (BARBOSA et al, 2016).

Dentre os fungos parasitas possuem habilidade de manipular o comportamento dos seus hospedeiros para favorecer a transmissão para novos hospedeiros (LACEY et al., 2001; Moore, 2002). Um dos exemplos mais conhecidos desta estratégia de manipulação do comportamento de hospedeiros por fungos entomopatogênicos ocorre no parasitismo de formigas da tribo Camponotini (Hymenoptera: Formicidae) por de fungos do gênero *Ophiocordyceps* (Hypocreales) (Evans; Samson, 1982). Nesta interação, as formigas infectadas são induzidas pelo fungo a abandonarem sua colônia, subirem na vegetação, onde prendem-se mordendo em uma folha com sua mandíbula (Andersen et al. 2009; Hughes et al. 2011). O local onde a formiga se fixa torna-se conveniente para o fungo dispersar com mais eficiência os seus esporos (Andersen et al. 2009).

Entretanto, existem muitas outras espécies de fungos infecciosos associados a insetos e aracnídeos (VEGA et al. 2012). Esta é a condição geral da ordem Hypocreales (Ascomycota) (ARAÚJO E HUGHES, 2016), que inclui tanto fungos entomopatogênicos quanto aracnopatogênicos (EVANS; SAMSON, 1987; BRESCOVIT et al., 2019; DURKIN et al., 2021). Os dois gêneros mais conhecidos são *Gibellula* Cavara, 1894 e *Torrubiella* Boudier, 1885, consistindo de 23 e 80 espécies, respectivamente (KUEPHADUNGPAN et al., 2020). O gênero *Gibellula* (Cordycipitaceae) se diferencia por atacar também opiliões. Porém, cerca de 25 espécies são patógenas exclusivos de aranhas, sendo a maioria de ocorrência tropical (SAVIĆ et al, 2016; SHRESTHA et al, 2019, VILLANUEVA-BONILLA et al, 2021).

Em sua morfologia, *Gibellula* geralmente forma estruturas reprodutivas com sinêmios, ou seja, um feixe ereto de conidióforos, que são células fúngicas produtoras de esporos (Savić et al, 2016). O modo de infecção e mortalidade são semelhantes aos mecanismos encontrados em numerosas espécies de fungos entomopatogênicos. Nestes casos, após o contato dos esporos fúngicos com o corpo de um inseto ou aranha, os esporos germinam e crescem do exoesqueleto até a hemocele, terminando por ocupar gradualmente

todo o corpo do hospedeiro por meio da decomposição dos tecidos moles com enzimas digestivas (SAVIĆ et al, 2016). Após algumas semanas e após matar a aranha, o fungo desenvolve sinêmios e conidióforos que crescem até emergirem através do exoesqueleto da aranha infectada e podem ser vistos na superfície do corpo do hospedeiro. Estes fungos aracnopatogênicos são encontrados nos mesmos habitats que aranhas, embora requeiram condições como umidade e sombra para seu desenvolvimento (SAVIĆ et al, 2016).

Embora a maioria dos estudos relacionados a interação entre fungos do gênero *Gibellula* e aranhas esteja voltada para descrições de características morfológicas, recentemente ARRUDA e colaboradores (2021) ao estudarem a interação de *Gibellula* sp. com a aranha *Macrophyes pacoti* (Araneae: Anyphaenidae) no nordeste do Brasil observaram que as aranhas parasitadas são encontradas em maiores alturas da vegetação, se comparada com aranhas não infectadas. Isso pode estar relacionada a hipótese de que o fungo induz uma segregação vertical na população de aranhas que potencialmente favorece a transmissão dos esporos dos fungos e possibilita a infecção de novas aranhas (ARRUDA, 2020), o que sugere a ocorrência de manipulação comportamental da aranha pelo fungo.

O desenvolvimento fúngico é afetado por fatores ambientais como temperatura, umidade e luz (C. W. McCoy et al. 1992; AYERST, G., 1969). A temperatura e a umidade, por exemplo, afetam principalmente os esporos na fase reprodutiva, e indiretamente quando o fungo se encontra dentro do corpo do hospedeiro (JARONSKI, 2010). Locais que apresentam umidade e temperaturas amenas e estáveis oferecem boas condições para o sucesso reprodutivo de fungos entomopatogênicos (ANDERSEN et al., 2009). Para o fungo *Ophiocordyceps camponoti-atricipis*, a luz mostrou-se como um fator abiótico importante para a infecção de formigas hospedeiras (ANDRIOLLI, 2017). No entanto para fungos parasitas de aranhas, Arruda e colaboradores (2021) sugerem que as infecções também podem estar relacionadas ao nível de pluviosidade. Na natureza são observados padrões altitudinais como gradientes ambientais e espaciais da riqueza e abundância de espécies, e essa relação da composição de espécies com o gradiente altitudinal se justifica pela influência de fatores abióticos e bióticos (TOWNSEND, 2009). Portanto as espécies de fungos deverão ser influenciadas por esses conjuntos de fatores assim como seus respectivos hospedeiros.

Diante da incerteza sobre o valor adaptativo das manipulações comportamentais das aranhas pelos fungos e da influência das condições ambientais sobre as infecções, testamos aqui duas hipóteses. Primeiro, (I) que a altura na qual a aranha infectada morre influencia no sucesso de novas infecções. Assim, esperamos que quanto mais alto é o estrato

da vegetação em que a aranha *M. pacoti* morre, maior serão as futuras taxas de infecção por *Gibellula* sp.. Segundo, (II) dadas as demandas fisiológicas fúngicas, condições ambientais como temperatura, umidade, pluviosidade, luminosidade e gradiente latitudinal, devem influenciar nas taxas de infecções. Assim, esperamos que quanto mais elevada ocorra a temperatura e umidade, maior será a abundância de *M. pacoti* parasitadas por *Gibellula* sp.; assim também quando ocorra o aumento da luminosidade e gradiente latitudinal, maior deverá ser a abundância de *M. pacoti* parasitadas por *Gibellula* sp..

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

As coletas foram realizadas na região do Maciço de Baturité, na trilha do Purgatório, Sítio São Luiz, localizado no município de Pacoti, estado do Ceará, Brasil (4°18' 40" S, 38° 58' 05" O, altitude de 910m). A região está inserida na APA da Serra de Baturité, considerada um dos maiores remanescentes preservados em fragmentos da Mata Atlântica no Ceará (Figura 1). O local comporta nas suas áreas de maior altitude condições ambientais que favoreceram fisionomias florestais do tipo Ombrófila Densa Submontana Montana e Semidecídua, com umidade constante durante o ano e chuvas sazonais (MANTOVANI, 2006). Esta área é considerada de grande interesse biológico por ser um importante refúgio de espécies originárias de outras áreas úmidas, como as florestas Atlântica e Amazônica (FIGUEIREDO & BARBOSA,1990).



**Figura 1:** Área de estudo. Mapa da APA da Serra de Baturité; Pacoti-CE em vermelho.

## 2.2 Experimento Influência dos Fatores Abióticos no Parasitismo

Foi realizado um experimento que permite observar o desenvolvimento do fungo em aranhas hospedeiras e sua relação com fatores abióticos do ecossistema que poderiam influenciar a dinâmica populacional desta interação. Este experimento tem como objetivo descrever a eficiência do parasitismo em aranhas *Macrophyes pacoti* infectadas por *Gibellula* sp. onde foram alteradas as alturas das aranhas infectadas no estágio inicial e observadas a frequência de parasitismo nas populações de *M. pacoti* para cada ponto de coleta.

A hipótese é de que além das aranhas parasitadas pelo fungo ocorrerem em alturas superior à das aranhas saudáveis (aqueles espécimes que não apresentavam indícios visíveis de infecção por fungo), essa altura deverá ter um limite para o sucesso reprodutivo do fungo e a eficiência do parasitismo nas populações de aranhas *Macrophyes pacoti*.

A observação das aranhas foi realizada mensalmente entre dezembro de 2020 e novembro de 2021 em uma área onde as aranhas hospedeiras da espécie *M. pacoti* parasitadas pelo fungo *Gibellula* sp. foram encontradas presas à superfície abaxial de folhas de sub-bosque em alturas de até 2,9 m de altura. Foram definidos 15 pontos de localização em 5 níveis topográficos em um transecto iniciado a partir de 800 m de altitude até o platô da serra, acima de 910 m de altitude. O transecto foi dividido de acordo com os níveis de elevação topográfica utilizando o aplicativo de navegação e mapeamento *Gaia GPS (Topografias)*. Entre os pontos amostrais foi utilizado uma distância mínima de 30 m para garantir a independência amostral do experimento de campo. Esta divisão foi definida em cinco níveis de elevação. Em cada nível, foram delimitados três pontos de coleta, havendo um grupo controle e dois grupos de tratamento.

Dessa forma, cinco pontos para grupo controle “C”, cinco pontos para grupo tratamento “T1” e outros cinco pontos para grupo tratamento “T2”. Anteriormente foi realizada a retirada de todas as aranhas infectadas por *Gibellula* sp. exceto de uma aranha

infectada no estágio inicial para todos os pontos amostrais. Para os pontos do grupo controle, não houve alteração da altura de aranha infectada. Os pontos do grupo tratamento 1 houve alteração em 50% a mais da altura de aranha infectada, e os pontos do grupo tratamento 2 as alturas alteradas em 100% a mais.

Para todos os pontos foram aferidos dados sobre a quantidade de aranhas infectadas e saudáveis, os estágios reprodutivos do fungo, bem como dados abióticos como temperatura, umidade relativa do ar (RH) e luminosidade, que foram amostrados com o auxílio de um termo-higro-anemômetro-luxímetro digital portátil, modelo *THAL-300* para relacionar com aspectos importantes da biologia do fungo e da aranha.

A divisão dos pontos de avaliação está detalhada abaixo:

- Nível 1: Ponto 1 - Ponto 2 - Ponto 3 (800 a 846 m de altitude);
- Nível 2: Ponto 4 - Ponto 5 - Ponto 6 (850 a 872 m de altitude);
- Nível 3: Ponto 7 - Ponto 8 - Ponto 9 (879 a 889 m de altitude);
- Nível 4: Ponto 10 - Ponto 11 - Ponto 12 (890 a 900 m de altitude);
- Nível 5: Ponto 13 - Ponto 14 - Ponto 15 (acima de 910 m de altitude).

### **2.3 Análise de Dados**

Para investigar a influência e as relações dos fatores abióticos (temperatura, umidade relativa do ar, quantidade de luz e índice pluviométrico), da altura em que os hospedeiros se encontram na vegetação e a abundância destes, foram realizadas regressão logística com interação entre as variáveis mencionadas e uma análise descritiva dos fatores abióticos e da abundância de hospedeiros, assim como suas relações. As análises foram realizadas no programa R Core Team, 2022. Foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson e a correlação de Spearman, além do Teste de significância para coeficiente de correlação. Dessa

maneira, foi apresentado um procedimento para verificar a existência de correlação entre as variáveis de interesse através do método bootstrap. O método bootstrap atende aos pressupostos apresentados na amostragem realizada neste trabalho. Outra ferramenta utilizada foi um modelo de regressão logística a fim de descrever a relação entre as variáveis explicativas e a probabilidade, em que foi realizada uma modelagem linear onde os coeficientes foram estimados pelo método da máxima verossimilhança e a razão de chances.

#### **2.4 Identificação taxonômica dos espécimes coletados**

As aranhas hospedeiras *M. pacoti* saudáveis e parasitadas foram identificadas de acordo com BRESCOVIT e colaboradores (2019). Foram observadas ootecas das aranhas e fotografadas para registro. Foram analisados os padrões recentemente relatados por Arruda e colaboradores (2021) como o local de morte do hospedeiro na folha, estágio de desenvolvimento das estruturas assexuais fúngicas, bem como a presença de estruturas relacionadas à morfologia sexual e assexual, e o padrão de cor do micélio e esporos.

As amostras coletadas fora dos pontos amostrais foram enviadas ao Laboratório de biologia Molecular e Computacional de Fungos, Universidade Federal de Minas Gerais, para identificação molecular realizada através da extração do DNA genômico de 27 sinêmios fúngicos retirados de aranhas parasitas e sequenciamento. Os códigos das sequências dos fungos coletados foram incluídos no banco de dados NCBI-GenBank.

Os espécimes de aranhas *M. pacoti* infectadas por *Gibellula* sp. foram depositadas na coleção micológica do Herbário da UNILAB, HU em 03 de abril de 2022, número do registro 1275, código do coletor EOF001 e no Herbário da Universidade Federal de Minas Gerais (BHCB) (holótipo: BHCB205962).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Altura do hospedeiro e Influência dos fatores abióticos no Parasitismo

Foram registradas 981 aranhas, das quais 326 estavam saudáveis e 655 parasitadas. Das aranhas parasitadas, 31 estavam no estágio inicial de desenvolvimento do fungo, 425 em estágio maduro, 194 com o fungo em estágio velho e 13 hiperparasitadas. Ainda, 170 aranhas parasitadas foram consumidas ou decompostas ao longo do período de avaliação e não puderam ser encontradas. Cabe ressaltar a diferença considerável nos tamanhos das amostras coletadas em determinados pontos de localização, mais de 50% das amostras coletadas estão concentradas no nível topográfico 5 (pontos de localização entre 13, 14 e 15), acima de 910 m de altitude (Tabela 1).

**Tabela 1:** Tamanho da amostra por ponto de localização

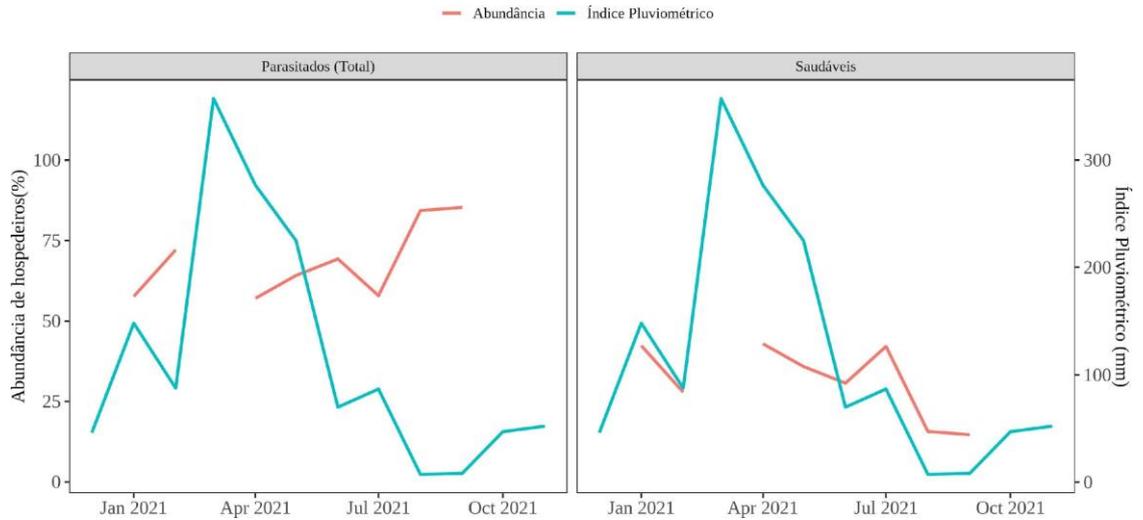
Tamanho da amostra	Ponto de localização
1	-
2	-
3	-
4	-
5	-
6	-
7	112 (11,41%)
8	50 (5,09%)
9	-
10	59 (6,01%)
11	70 (7,13%)
12	72 (7,33%)
13	256 (26,09%)
14	213 (21,71%)
15	149 (15,18%)
<b>Total</b>	<b>981</b>

## Índice Pluviométrico

Constatamos uma correlação positiva entre o índice pluviométrico e a abundância de hospedeiros saudáveis (0,771), e negativa para hospedeiros parasitados (-0,771), ambas significativas. A “intensidade” das associações foram 0,77 e -0,77 para a abundância de hospedeiros saudáveis e parasitados respectivamente mostraram-se significativas a partir do método bootstrap. Além disto, abril de 2021 foi o segundo mês com maior queda de chuva (277 mm), durante todo o período de avaliação supracitado e quando a abundância de hospedeiros saudáveis foram maiores (42,9%) e a de parasitados menores (57,1%), (Tabela 2 e Gráfico 1). No entanto, não foi observada correlação significativa para os estágios iniciais, maduro e velho de parasitismo

**Tabela 2:** Índice pluviométrico e abundância de hospedeiros parasitados e saudáveis.

Data	Índice Pluviométrico (mm)	Abundância (%)	
Saudáveis		Parasitados	
Dezembro de 2020	46	-	-
Janeiro de 2021	148	42,4	57,6
Fevereiro de 2021	87,4	27,9	72,1
Março de 2021	357	-	-
Abril de 2021	277	42,9	57,1
Mai de 2021	225	35,8	64,2
Junho de 2021	69,7	30,7	69,3
Julho de 2021	86,6	42,1	57,9
Agosto de 2021	7	15,7	84,3
Setembro de 2021	8	14,7	85,3
Outubro de 2021	46,8	-	-
Novembro de 2021	52	-	-

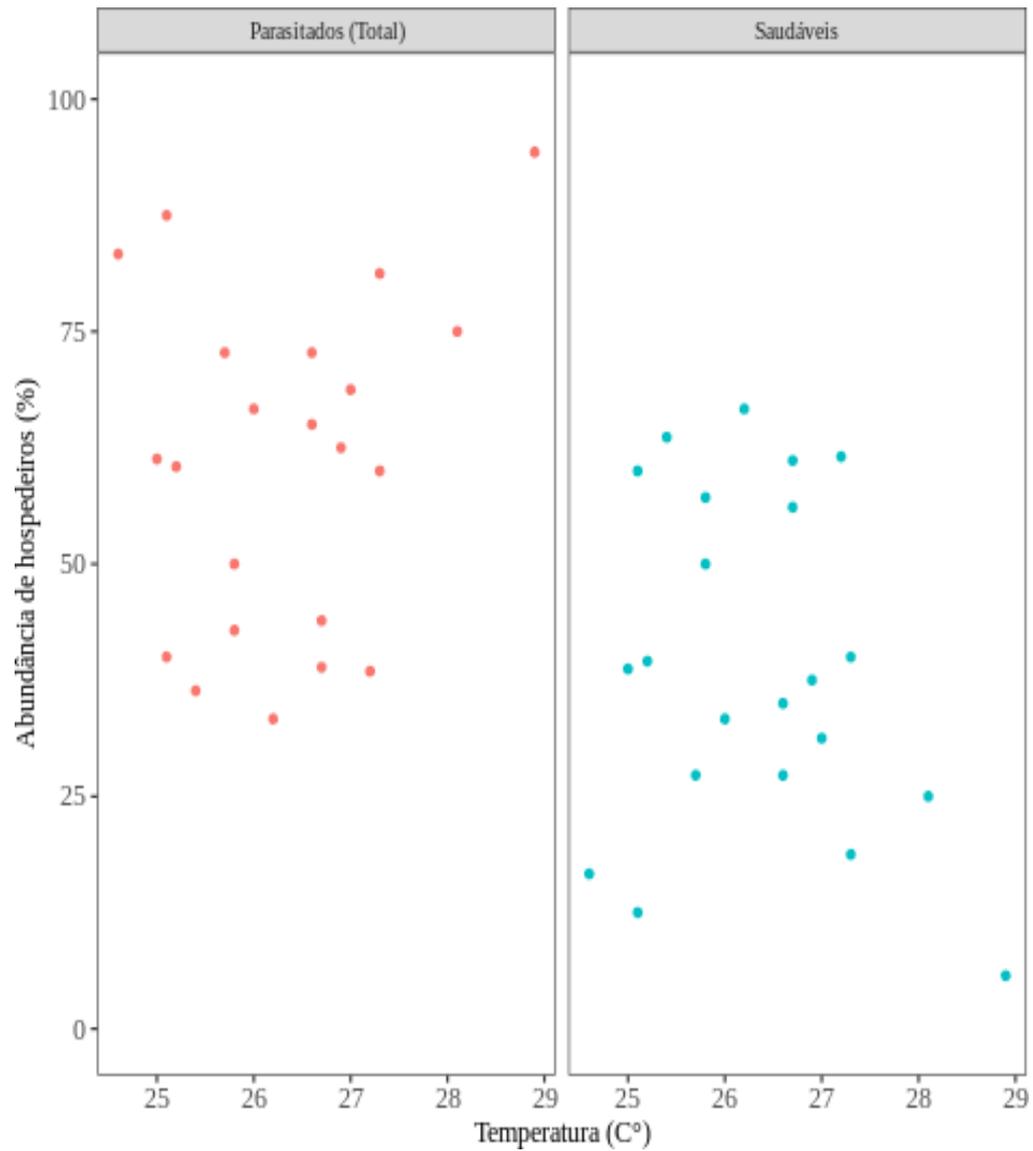


**Gráfico 1:** Série temporal do índice pluviométrico e da abundância de hospedeiros parasitados e saudáveis.

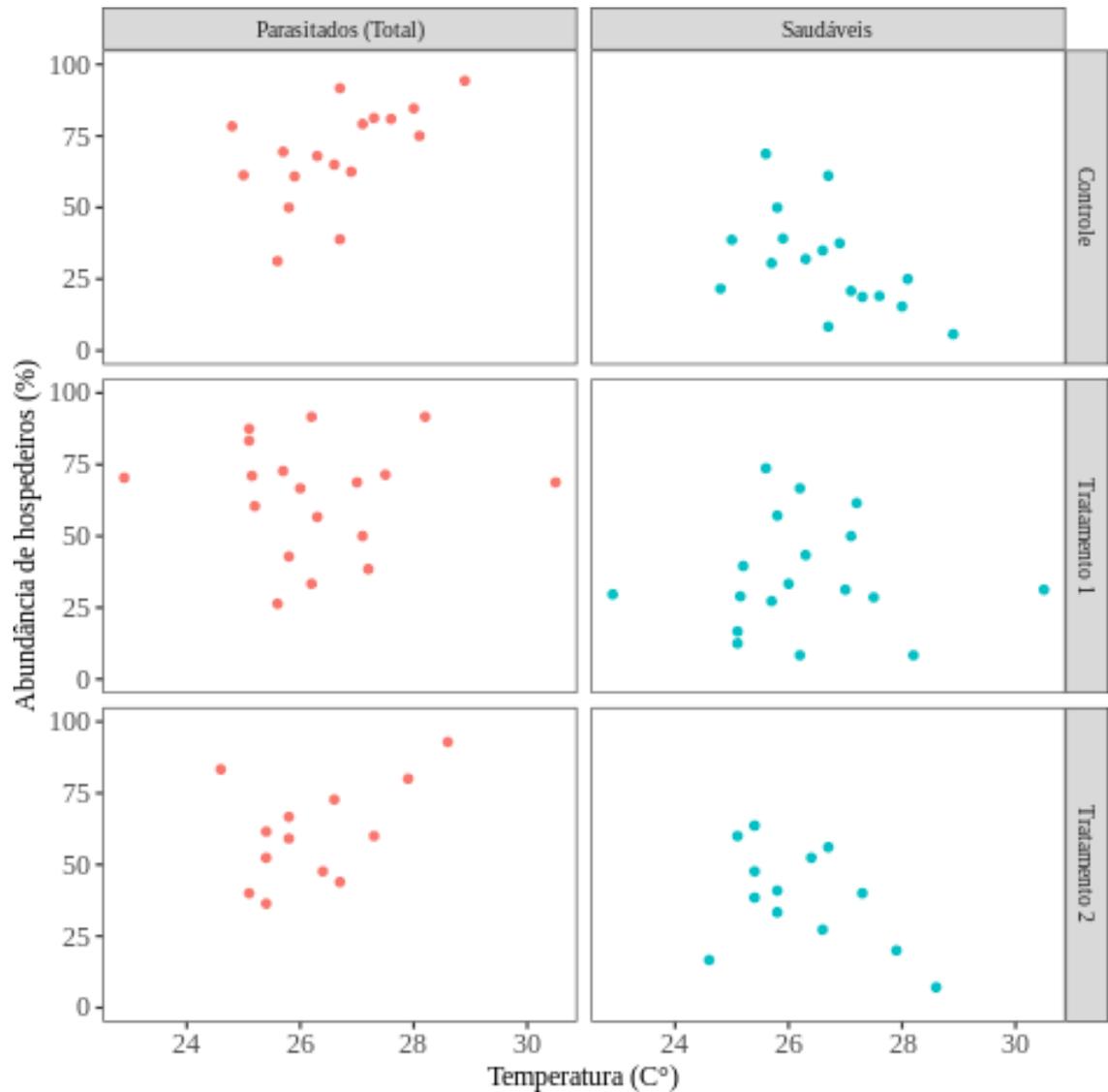
## Temperatura

Nota-se dispersões bem parecidas com poucos outliers só que com associações diferentes, positiva para parasitados (Total) e negativa para saudáveis, isso se confirma através do coeficiente de correlação que nos forneceu um resultado de 0, 274 para parasitados (Total) e  $-0, 274$  para saudáveis. (Gráfico 2).

Ao detalhar com as unidades experimentais ainda pode-se notar associações diferentes em controle e tratamento 2, mas em tratamento 1 aparentemente não se nota associação na dispersão, mas ao analisar as correlações tem-se para parasitados (Total) na unidade controle um coeficiente de 0, 620 que significa uma correlação moderada positiva, na unidade tratamento 2 0, 346 uma fraca positiva e em tratamento 1  $-0, 110$  que significa muito fraca negativa, porém a abundância de hospedeiros do tratamento 1 ( $p$ -valor= 0,664) e tratamento 2 ( $p$ -valor= 0,247) não possuem resultados significantes em relação à temperatura. (Gráfico 3).



**Gráfico 2:** Gráfico de dispersão da abundância de hospedeiros (%) em relação a temperatura (C°) para parasitados (Total) e saudáveis.



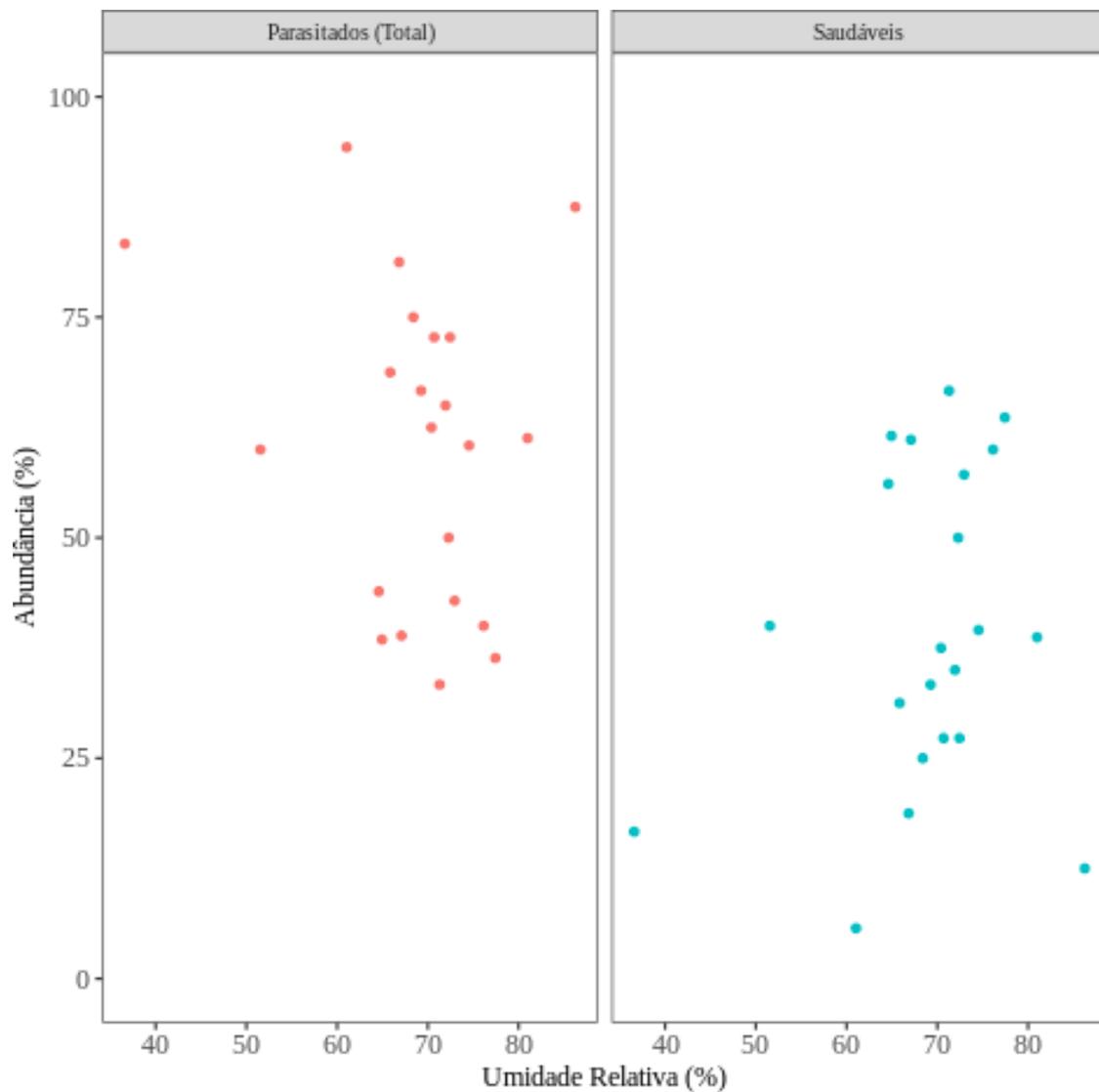
**Gráfico 3:** Gráfico de dispersão da abundância de hospedeiros (%) em relação a temperatura (C°) para parasitados (Total), saudáveis e unidades experimentais.

### Umidade Relativa do Ar

Conseguimos identificar que acontece uma relação inversa entre aranhas saudáveis e parasitadas, na qual os pontos de um lado estão relacionados diretamente com o ponto inverso do outro lado, na qual encontramos uma correlação fraca de 0,338 e -0,338, respectivamente.

Podemos verificar que, quando a umidade relativa está entre 60% e 80%, há uma maior concentração de aranhas saudáveis e parasitadas. Além disso, conseguimos visualizar que, quando a umidade está próxima a 60%, a abundância de aranhas infectadas chega a quase

100%, enquanto nas saudáveis aproxima-se a zero (Gráfico 4). Além disso, por meio do modelo de regressão logística, a umidade relativa do ar, assim como sua interação com o mês do ano e temperatura não afetam o sucesso do fungo ao parasitar o hospedeiro (nível de significância = 5%) e não houve evidência suficiente para confirmar que existe diferença entre os grupos de tratamento ou controle para este fator abiótico.



**Gráfico 4:** Gráficos de dispersão da abundância de hospedeiros saudáveis e parasitados e umidade relativa do ar.

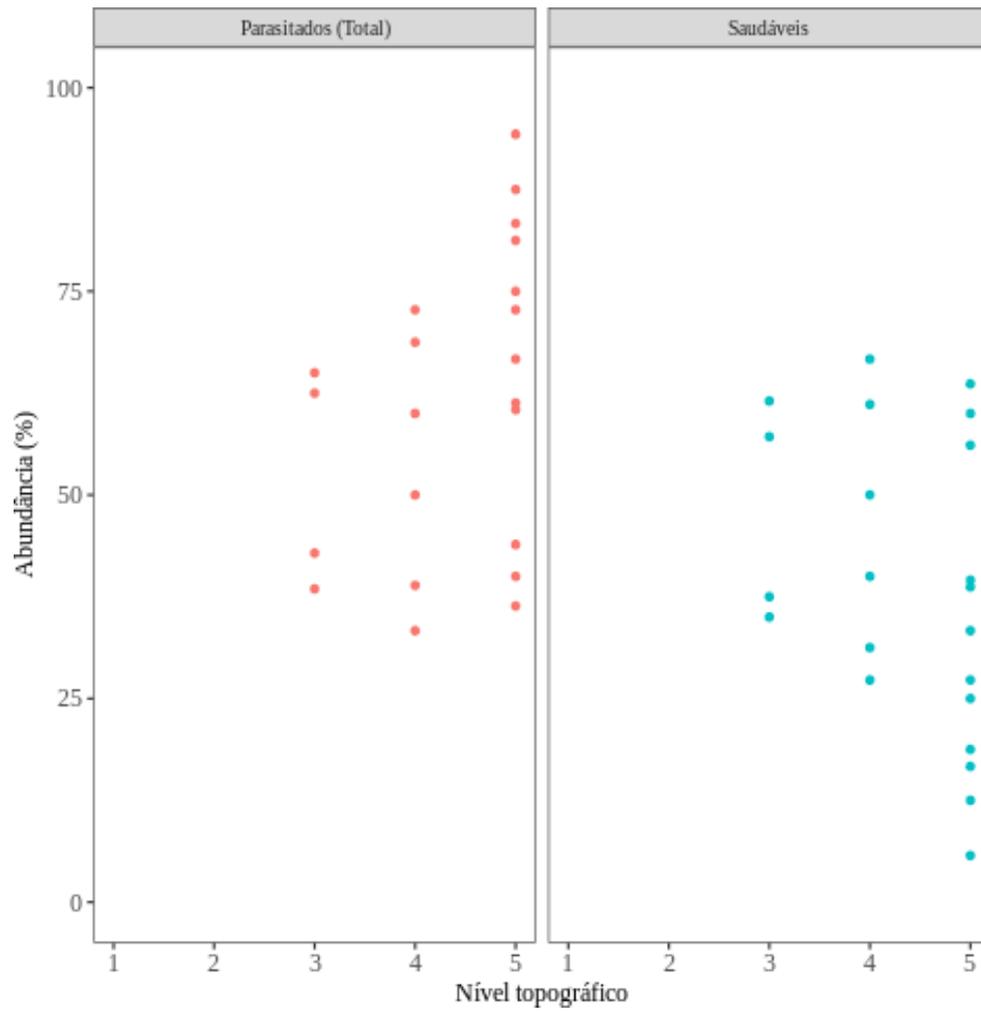
## **Quantidade de Luz**

A quantidade de luz é um dos fatores abióticos considerados para esta análise em que os testes de correlação não identificaram influências entre as variáveis. Neste caso pode-se observar, através do gráfico de dispersão, que os pontos provenientes de parasitados (total) e saudáveis apresentam o mesmo fluxo. Ambos estão organizados do lado esquerdo dos gráficos, ocupando a margem da quantidade de luz em até 18.000. Há poucos pontos fora da organização, o que se identifica como outliers. No entanto, percebe-se que os pontos marcados pela abundância ocupam a parte de cima do gráfico quando são analisados os dados de parasitados (total) – o que não acontece no gráfico de saudáveis. Neste cenário, os dados se reservam na parte mais abaixo. (Gráfico 5). Ressaltando-se os p-valores relacionados aos parasitados (total) e saudáveis, verifica-se, portanto, a marca de 0.621. Para a análise, o resultado obtido é considerado distante do ideal quando a intenção é comprovar uma correlação significativa.

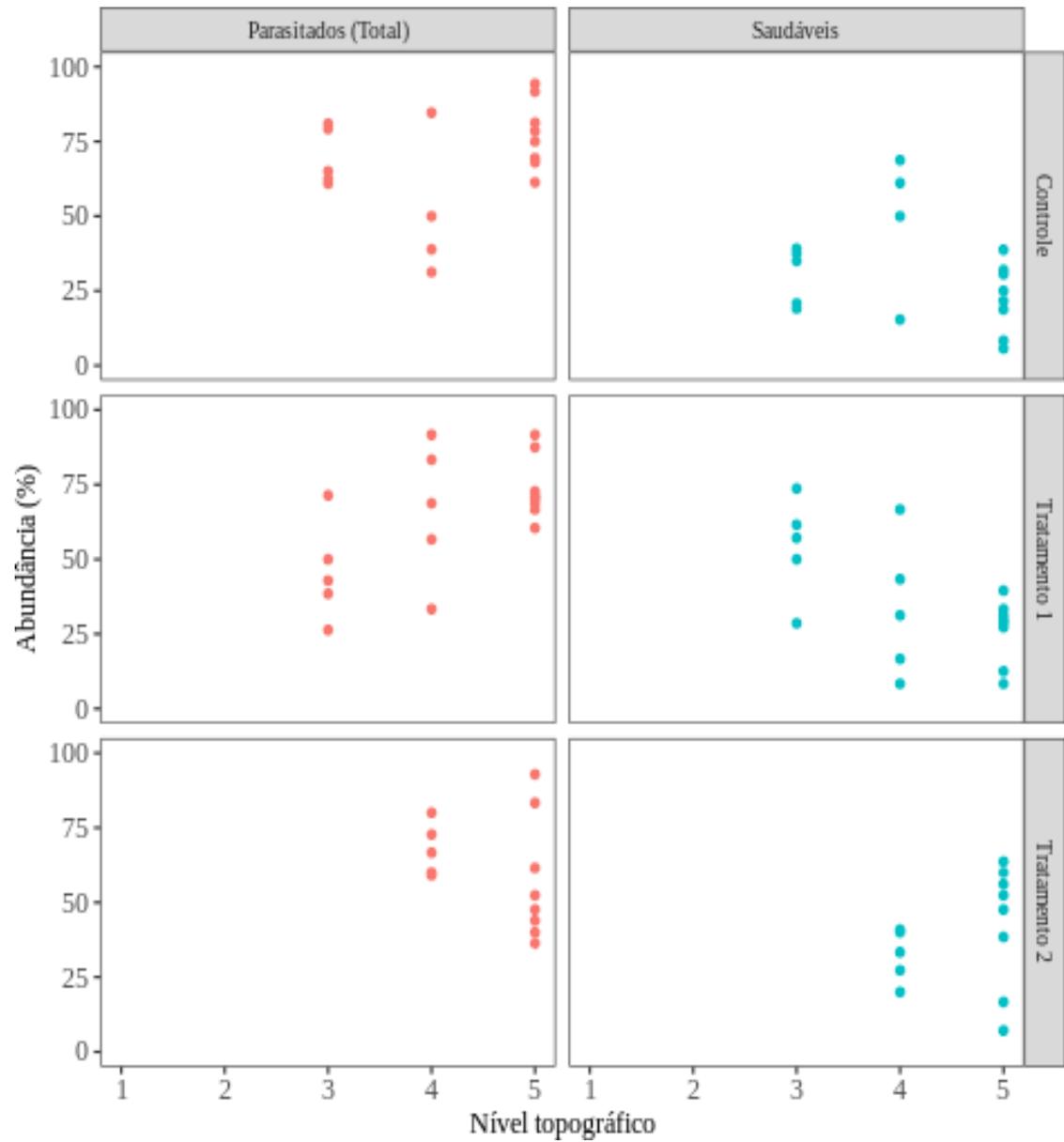
## **Nível topográfico**

A partir do gráfico de dispersão é possível visualizar primeiramente um comportamento semelhante dos dados. Pode-se observar também que no nível topográfico 5 há um aumento da abundância de hospedeiros e mesmo com semelhança tem-se diferentes associações, positiva para Parasitados(Total) e negativa para Saudáveis, isso se confirma através do coeficiente de correlação que nos forneceu um resultado de 0,260 para parasitados(Total) e -0,260 para saudáveis, com isso conclui-se que parasitados(Total) tem correlação ínfima positiva, enquanto saudáveis é negativa e ambas são não significantes, tal afirmação foi feita a partir da análise do p-valor (Gráficos 6 e 7).





**Gráfico 6:** Gráfico de Dispersão da abundância de hospedeiros (%) em relação ao Nível Topográfico.



**Gráfico 7:** Gráfico de dispersão da Abundância de Hospedeiros (%) em relação ao Nível Topográfico para Parasitados (Total), saudáveis e Unidades Experimentais.

### 3.2 Abundância de aranhas infectadas e saudáveis

A seguir uma descrição estatística da abundância de hospedeiros saudáveis e parasitados segundo as unidades experimentais (controle, tratamento 1 e tratamento 2), (Tabela 3 e 4).

**Tabela 3:** Valor p e estatística Z para os parâmetros do modelo ajustado.

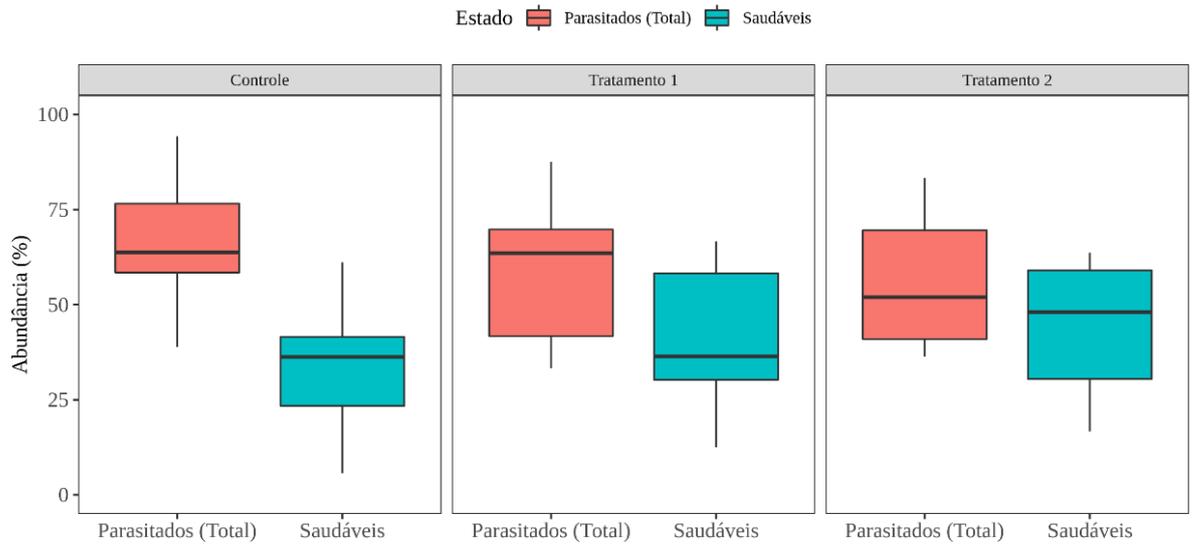
Parâmetro	Estatística Z	Valor-p
Controle	3,12	0,00181
Tratamento 1	3,15	0,00161
Tratamento 2	3,12	0,00176
Mês do ano	-2,07	0,03760
Nível topográfico	-2,39	0,01685
Temperatura	-2,83	0,00455
Umidade relativa	-1,90	0,05712
Índice pluviométrico	-2,17	0,02971
Mês do ano e Umidade relativa	1,82	0,06791
Nível topográfico e Temperatura	2,29	0,02201
Temperatura e Umidade relativa	1,52	0,12622
Umidade relativa e índice pluviométrico	2,04	0,04088

**Tabela 4:** Estimativas dos parâmetros para o modelo ajustado

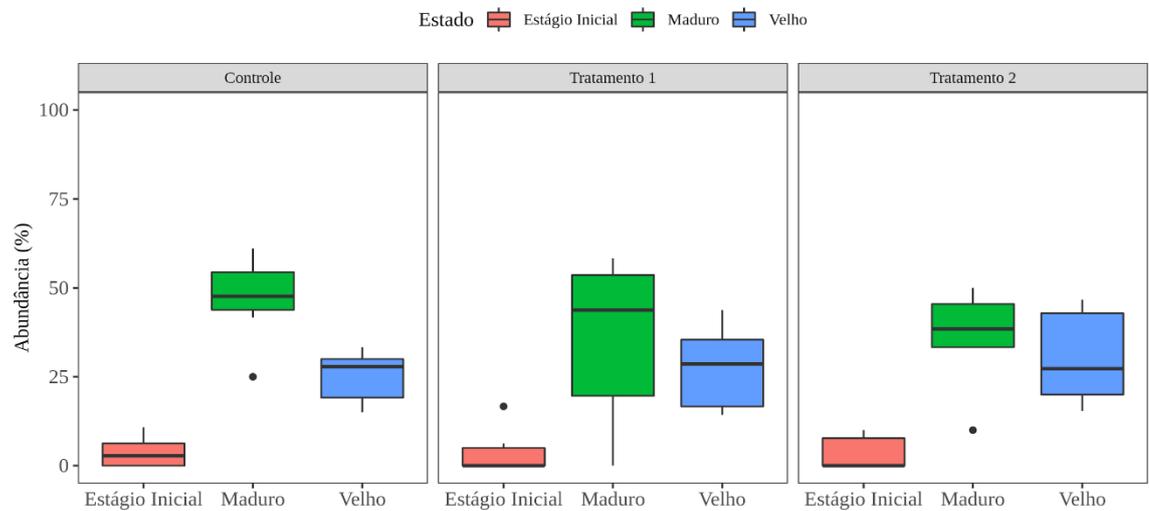
Parâmetro	Estimativa
Controle	71,14
Tratamento 1	71,89
Tratamento 2	71,39
Mês do ano	-1,11
Nível topográfico	-8,36
Temperatura	-2,37
Umidade relativa	-0,41
índice pluviométrico	-0,031
Mês do ano e Umidade relativa	0,013
Nível topográfico e Temperatura	0,30
Temperatura e Umidade relativa	0,01
Umidade relativa e Índice pluviométrico	0,00

No grupo controle, é nítida a diferença entre a abundância de hospedeiros parasitados e saudáveis. No entanto possuem intervalos interquartis (medida de dispersão robusta) iguais (18,1%). Uma vez que a altura na vegetação onde a aranha se encontra é alterada em 50%, observa-se um crescimento da dispersão dos dados de abundância, embora ainda não seja possível afirmar que a altura influencia diretamente nessa variável. Ademais, uma alteração de 100% na altura não provocou mudanças significativas na dispersão da abundância se comparada a do grupo anterior, entretanto percebeu-se o decréscimo da abundância mediana de aranhas parasitadas (63,6% para 52%) e o crescimento da abundância mediana de aranhas saudáveis (36,4% para 48%), (Gráfico 8).

Considerando somente os hospedeiros parasitados, a maioria encontra-se no estágio maduro e a minoria no estágio inicial. Ao longo dos grupos é notória a mudança expressiva na variação da abundância de hospedeiros parasitados no estágio maduro, embora volte a se estabilizar no grupo de tratamento 2. Além disso, cabe ressaltar a presença de observações discrepantes, abaixo de 25%, sobretudo no estágio maduro (Gráfico 9).



**Gráfico 8:** Gráfico de caixas para abundância de hospedeiros saudáveis e parasitados por unidade experimental.



**Gráfico 9:** Gráfico de caixas para abundância de fungos no estágio inicial, maduro e velho por unidade experimental.

### 3.3 Identificação dos Espécimes Coletados

Os espécimes coletados foram identificados como a aranha *M. pacoti* parasitada por *Gibellula* sp. que provavelmente seja uma espécie nova que brevemente será proposta como parasita natural desta espécie de aranha hospedeira. O acesso aos dados moleculares do sequenciamento genético está disponível no GenBank com Locus identificado por OK329885 disponível na plataforma de dados moleculares e genômicos NCBI em (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/OK329885.1>).

Também é possível observar uma mudança no padrão de cor e preservação do substrato, presença ou ausência de sinêmios e abundância de conidióforos das aranhas parasitadas. Isso pode estar associado ao estágio do desenvolvimento fúngico no substrato, tanto das estruturas somáticas quanto das estruturas assexuais, levando em consideração os fatores abióticos como chuvas, ressecção, além de fatores bióticos como predação, entre outros. Diante disso, esses padrões tornam distinguíveis os três estágios da fase reprodutiva de *Gibellula* sp. em *Macrophyes pacoti*. (Figura 2).



**Figura 2:** *Gibellula* sp.. (A-B) Aranha parasitada em estágio Maduro do desenvolvimento, com presença de sinêmios e conidióforos abundantes; (C) Início do desenvolvimento do sinêmio, com presença de poucos conidióforos e ausência do sinêmio; (D) Aranha parasitada em estágio Velho com presença de conidióforos remanescentes e sinêmio não preservado; (E) Aranha *Macrophyes pacoti* saudável; (F-G) Aranha *Macrophyes pacoti* saudável na ooteca.

## 4 DISCUSSÃO

O experimento realizado para avaliar a importância da preferência de habitat do hospedeiro infectado pelo fungo verificou se existe uma aptidão em parasitar hospedeiros que ocupem uma determinada posição na vegetação, talvez devido às melhores condições de sobrevivência do próprio fungo exposto a fatores abióticos e bióticos, semelhante por exemplo o que já foi registrado para formigas da espécie *Camponotus leonardi* parasitadas por *Ophiocordyceps camponoti-leonardi* (ANDERSEN et al. 2009), que tem maior sobrevivência dentro de zonas específicas, chamadas “zonas manipuladoras”(ANDERSEN et al. 2009). Portanto o fungo apesar de não se locomover de forma ativa, consegue atingir as aranhas hospedeiras ao liberar esporos a uma altura na vegetação superior a altura em que as aranhas costumam ocupar na vegetação. Os esporos ao serem liberados no ambiente, estão sujeitos aos efeitos abióticos como as variações de temperatura, umidade, Índice pluviométrico, luminosidade, assim como podem ser carregados pelo vento ou podem encontrar barreiras físicas com a densidade da vegetação do sub-bosque.

A relação entre a abundância de aranhas parasitadas e saudáveis para os efeitos do índice pluviométrico foram interessantes para o trabalho, no qual foi observado que o aumento das chuvas está ligado ao aumento da população hospedeira e de forma inversa, uma diminuição da abundância de aranhas infectadas pelo fungo. O aumento das chuvas acontece em um período do ano em que pode estar relacionado com a fenologia da aranha *M. pacoti*, ou seja, a população de aranhas passa por períodos de reprodução em um determinado período que antecede os picos mais altos da taxa de natalidade que foi observado no mês de abril de 2020. Em contrapartida, a população de aranhas parasitadas passa a diminuir neste período. E isso é um fator importante para o equilíbrio de ambas populações de *Gibellula* sp. e *M. pacoti*. Dessa forma, o fungo por ser um parasita que necessita do hospedeiro para se desenvolver e

reproduzir-se, mantém a população hospedeira controlada, mas sem passar do limite suportável para que não haja um colapso de ambas populações.

Um outro resultado interessante foi observado para a temperatura, apesar de ter sido uma correlação muito fraca, observamos o inverso se comparado aos efeitos do Índice pluviométrico. Nesse caso, a abundância de aranhas parasitadas tendeu a aumentar com o aumento da temperatura e como consequência do aumento da população de aranhas parasitadas, temos a diminuição da abundância da população de aranhas saudáveis, o que explica as correlações negativas para aranhas saudáveis e positivas para aranhas parasitadas.

Dessa forma, a umidade relativa do ar, é considerada um fator abiótico importante para este estudo, por se apresentar como um dos principais fatores no desenvolvimento fúngico de *Gibellula* sp. principalmente para sua reprodução, e se mostrou fundamental para o aumento da abundância de *Gibellula* sp. principalmente entre 60% e 80% de umidade relativa do ar. Podemos sugerir que o aumento da umidade relativa do ar favorece a reprodução, especificamente a dispersão dos esporos fúngicos até o contato com o corpo da aranha hospedeira.

Um outro fator considerado para este estudo foi a quantidade de luz (lux) incidente nos pontos amostrais. A quantidade de luz que chega aos estratos do sub-bosque, onde ocorre o parasitismo de *Gibellula* sp. em *M. pacoti* pode refletir um outro fator importante, como a densidade da vegetação, visto que uma vegetação mais aberta e menos robusta deverá ser mais iluminada que locais onde há uma densidade maior da vegetação. Entretanto, a quantidade de luz não se mostrou como um dos principais fatores para as correlações entre as populações de aranhas hospedeiras e parasitadas. Porém foi observado que ambas populações ocorrem na mesma faixa de luz entre 17600 lux e 1800 lux.

O efeito do gradiente de altitude foi observado para os níveis de elevação topográfica dos pontos amostrais. A altitude pode ser considerada um substituto para um conjunto de

fatores bióticos e abióticos que influenciam a estrutura das comunidades (TOWNSEND, 2009), e por isso, foi um fator importante a ser observado para este estudo. Os pontos amostrais que foram distribuídos ao longo do gradiente altitudinal apresentaram diferentes abundâncias para as populações de *Gibellula* sp. e *M. pacoti*, embora não haja uma correlação entre as abundâncias e o nível topográfico, foi observado um maior valor absoluto da abundância de aranhas parasitadas nos níveis mais altos, além de uma maior umidade, menor temperatura e maior densidade da vegetação, o que combinados propiciam ambientes favoráveis ao desenvolvimento e reprodução de *Gibellula* sp. assim como para a população hospedeira.

Portanto, o experimento realizado alterou a posição de altura das aranhas parasitadas por *Gibellula* sp. em 50% a mais e em 100% a mais da altura natural, permitiu observar questões importantes a respeito da aptidão do fungo em relação a liberação de esporos importante para completar seu ciclo de vida. Observamos que é importante para o fungo que aranhas parasitadas morram a uma altura mais elevada que as aranhas saudáveis, a fim de favorecer a dispersão de esporos. E isso foi observado neste experimento ao aumentar a altura das aranhas parasitadas em 50% a mais. Entretanto o experimento apresentou uma diminuição nesta aptidão para alturas aumentadas em 100%. Esta diminuição da aptidão é refletida na abundância das populações de aranhas parasitadas e saudáveis.

Diante disso, percebe-se que os efeitos dos fatores abióticos são fundamentais para a dinâmica das populações de espécies, bem como podem estar relacionadas favorecendo ou limitando as interações ecológicas de espécies que provavelmente coevoluiram dentro dessas condições ambientais. Neste caso, temos a população do fungo *Gibellula* sp. como um importante controlador da população hospedeira.

Além disso, pesquisadores de várias regiões do mundo passaram a relatar novas espécies de fungos, embora com pouquíssimos dados taxonômicos ou biológicos sobre as

aranhas hospedeiras (BRESCOVIT et al, 2019). Neste sentido, a pesquisa de Brescovit et al (2019) apresenta a existência de uma nova espécie de aranha para a família Anyphaenidae e a sua interação com o fungo aracnopatogênico *Gibellula* sp., uma exceção que abriu uma nova linha de investigação.

A família Anyphaenidae consiste de aranhas caçadoras errantes de pequeno a médio porte, um grupo relativamente uniforme que apresenta morfologia e distribuição geográfica bem definidas, e que está distribuído principalmente na América do Sul, com 29 gêneros endêmicos relatados até o momento. Em sua totalidade, a família consiste atualmente de 56 gêneros e 572 espécies (ARRUDA, 2020). Especificamente o gênero *Macrophyes* Pickard-Cambridge 1893 é caracterizado por 6 espécies que podem ser observadas em toda a extensão entre o México e a Argentina. Observa-se que as espécies *M. jundiai* e *M. pacoti* contam com uma distribuição restrita no Brasil (ARRUDA, 2020).

Além da sua ampla distribuição, espécimes de *M. pacoti* infectados por *Gibellula* sp. puderam ser encontrados em remanescentes de Mata Atlântica na região Nordeste brasileira, e curiosamente em diferentes posições comparativamente a espécimes não infectados (ARRUDA, 2020). A partir disso, Arruda e colaboradores afirmam evidenciar um incidente envolvendo mudança comportamental em aranhas em decorrência da infecção por fungos aracnopatogênicos, e buscaram apresentar também como esta interação fungo aranha sofre influência do nível de pluviosidade (ARRUDA et al, 2021). Este estudo permitiu observar o entendimento de que a maioria dos estudos voltados para os espécimes deste gênero possuem foco apenas na descrição de novas espécies, o que faz com que fenômenos como a interação fungo aranha acabem ficando em segundo plano (ARRUDA, 2020). Dessa forma, observou-se a hipótese de que este fenômeno estaria relacionado a uma dinâmica de regulação das populações de artrópodes, contribuindo assim para manter a estabilidade dos ecossistemas em florestas tropicais.

A manipulação do hospedeiro pelo parasita ou parasitoide é um comportamento amplamente distribuído entre diferentes táxons, a exemplo do que ocorre com vírus, bactérias, fungos e artrópodes, Arruda et al. (2021) concluem que aranhas *M. pacoti* infectadas pelo fungo são encontradas em folhas de árvores em alturas mais altas do que as aranhas não infectadas. A exemplo do que ocorre no relato feito por Arruda (2020) em relação a formigas que se fixam em folhas sem conseguir se soltar. Este deslocamento vertical de aranhas infectadas provavelmente beneficiará a dispersão e transmissão fúngica, um dos dois casos gerais de manipulação que beneficiam o parasita (ARRUDA et al, 2021).

Embora a vantagem do deslocamento vertical do fungo não tenha sido testada experimentalmente, resultados semelhantes foram registrados entre formigas do gênero *Camponotus* Mayr, 1861 infectadas com fungos entomopatogênicos do complexo *Ophiocordyceps unilateralis* sensu lato (Andersen et al. 2009; Araujo et al. 2015). Neste sistema de patógenos, os hospedeiros são geralmente encontrados em substratos de até 2 m de altura e algumas espécies do fungo parasita exibem formas específicas de esporos para melhorar a aerodinâmica após a dispersão e a germinação na floresta (ARRUDA et al, 2021).

Com esta manipulação comportamental em que a aranha é fixada pelo fungo embaixo da folha, o fungo adquire uma plataforma para liberar os esporos que irão infectar indivíduos suscetíveis, fazendo com que o ciclo se perpetue no tempo. O deslocamento vertical do hospedeiro também pode ser explicado pela necessidade de se encontrar um local caracterizado por um microclima ótimo que beneficiará o crescimento e desenvolvimento do fungo e a produção de estruturas reprodutivas (ARRUDA et al, 2021). Dessa forma, este estudo relaciona indícios de manipulação comportamental ao deslocamento vertical de aranhas parasitadas levantado como fator importante na interação de *Gibellula* sp. e *M. pacoti*, além de apresentar espécies recentemente descobertas em remanescentes de Mata atlântica no Nordeste brasileiro, bem como a importância da influência dos fatores abióticos do ambiente

para o desenvolvimento e manutenção das populações da interação de parasitismo de *Gibellula* sp. em *M. pacoti*. Por isso, é fundamental trabalhos como estes que exploram e valorizam o conhecimento sobre a biodiversidade de ambientes ameaçados como a Mata Atlântica.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, S. B. *et al.* The Life of a Dead Ant: The Expression of an Adaptive Extended Phenotype. **The American Naturalist**, [s.l.], v. 174, n. 3, p. 424–433, 2009.
- ANDRIOLLI, F.S. **Zumbis buscam a luz? Camponotus atriceps infectadas por Ophiocordyceps camponoti-atricipis morrem em locais mais iluminados na Amazônia Central Brasileira.** 2017. 39 f. Dissertação (Mestrado em Biologia - Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 2017.
- ARAÚJO, João PM; HUGHES, David P. Diversity of entomopathogenic fungi: which groups conquered the insect body?. **Advances in genetics**, [s.l.], v. 94, p. 1-39, 2016.
- ARRUDA, Italo Diego Paiva. **Manipulação comportamental da aranha Macrophyes pacoti (Araneae: Anyphaenidae) pelo fungo araneopatogênico Gibellula sp. (Hypocreales: Cordycipitaceae).** 2020. 27 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- ARRUDA, I. D. P. *et al.* Behavioral manipulation of the spider *Macrophyes pacoti* (Araneae: Anyphaenidae) by the araneopathogenic fungus *Gibellula* sp. (Hypocreales: Cordycipitaceae). **Canadian Journal of Zoology**, [s.l.], v. 99, n. 5, p. 401-408, 2021.
- AYERST, G. The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. **Journal of stored products research**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 127-141, 1969.
- BARBOSA, B. C. *et al.* Arachnids infected by arthropod-pathogenic fungi in an urban 39ecordo f of Atlantic forest in 39ecordo Brazil. **Nat Online**, [s.l.], v. 14, p. 11-14, 2016.
- BRESCOVIT, A. D. Revisão das aranhas do gênero *Macrophyes* O. Pickard-Cambridge, da região Neotropical (Araneae, Anyphaenidae). **Revista Brasileira de entomologia**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 101-106, 1992.
- BRESCOVIT, Antonio D. *et al.* *Macrophyes pacoti* n. sp. (Araneae: Anyphaenidae) from Brazilian Atlantic Forest, with notes on an araneopathogenic fungus. **Zootaxa**, [s.l.], v. 4629, n. 2, p. 294-300, 2019.
- DURKIN, Emily S. *et al.* Parasites of spiders: Their impacts on host behavior and ecology. **The Journal of Arachnology**, [s.l.], v. 49, n. 3, p. 281-298, 2021.
- EVANS, H. C.; SAMSON, R. A. Fungal pathogens of spiders. **Mycologist**, [s.l.], v. 1, n. 4, p. 152-159, 1987.
- KEPLER, Ryan M. *et al.* A phylogenetically-based nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). **IMA fungus**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 335-353, 2017.

KUEPHADUNGPAN, Wilawan *et al.* Phylogeny-and morphology-based recognition of new species in the spider-parasitic genus *Gibellula* (Hypocreales, Cordycipitaceae) from Thailand. **MycoKeys**, [s.l.], v. 72, p. 17, 2020.

LACEY, Lawrence A. *et al.* Insect pathogens as biological control 40ecordo: do they have a future?. **Biological control**, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 230-248, 2001.

MCCOY C. W. *et al.* Enviromental factors affecting entomopathogenic fungi in the soil. **Pesquisa agropecuária**, Brasília, 27,S/N:107-111. 1992.

MOORE, Janice. **Parasites and the behavior of animals**. Oxford University Press on Demand. Oxford, UK. 2002.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 30. mar. 2022.

SAVIĆ, D., Grbić C., Bošković E & Hänggi A. First records of fungi pathogenic on spiders for the 40ecordo f40f Serbia. **Arachnol Lett**, [s.l.], v. 52, p. 31-34, 2016.

SHRESTHA, Bhushan *et al.* Spider-pathogenic fungi within Hypocreales (Ascomycota): their current nomenclature, diversity, and distribution. **Mycological Progress**, [s.l.], v. 18, n. 8, p. 983-1003, 2019.

VEGA, Fernando E. *et al.* Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. **Fungal Ecology**, [s.l.], v. 2, n. 4, p. 149-159, 2009.

VILLANUEVA-BONILLA, G.A. *et al.* First 40ecordo f the interaction between the arthropod-pathogenic fungus *Gibellula* and a new species of harvestman *Auranus* (Stygnidae) narrowly endemic to the Brazilian rain forest. **Zootaxa**, [s.l.], v. 5071, n. 3, p. 403-414, 2021.