

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA FASE REPRODUTIVA DA RELAÇÃO ARACNOPATOGÊNICA *Macrophyes pacoti* (Araneae: Anyphaenidae) por *Gibellula sp* (Hypocrales: Cordycepsaceae).

Julie Erica da Rocha Alves¹

Jobert Fernando Sobczak²

RESUMO

Dentre os fungos entomopatogênicos, o gênero *Gibellula* destaca-se, por conta de sua especificidade ao hospedeiro, sendo exclusivamente encontrado em aranhas. No Ceará, esses fungos são encontrados na Serra de Baturité. Nessa região já é registrada a ocorrência do parasitismo de *Macrophyes pacoti* por *Gibellula sp.*, que ao parasitar a aranha recobre o corpo do hospedeiro parcial ou integralmente com suas estruturas de reprodução. Estudos já desenvolvidos, sugerem os termos “novo”, “maduro” e “velho” para descrever variações morfológicas da fase reprodutiva, embora pouco explorados. Espera-se que exista uma variação significativa no padrão de cor, aspectos morfológicos, e outros aspectos da biologia desta interação, que estejam relacionados de acordo com a progressão do estágio reprodutivo do fungo, que precisam ser investigadas e melhor padronizadas. O presente trabalho propõe renomear esses termos e sugerir classificá-los como estágios da fase reprodutiva do fungo, através de uma tabela de campo, que divide em três estágios a fase reprodutiva, caracterizando as diversas formas que a interação aracnopatogênica *Macrophyes pacoti* por *Gibellula sp.* se expressa na natureza. As coletas foram realizadas em uma área de floresta da APA (Área de Proteção Ambiental) da Serra de Baturité, Ceará, Brasil. Sendo 100 o N amostral de aranhas parasitadas coletadas, os dados foram analisados, e estabelecido a presente divisão: estágio imaturo, estágio maduro e estágio Senil. Para identificação de cada estágio, observou-se características como coloração; preservação do hospedeiro; estruturas reprodutivas e massa abdominal. A partir dos resultados obtidos, foi possível apontar as características mais evidentes em cada estágio, e que podem ser utilizadas como estratégia de diferenciação na identificação dos mesmos.

Palavras-chave: Estágios reprodutivos; Estruturas reprodutivas; Fungos Entomopatogênicos.

¹Discente do curso de Ciências Biológicas pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira-UNILAB.

²Orientador. Doutor em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos-UFSCar.

Data de submissão e aprovação: 28/06/2022.

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que existam aproximadamente de 2.8 a 3.8 milhões de espécies de fungos no mundo (HAWKSWORTH, 2001). Kirk et al. (2008) aponta que desse número total, são descritas aproximadamente 99.000 espécies de fungos. Contudo sabe-se que, apenas um grupo de 750 a 1000 espécies, colocados em mais de 100 gêneros são conhecidos como fungos entomopatogênicos (ST. LEGER & WANG, 2010). Apesar da necessidade de estudos nessa área, sabe-se que os fungos entomopatogênicos apresentam uma grande diversidade de espécies, incluindo predadores, parasitas e patógenos microbianos, que atuam constantemente no controle biológico e manutenção do equilíbrio de populações viáveis (SCHOLTE et al., 2004). Sendo os artrópodes seu grande grupo alvo, esses organismos utilizam o corpo do seu hospedeiro para se desenvolver e manter o ciclo reprodutivo sempre constante (DEVOTTO et al., 2000).

Na literatura de fungos entomopatogênicos, é possível encontrar diversos estudos no que diz respeito às interações fungo-inseto, sendo poucos os estudos referentes ao parasitismo fungo-aranha (COSTA, 2014). O gênero *Gibellula* destaca-se nesse tipo de interação, por conta de sua especificidade ao hospedeiro, sendo exclusivamente encontrado em aranhas e opilões (HODGE, 2003; JOHNSON et al., 2009). Esse tipo de relação pode também ser denominada como relação aracnopatogênica (COSTA, 2014).

As espécies do gênero *Gibellula* pertencem ao filo Ascomycota, ordem Hypocreales, sendo relacionados com *Cordyceps* sensu lato em virtude de parasitarem artrópodes (SUNG et al. 2008; Evans 2013; Kepler et al. 2017). Esses indivíduos em sua maioria apresentam estruturas de reprodução espalhadas no micélio, as quais são denominadas conidioma. Os conidiomas, quando agrupados, denominam-se sinêmio. Os sinêmios possuem conidióforos densamente unidos, que são responsáveis pela formação dos conídios, unidades infectivas com função de disseminação, capazes de formar novas células (hifas) (Barron 1968, Kendrick 1971, Bononi & Grandi 1999, Kirk et al. 2001).

Após a infecção do artrópode pelo conídio do fungo, ele começa a se desenvolver dentro de seu corpo, inicialmente como células únicas (hifas). Que após germinação proliferam dentro da hemocele, músculos ou outros tecidos do hospedeiro para que o sistema do mesmo entre em colapso de forma que ele morra depois (EVANS, 1988; VEGA et al.,

2012). Denominamos esta fase inicial como somática, que tem as funções de absorção, assimilação e fixação do fungo no hospedeiro (GARCES DE GRANADA et al, 2003).

Quando em condições de temperatura e umidade favoráveis, as hifas do fungo conseguem atravessar o tegumento do inseto, geralmente em regiões menos esclerosadas (MORA, 2015), ocorrendo a emergência do fungo em direção ao exterior, através de estruturas produtoras de esporos compactas e eretas (sinêmio e conidióforos) (Samson & Evans, 1992). Uma vez que estas estruturas atravessam o tegumento, saem da fase somática e começam o processo de esporulação (fase reprodutiva) (CAÑEDO & AMES, 2004).

No Ceará, esses fungos são encontrados na Serra de Baturité. Nessa região já é registrada a ocorrência do parasitismo de *Macrophyes pacoti* por *Gibellula sp.*. Arruda et.al. (2021) descreve que ao parasitar a aranha *Macrophyes pacoti* o fungo recobre o corpo do hospedeiro parcial ou integralmente com suas estruturas de reprodução, que se caracterizam como sendo um micélio amarelo-dourado a alaranjado. Possuindo ainda um micélio multisseptado, verrugoso, que se unem num enovelado de hifas dando origem aos sinêmios. Estes, por sua vez, são espalhados por todo corpo do hospedeiro, com uma haste longa e robusta, de cor amarelo-dourado a alaranjado com conidióforos brancos formados apenas no ápice (ARRUDA et al., 2021).

No trabalho de Arruda et al. (2021), surge pela primeira vez as sugestões dos termos “novo”, “maduro” e “velho” para descrever variações morfológicas da fase reprodutiva. Apesar destes estudos recentes envolvendo aspectos de descrição e ecologia desta interação, ainda não se tem uma descrição aprofundada sobre as características morfológicas do crescimento e reprodução do fungo no corpo do hospedeiro. Entretanto, espera-se que exista uma variação significativa no padrão de cor, aspectos morfológicos, e outros aspectos da biologia desta interação, que estejam relacionados de acordo com a progressão do estágio reprodutivo do fungo, que precisam ser investigadas e melhor padronizadas.

Logo, é extremamente relevante caracterizar esta interação, a um nível que induza o pesquisador a compreender o estágio desse parasitismo em campo, e assim venha a colaborar com dados acerca das etapas que o fungo passa a expressar no corpo de seu hospedeiro. Compreendendo isto, o presente trabalho propõe renomear esses termos e sugerir classificá-los como estágios da fase reprodutiva do fungo, através de uma tabela de campo,

que divide em três estágios a fase reprodutiva, caracterizando as diversas formas que a interação aracnopatogênica *Macrophyes pacoti* por *Gibellula sp.* se expressa na natureza.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar os estágios da fase reprodutiva da relação *Macrophyes pacoti* e *Gibellula sp.*

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Descrever a morfologia da espécie *Gibellula sp.*
- b) Contribuir para os avanços nos estudos ecológicos do gênero *Gibellula*.
- c) Sugerir e descrever a existência de três estágios frequentes do fase reprodutivo de *Gibellula sp.*
- d) Auxiliar futuros pesquisadores que eventualmente venham a trabalhar com relações similares.
- e) Propor uma ficha de coleta de campo, que descreve as características dos estágios da fase reprodutiva desta interação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ecologia e Evolução da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira- UNILAB, na cidade de Redenção/ CE.

2.2 Localização das coletas

As coletas foram realizadas em uma área de floresta da APA (Área de Proteção Ambiental) da Serra de Baturité, Ceará, Brasil. Uma região que se apresenta como exceção no contexto do Estado do Ceará, uma vez que possui enclaves úmidos que apresentam resquícios de mata atlântica, tornando esses ecossistemas refúgios para espécies de floresta Atlântica nordestina dentro dos domínios da Caatinga (CAVALCANTE, 2005), sendo classificada como Mata Úmida e Mata Seca do Cristalino (MORO et al., 2015). O Maciço de Baturité apresenta três classificações climáticas distintas: úmido, semiúmido e semiárido. As temperaturas médias anuais variam entre 19° C e 22°C, com amplitude térmica em torno de 2°

C (PINHEIRO & SILVA, 2017). Dentro desta região total, foi selecionada a área da Mata do Purgatório (4° 13'21.10" S, 38° 53' 35.80" W), localizada no Sítio São Luís, no município de Pacoti-CE (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo no município de Pacoti, na Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité, localizada no estado do Ceará, Brasil.



Editada pelo autor. Fonte original.

2.3 Ficha de campo e estágios do fungo

Inicialmente houve a produção de uma ficha de campo, para auxiliar no processo de caracterização dos estágios do fungo na fase reprodutiva. A ficha foi dividida em duas partes: "Características da interação" e "Características morfológicas do fungo". A primeira parte, "Características da interação", foi utilizada para observar a influência do fungo no corpo do hospedeiro. Para isso, foram coletados dados sobre a coloração e preservação dos hospedeiros

infectados, presença ou ausência de outros fungos, bem como a massa dos corpos dos hospedeiros infectados. Já a segunda parte, "características morfológicas do fungo" foi direcionada para descrever a morfologia do fungo, nos seus respectivos estágios. Onde foram coletados dados morfológicos das estruturas reprodutivas, como presença e/ou ausência e quantidade sinêmios e conidióforos.

2.4 Coleta de campo e depósito no herbário

As coletas foram feitas uma vez ao mês no período de Junho de 2021 a Outubro de 2021, através de buscas ativas por aranhas infectadas por *Gibellula sp.* ao longo da Trilha do Purgatório durante o dia, em inspeções cuidadosa na parte inferior de folhas vivas na vegetação. Quando encontrados os corpos das aranhas infectadas, a interação era observada, feitas as medições corporais e os dados relacionados às características morfológicas eram anotados. Posteriormente as aranhas foram cuidadosamente coletadas, e mantidas em tubos plásticos rotulados e transportados para o Laboratório de Ecologia e Evolução da Unilab, para serem analisadas. Ainda em campo, todos os espécimes foram fotografados individualmente com uma câmera NIKON D5100 equipado com uma lente AF-S DX NIKKOR 18-55 mm f/3.5-5.6G VR.

Foi selecionada uma amostra de cada estágio reprodutivo da interação *Gibellula sp.* em *Macrophyes Pacoti* para depósito na coleção de fungos do Herbário de Botânica da UNILAB. Em todo espécime tombado foi denominado um número de tombo no herbário, etiqueta de identificação contendo dados de coleta, e feito a captura de imagem. Todo o material incorporado ao herbário foi registrado em um banco de dados específico para este fim. Onde consta os dados de coleta referentes a cada espécime tombado: a determinação específica de cada amostra (família, gênero e, quando possível, espécie, neste caso sempre com a autoria científica do binômio), local de coleta, coordenadas geográficas, data de coleta, coletor ou coletores.

2.5 Análise de dados

Para testar a variância de cada estágio da fase reprodutiva, planilhamos os dados referentes à ficha de coleta no excel. Inicialmente todas as amostras foram identificadas e seus respectivos dados padronizados para melhor distribuição dos resultados. Posteriormente, foram feitas três planilhas separadas, para cada estágio, com os dados de coloração;

preservação do hospedeiro; estruturas reprodutivas, para serem analisadas individualmente em relação ao todo. Os dados obtidos individualmente foram convertidos em porcentagem e destacados quais características eram mais expressivas em cada estágio.

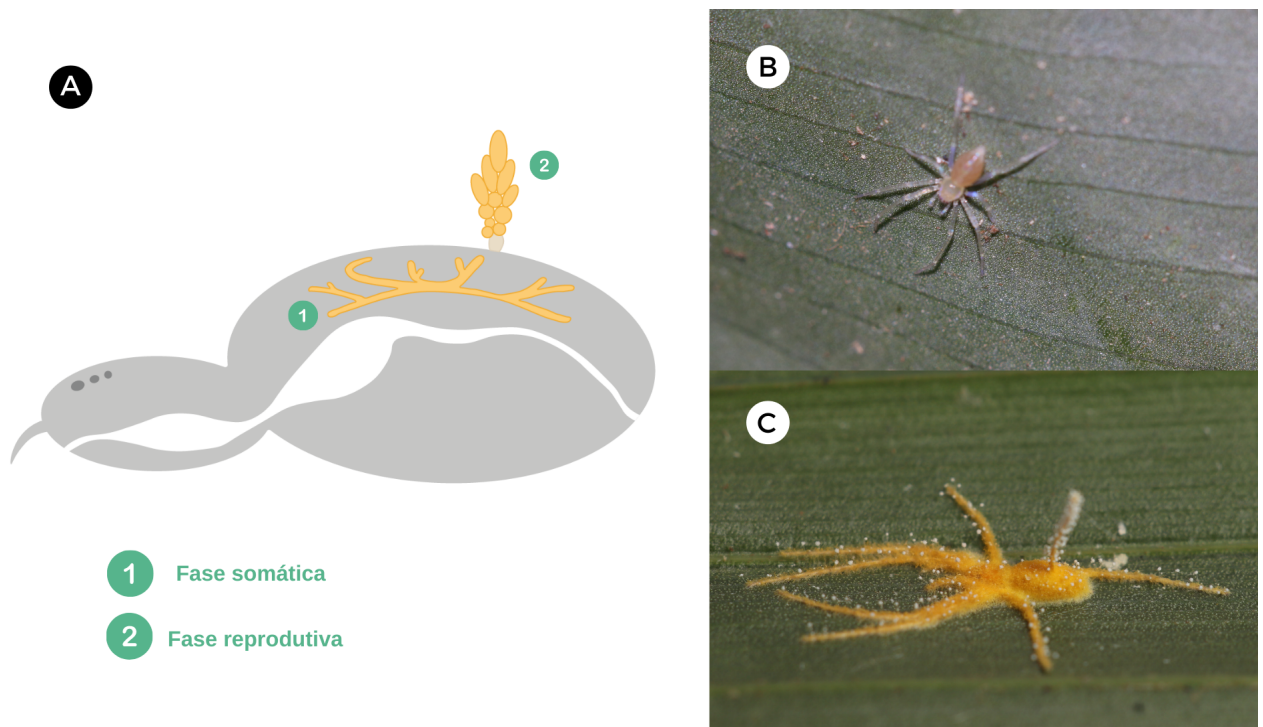
As medidas abdominais do estágio maduro foram utilizadas para observar a influência do tamanho corporal da aranha em relação a quantidade de sinêmios desenvolvidos pelo fungo, os dados foram convertidos em uma planilha no excel, e convertido em gráfico de dispersão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com conceitos já mencionados anteriormente, o micélio pode se apresentar de duas formas distintas. A fase somática, é encontrada no interior do substrato (aranha), com micélio tipicamente não móvel, sendo responsável pela nutrição e fixação do fungo. O fungo entra em fase reprodutiva quando o meio nutricional já encontra-se escasso, a partir disso as hifas atravessam o tegumento e formam o sinêmio e conidióforos que são capazes de originar a esporos assexuais (conídios) (MAIA & CARVALHO- JUNIOR, 2010) (Figura 2 A).

O crescimento reprodutivo é a última fase do estágio infeccioso, e a única que é previamente possível de ser observada em campo pelos pesquisadores que estudam esta interação. Sendo portanto a fase reprodutiva um fator determinante que classifica visualmente um hospedeiro saudável de um infectado (Figura 2 B e C). A partir de observações morfológicas, foram descritas as condições de cada estágio da fase reprodutiva da relação *Macrophyes pacoti* por *Gibellula sp.*.

Figura 2. (A) Ilustração representativa das fases somática e reprodutiva do gênero *Gibellula* (Hypocreales) no corpo da aranha; (B) Imagem do corpo da aranha *Macrophyes pacoti* saudável; (C) Imagem do corpo da aranha parasitada por *Gibellula sp.* em sua fase reprodutiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1 Estágios da fase reprodutiva

-Imaturo

No estágio imaturo, observou-se que as interações se caracterizavam com uma coloração amarelo-dourado a alaranjado, em relação à morfologia do hospedeiro, nesta etapa inicial a aranha ainda se apresenta preservada, havendo ainda a ausência total ou início de brotamento do sinêmio e quando comparada com outros estágios a visualização de conidióforos a olho nu, é quase nula (Figura 3 A).

-Maduro

O estágio maduro, se apresenta como sendo o mais apto em condições de dispersão do fungo, onde o mesmo a partir de condições ambientais prevalentes, consegue se estabelecer no corpo do hospedeiro e suscetibilizar ao máximo a produção e liberação de esporos, através

de estruturas especializadas, como sinêmio e conidióforos. Portanto, essas estruturas são indispensáveis para uma identificação deste estágio. Logo, o estágio maduro se caracteriza com surgimento do sinêmio (1 ou mais), maior fixação do hospedeiro na vegetação (musculatura rígida na vegetação), apresenta uma cor amarelo-dourado a alaranjado e os conidióforos brancos são visíveis (Figura 3 B).

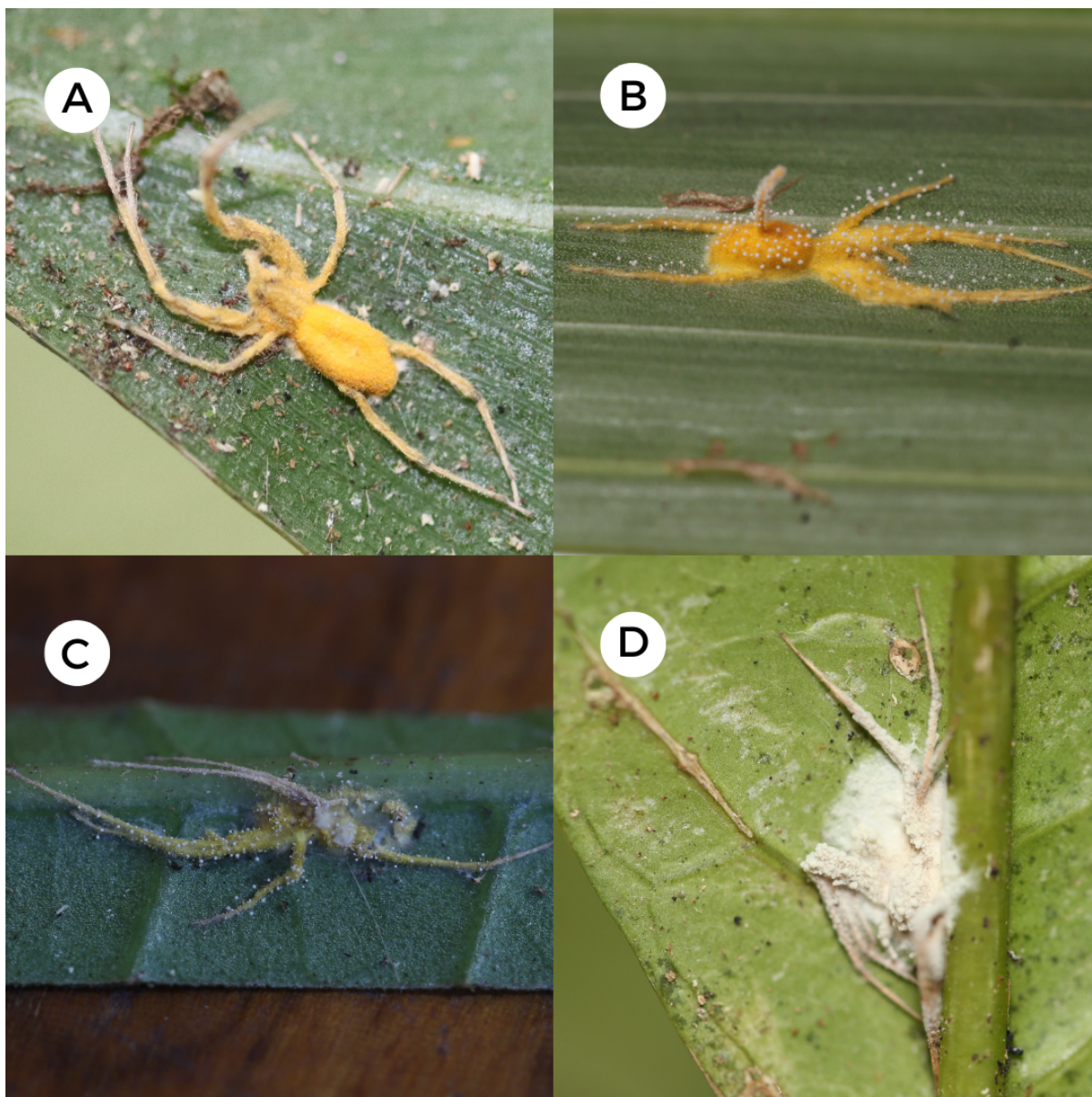
-Senil

Quando em condições de estágio Senil, há a perda na coloração, onde a mesma perde o amarelo e se mostra em tons mais escuros, a morfologia do hospedeiro é alterada (desidratação e perda de massa) e são observadas poucas estruturas fúngicas, uma vez que em sua maioria são perdidas, isso pode ser explicado pela deficiência que o fungo sofre ao final deste ciclo (Figura 3 C).

-Hiperparasitado

Há ainda uma apontamento relevante observado em campo, de acordo com o desenvolvimento do trabalho é possível sugerir o surgimento de uma condição do estágio Senil, que seria o hiperparasitismo, onde existe a presença de um fungo filamentosso branco recobrimdo o corpo da aranha parasitada (Figura 3 D). Tal relação vai muito além do agente parasita x hospedeiro x ambiente. Nesta relação participam agentes microbianos, presentes no sítio de infecção, podendo ter efeitos positivos ou negativos na relação parasítica (BETTIOL,1991). A partir das observações feitas em campo podemos supor que a interação que envolve a aranha *Macrophyes pacoti* e o fungo *Gibellula sp.* podem sofrer um hiperparasitismo no final do seu ciclo reprodutivo. Entretanto, para melhor compreensão, é necessário investir em estudos, que comprovem tal hipótese.

Figura 3. Diferenciação dos estágios reprodutivo de *Gibellula sp.* em *Macrophyes pacoti*; (A) Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* no estágio Imaturo; (B) Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* no estágio Maduro; (C) Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* no estágio Senil; (D) Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* Hiperparasitado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 Ficha de campo

Foram estabelecidas variáveis morfológicas padronizadas, tanto para caracterizar o fungo como a interação, através da ficha de campo, onde a partir dos dados se era possível estabelecer o estágio da interação. Sendo 100 o N amostral de aranhas parasitadas coletadas,

os dados foram coletados, e estabelecido a presente divisão: estágio imaturo, estágio maduro e estágio Senil (Figura 4).

Figura 4. Ficha de campo aplicada para avaliar os estágios reprodutivo de *Gibellula sp.* em *Macrophyes pacoti*

Descrição (estágios): Imaturo = Coloração evidente (amarelo-dourado a alaranjado), morfologia do hospedeiro preservada, ausência ou início do brotamento do sinêmio e poucos conidióforos presentes. Maduro = Surgimento do sinêmio (1 ou mais), maior fixação do hospedeiro na vegetação (musculatura rígida), maior quantidade de conidióforos e coloração evidente (amarelo-dourado a alaranjado). Senil = Perda na coloração (Ocre), morfologia do hospedeiro alterada (desidratação e perda de massa) e perda de estruturas fúngicas (conidióforo e sinêmio) *Hiperparasitado = Presença de fungo filamentosos recobrimdo o corpo da aranha parasitada (cor=branco)				
Caracterização do estágio reprodutivo <i>Gibellula sp.</i> em <i>Macrophyes pacoti</i>- Campo Purgatório, Pacoti-CE				
Data:	Hora:		Coletor:	
Características da interação			Características morfológicas do fungo	
Amostra (n°)			Sinêmio	Conidióforos
Coloração				
Preservação do corpo do hospedeiro		Presente ou ausente?		
Presença de outros fungos? (Quantidade e coloração)		Quantidade?		
Estágio:	Obs:			

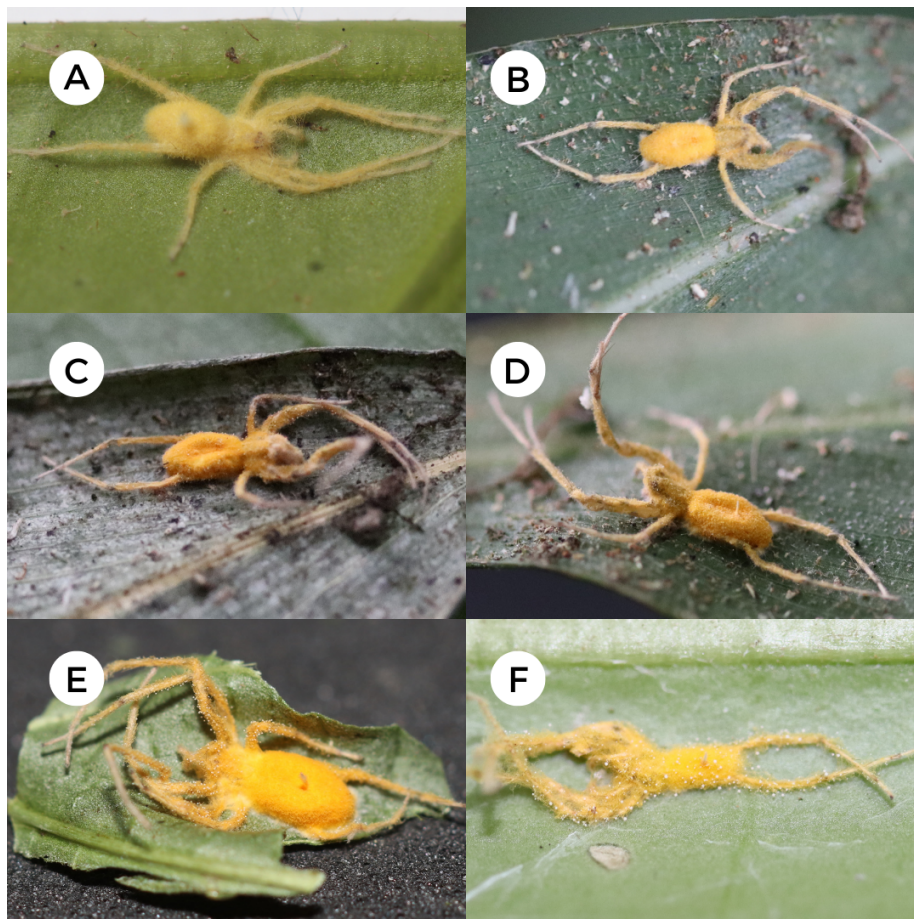
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3 Análise dos dados

3.3.1 Imaturo

Dentre o número amostral total, 14 foram identificadas como imaturas. Destas, 100% apresentaram coloração amarelo-dourado a alaranjado, logo a cor Ocre não se mostrou presente. Em relação a morfologia do hospedeiro, 100% das amostras apresentaram o corpo preservado. Nenhuma das 14 amostras apresentou a presença de outros fungos. Os dados referente a estrutura reprodutiva do sinêmio mostraram que apenas 15% das amostras apresentou a estrutura, enquanto que 85% mostrou ter a estrutura ausente no seu estágio inicial. Já o conidióforo, se mostrou presente em 93% das amostras coletadas, embora que em pouca quantidade, sendo ausente em apenas 7% das aranhas parasitadas (Figura 5).

Figura 5. Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* em estágio Imaturo. (A) Aranha parasitada em estágio Imaturo do desenvolvimento, com corpo preservado (B; C) Aranha parasitada em estágio Imaturo do desenvolvimento, com presença de poucos conidióforos e ausência do sinêmio; (D; E; F) Aranha parasitada em estágio Imaturo do desenvolvimento, com presença mediana de conidióforos e Início do desenvolvimento do sinêmio.

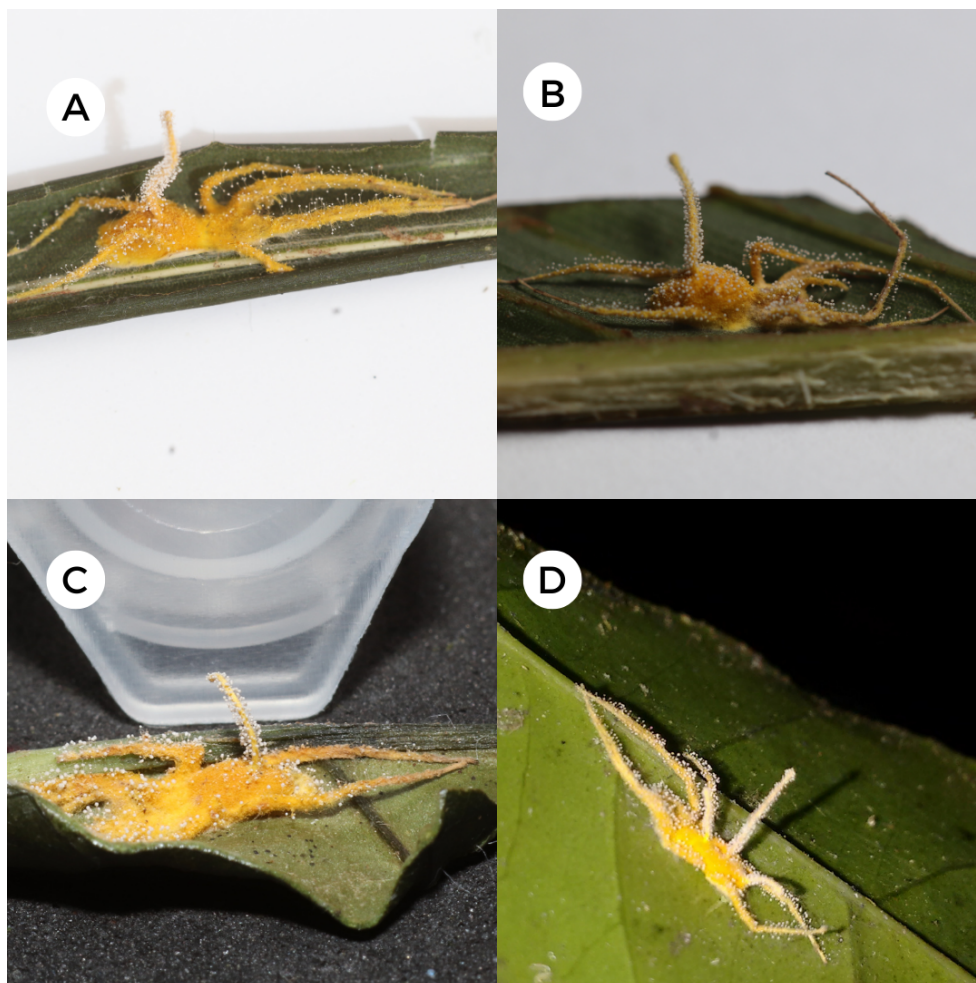


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3.2 Maduro

Em relação a quantidade total de amostras, a interação se mostrou maior no estágio maduro, sendo 57 amostras coletadas. Assim como no estágio imaturo, 100% apresentaram coloração amarelo-dourado a alaranjado, logo Ocre não se mostrou presente. Em relação a morfologia do hospedeiro, 98% das amostras apresentaram o corpo preservado, onde apenas 2% tiveram a morfologia alterada. Nenhuma das 57 amostras apresentou a presença de outros fungos. A estrutura reprodutiva do sinêmio mostrou-se como sendo uma característica obrigatória na identificação deste estágio, onde 100% das amostras apresentaram a estrutura. Já o conidióforo, se mostrou presente em 98% das amostras coletadas, sendo ausente em apenas 2% das aranhas parasitadas (Figura 6).

Figura 6. Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* em estágio Maduro (A-D) Aranha parasitada em estágio maduro do desenvolvimento, com presença de sinêmios e conidióforos abundantes.

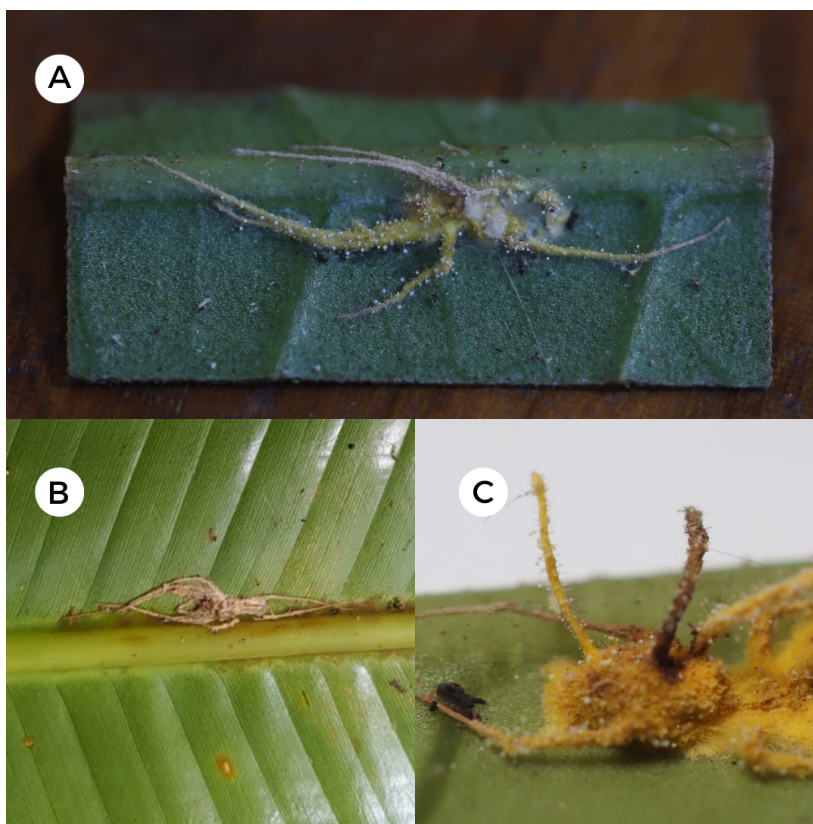


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3.3 Senil

No estágio Senil, foram coletadas 29 amostras. Em relação a este quantitativo, 100% apresentaram coloração Ocre, diferentemente dos estágios anteriores, nenhuma amostra apresentou coloração amarelo-dourado a alaranjado. Em relação a morfologia do hospedeiro, nenhuma das amostras apresentaram o corpo preservado, sendo 100% o número de amostras com a morfologia alterada. Já em relação à presença de outros fungos na amostra parasitada, 59% apresentaram. Os dados referente a estrutura reprodutiva do sinêmio mostraram que 59% das amostras apresentou a estrutura, enquanto que 41% mostrou ter a estrutura ausente no seu estágio inicial. Já o conidióforo, se mostrou presente em 10% das amostras coletadas, sendo ausente na maioria, em 90% das aranhas parasitadas (Figura 7).

Figura 7. Caracterização morfológica de *Gibellula sp.* em estágio Senil. (A; B) Aranha parasitada em estágio Senil do desenvolvimento, com corpo alterado e perda de estruturas e coloração (C) Aranha parasitada em estágio Senil do desenvolvimento, com sinêmio ressecado e sem conídios.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1 – Dados comparativos das características dos estágios reprodutivo *Gibellula sp.* em *Macrophyes pacoti*

	Imaturo	N° total	%	Maduro	N° total	%	Senil	N° total	%
COLORAÇÃO	amarelo dourado	14	100	amarelo dourado	57	100	amarelo dourado	0	0
	Ocre	0	0	Ocre	0	0	Ocre	29	100
PRESERVAÇÃO DO CORPO DO HOSPEDEIRO	preservado	14	100	preservado	56	98	preservado	0	0
	alterado	0	0	alterado	1	2	alterado	29	100
	Hiperparasitado	0	0	Hiperparasitado	0	0	Hiperparasitado	17	59
ESTRUTURAS REPRODUTIVAS DO FUNGO	com sinêmio	2	15	com sinêmio	57	100	com sinêmio	17	59
	sem sinêmio	12	85	sem sinêmio	0	0	sem sinêmio	12	41
	com conidióforo	13	93	com conidióforo	56	98	com conidióforo	3	10
	sem conidióforo	1	7	sem conidióforo	1	2	sem conidióforo	26	90

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.4 Diferenciação dos estágios

Arruda et.al. (2021) define que, o *Gibellula sp.* se expressa no corpo da *Macrophyes pacoti* na natureza com uma cor amarela brilhante (dourado) e os conidióforos brancos, sendo a sua melhor performance do estágio reprodutivo, a qual delimitamos como estágio maduro, entretanto esta mesma interação pode ser encontrada de maneiras distintas, portanto não sendo um padrão exclusivo.

De acordo com os resultados obtidos, o estágio imaturo possui coloração amarelo-dourado a alaranjado, assim como o estágio maduro, entretanto possui como diferenciação dos demais estágios, um corpo preservado e um baixo número ou ausência de sinêmios em seu corpo. Isso se justifica uma vez que, nos primeiros dias de infecção, o fungo quando em contato com os nutrientes provenientes da aranha, investe no crescimento micelial no corpo da aranha, sendo as estruturas reprodutivas formadas por completo posteriormente (SRIVASTAVA et al., 2009).

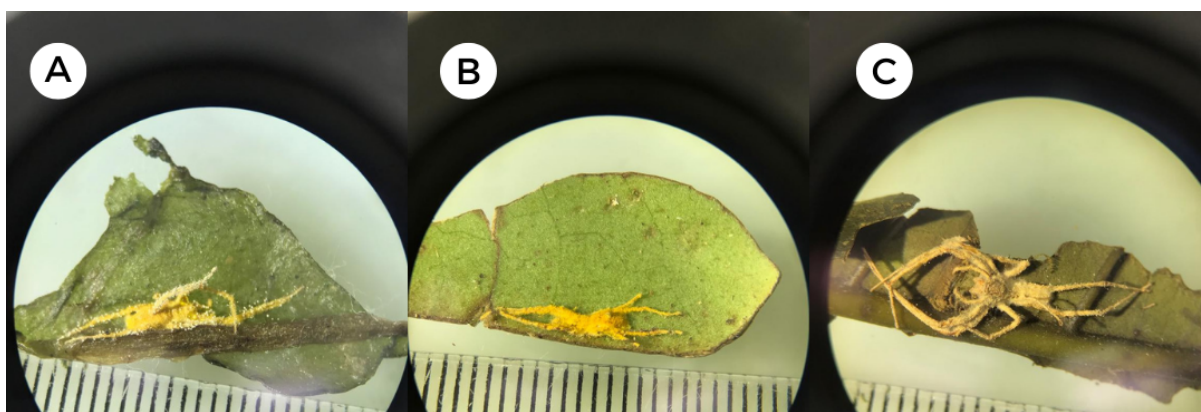
A fase reprodutiva se estabelece como sendo um processo gradual, e que necessita de uma otimização do fungo em sua produção de estruturas germinativas, uma vez que aos poucos vão deixando sua fase somática para que as hifas conseguissem atravessar o tegumento da aranha, ocorrendo à emergência do fungo em direção ao exterior. O brotamento da estrutura reprodutiva do fungo (sinêmio), pode ser observado nos momentos finais do estágio imaturo, mas seu crescimento inicial até a sua formação completa é o que melhor caracteriza o estágio maduro, portanto tais estruturas são melhores observadas nesse estágio, sendo considerada sua condição mais expressiva, logo obrigatória.

No parasitismo da *Macrophyes pacoti* por *Gibellula sp.*, observamos que no estágio imaturo e maduro ambos possuíam a mesma coloração de amarelo-dourado a alaranjado, e um padrão diferente para o estágio Senil, onde todas as amostras coletadas apresentaram cor Ocre. A pigmentação produzida pelo fungo no corpo do hospedeiro está relacionado com o metabolismo fúngico, já que a maioria dos fungos é consumidor de matéria orgânica e são capazes de produzir metabólitos secundários como ácidos orgânicos e pigmentos (AKILANDESWARI & PRAPEED, 2016), uma vez que os recursos nutritivos são escassos no último estágio, o fungo deixa de produzir a pigmentação. Outra característica importante observada no estágio Senil, seria a alteração morfológica que o hospedeiro sofre ao final do ciclo reprodutivo, onde 100% das amostras coletadas demonstraram ressecamento, perda de

massa e membros.

Para preservação desse material, foi selecionado 1 representante de cada estágio, devidamente identificados e acondicionados para futuros estudos. O número de depósito no herbário da UNILAB de cada estágio é respectivamente: Estágio maduro (1275), Estágio Imaturo (1276), Estágio Senil (1277).

Figura 8. Espécimes depositadas no Herbário (A) Aranha parasitada em estágio Maduro do desenvolvimento (B) Aranha parasitada em estágio Imaturo do desenvolvimento (C) Aranha parasitada em estágio Senil do desenvolvimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

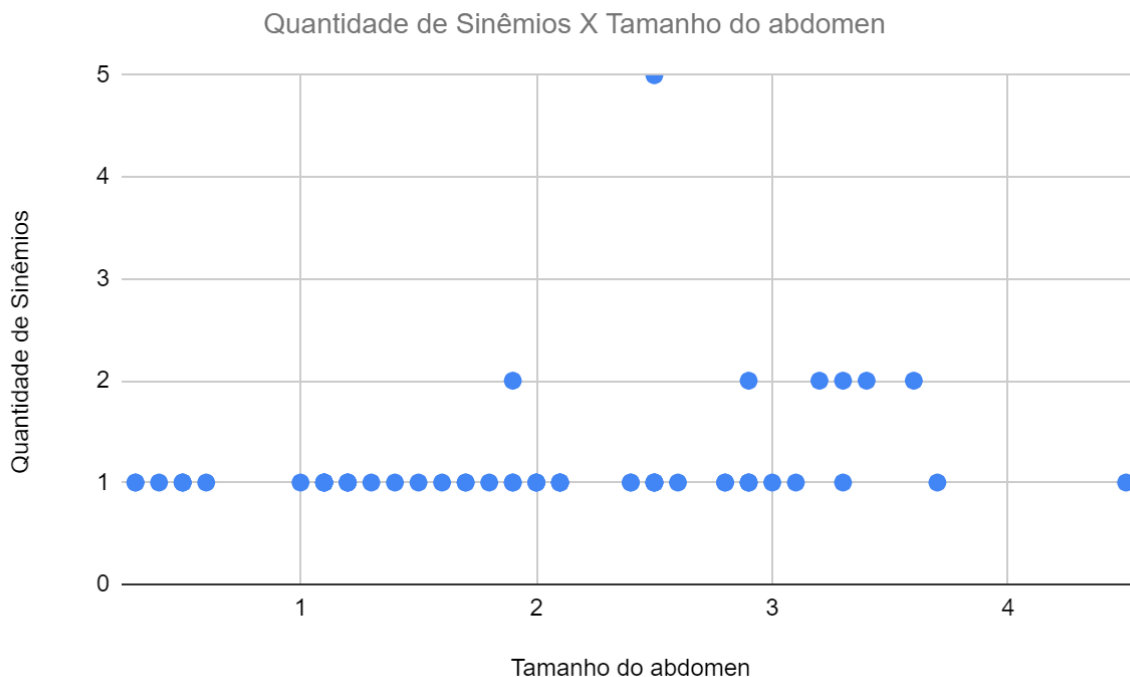
3.3.6 Tamanho abdominal x Quantidade de sinêmios

Para avaliar a influência do tamanho corporal do hospedeiro sobre a quantidade de sinêmios desenvolvidas pelo fungo, foi utilizado o estágio maduro como referencial. Dados dos estágios inicial e Senil não foram utilizados, uma vez que poderiam demonstrar resultados inconclusivos ou incompletos sobre tal influência. Compreende-se que no estágio imaturo, a estrutura reprodutiva do fungo se mostra ausente ou em alguns casos demonstram apenas o início do brotamento, impossibilitando observar tais estruturas ou sugerir o seu real potencial quantitativo de crescimento. O mesmo se aplica para o estágio Senil, que demonstra nesta fase a perda abundante das estruturas reprodutivas, logo seria impossível quantificar quantos sinêmios esse fungo liberou no corpo do hospedeiro durante seu ciclo de vida. Portanto, aponta-se o estágio maduro como mais fiel e preciso em relação aos dados coletados para esta análise.

Foi utilizado como parâmetro de medição o abdômen da aranha, região a qual o fungo *Gibellula sp.* se desenvolve e libera sua estrutura reprodutiva no corpo do hospedeiro. Os

resultados demonstram que as 57 aranhas observadas apresentam uma grande amplitude de tamanho abdominal, variando entre 0,3 a 4,5 cm. Onde 26 aranhas apresentaram 1 sinêmio, 6 aranhas apresentaram 2 sinêmios em seu abdômen, e 1 indivíduo apresentou 5 sinêmios (Figura 9).

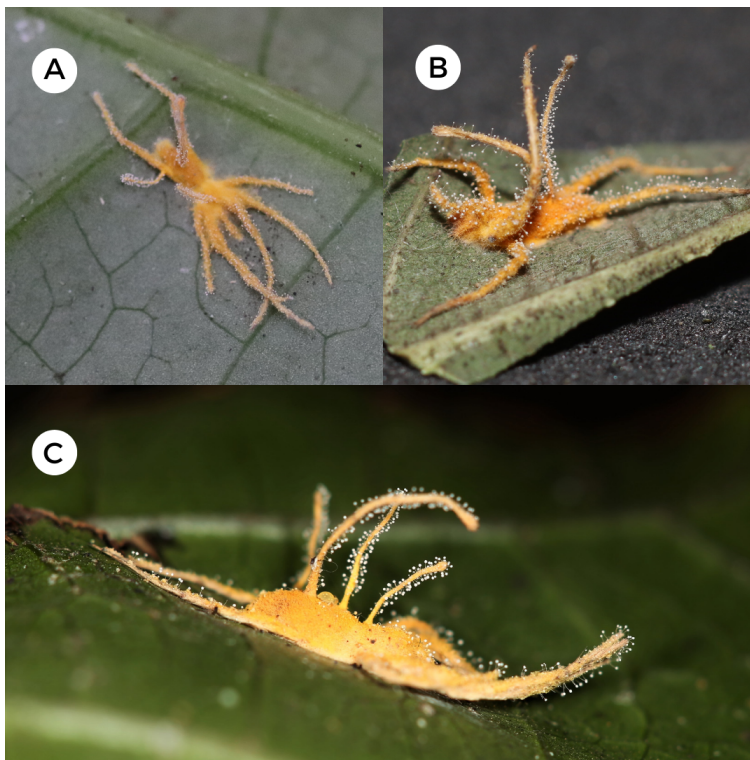
Figura 9. Influência do tamanho abdominal da aranha *Macrophyes pacoti* sobre a quantidade de sinêmios liberados pelo fungo *Gibellula sp.*.



Fonte: Elaborada pelo autor

Os resultados sugerem que nesta interação, o número padrão de sinêmios liberados pelo fungo *Gibellula sp.* na aranha *Macrophyes pacoti* seria 1 estrutura reprodutiva. Entretanto este número pode sofrer variações, como demonstrado neste trabalho (Figura 10). O que fica claro, é que o sucesso reprodutivo do fungo não está relacionado ou condicionado pela faixa etária e nem pelo tamanho da aranha, muito embora sua performance seja melhor garantida, quando parasita indivíduos maiores, como demonstrado no gráfico acima.

Figura 10. (A-C) Aranha parasitada em estágio maduro do desenvolvimento, com presença de mais de 1 sinêmio no abdômen.



Fonte: Elaborada pelo autor

Onde existe uma maior concentração de indivíduos com 1 sinêmio em tamanhos que variam entre 0,3 cm a 2,0 cm. Mas quando observado indivíduos com maiores quantidades de sinêmios (2 e 5 sinêmios), essa taxa de tamanho cresce, para 1,9 cm a 3,0 cm. Este fator pode estar relacionado ao fato de que não necessariamente o fungo tenha uma preferência de tamanho para infecção, mas quando em contato com o hospedeiro de tamanho maior, sua taxa nutricional por consequência também será maior, o que possibilita a liberação de mais estruturas, visto que são capazes de suportar (Figura 9).

Sugerimos que o aumento da quantidade de sinêmios esteja ligado ao tamanho do hospedeiro, embora necessite de maiores investigações futuras, para melhor compreensão desta condição.

4 CONCLUSÕES

Os estudos que investigam interações entre aranhas e fungos aracnopatogênicos, são ainda escassos e necessitam de maiores investigações, principalmente a relação apontada neste estudo, uma vez que a espécie *Gibellula* destacada nesta pesquisa seja ainda

desconhecida, já que a espécie do hospedeiro foi recém nova registrada, estudos futuros podem comprovar isto.

Logo, todas as investigações que auxiliem a caracterização destas espécies, corroboram em futuras pesquisas na área. A partir deste estudo, é possível apontar as características mais evidentes em cada estágio, e que podem ser utilizadas como estratégia de diferenciação na identificação morfológica desta espécie de fungo em questão. Conseguimos identificar traços, como a diferença entre a coloração de cada estágio, o ganho e/ou perda das estruturas reprodutivas durante seu ciclo de reprodução, bem como as alterações morfológicas sofridas no corpo da aranha. Além disso, sugerimos a hipótese de correlação entre massa abdominal do hospedeiro com a taxa de crescimento de sinêmios. Dessa forma, abrimos o leque para a investigação de novos trabalhos com esta interação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKILANDESWARI, P.; PRADEEP, B.V. Exploration of industrially important pigments from soil fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(4): 1631–1643, 2016.

ARRUDA, I.D.P.; BONILLA-VILLANUEVA, G.A.; FAUSTINO, M.L.; SOBCZAK-MOURA, J.C.M.S.; SOBCZAK, J.F. Behavioral manipulation of the spider *Macrophyes pacoti* (Araneae: Anyphaenidae) by the araneopathogenic fungus *Gibellula* sp. (Hypocreales: Cordycipitaceae). *Canadian Journal of Zoology*, 2021.

BARRON, G.L. The genera of Hyphomycetes from soil. Robert Krieger, New York, 1968.

BETTIOL, W. Componentes do controle biológico de doenças de plantas. Jaguariúna: Embrapa, Cnpda, 338p, 1991.

BLACKWELL, M. The Fungi: 1, 2, 3...5.1 million species? *American Journal of Botany*, 98 (3), 426 - 438, 2011.

BONONI, V.L.R.; PICOLLO GRANDI, R.A. Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos, 1999.

CABI. M.M.A (Ministério do Meio Ambiente). Áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: Atualização-portaria MMAN°09, de 23 de janeiro de 2007. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, MMA, Brasília, 2007.

CAÑEDO, V & AMES, T. Manual de Laboratorio para el Manejo de Hongos

Entomopatógenos. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 2004.

CAVALCANTE, A. M. B. A Serra de Baturité. Fortaleza: Livro Técnico, 84p, 2005.

COSTA, P. P. *Gibellula* spp. associadas a aranhas da Mata do Paraíso, Viçosa-MG (M.Sc.). Minas Gerais, Brazil: Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. Dissertação de mestrado, 2014.

DEVOTTO, L. M.; GERDING, A.; FRANCE, A. Hongos entomopatógenos: una alternativa para la obtencion de Biopesticidas. *Bioleche*, v. 23, p. 30-33, 2000.

EVANS, H.C.; SAMSON, R.A. Fungal pathogens of spiders. *Mycologist* 21: 152–159, 1987.

EVANS, H. C. Fungal pathogens of spiders. In: *Spider Ecophysiology*, pp. 107-121), 2013.

FIGUEREDO, M. A.; BARBOSA, M. A. A vegetação e flora na Serra de Baturité. *Coleção Mossoroense. Série B*, n.747, 1990.

GARCÉS, G.E.; CORREA, R. M.; COBA, G.B.; OROZCO, A. M.; ZAPATA, L.; ANACONA, C. A.; SABOGAL, S. *Morfología y clasificación de los hongos*. Universidad Nacional de Colombia, 2003.

HAWKSWORTH, D. L. The Magnitude of Fungal Diversity: The 1.5 Million Species Estimate Revisited. *Mycological Research* 105: 1422-1432, 2001.

HAWKSWORTH, D.L.; LUCKING, R. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiol Spectr*, 2017.

HODGE K.T. Clavicipitaceous Anamorphs. In: James F, White Jr, Bacon C.W, Hyweljones N.L, Satafora J.W. *Clavicipitalean Fungi Evolutionary Biology, Chemistry, Biocontrol and Cultural Impacts*. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel, 2003.

JOHNSON, D.; SUNG, G.H.; HYWELL-JONES, N. L.; LUANGSA-ARD, J. J.; BISCHOFF, J. F.; KEPLER, R. M.; SPATAFORA, J. W. Systematics and evolution of the genus *Torrubiella* (Hypocreales, Ascomycota). *Mycological Research*, v. 113, p. 279-289, 2009.

KEPLER, R.M.; LUANGSA-ARD. J.J.; HYWEL-JONES, N.L.; QUANDT,C.A.; SUNG, G.H.; REHNER, S.A.; AIME, M.C.; HENKEL,T.W.; SANJUAN, T.; ZARE, R.; CHEN, M. Li.Z.; ROSSMAN, A.Y; SPATAFORA, J.W.; SHERESTHA, B. A phylogenetically-based nomenclature for *Cordycipitaceae* (*Hypocreales*). IMA Fungus, 2017.

KIRK, P.M.; CANNON, P.F.; DAVID, J.C. & STALPERS, J.A. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of the fungi*. 9th ed. CABI: Wallingford, 2001.

KIRK, P. M.; CANON, P. F.; MINTER, D. W.; STAPLERS, J. A. *Dictionary of the Fungi* (10th ed.), 2008.

MAIA, LC.; CARVALHO JUNIOR, A.A. Introdução: os fungos do Brasil. In: FORZZA,

RC., org., et al. INSTITUTO DE PESQUISAS JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online]. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, p. 43-48, 2010.

SAMSON, R.A.; EVANS, H.C. New species of *Gibellula* on spiders (Araneida) from South America) *Mycologia*. 84: 300-314, 1992.

SCHOLTE, E.J.; KNOLS, B.G.J.; SAMSON, R.A.; TAKKEN, W. Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review. *Journal of Insect Science*, v.4, p.19-24, 2004.

Semace, Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Zoneamento ambiental da APA da Serra de Baturité: diagnóstico e diretrizes. Fortaleza, 1992. <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/apa-da-serra-de-baturite>>. Acesso em: 28 de maio de 2022.

ST. LEGER, R. J.; WANG, C. Genetic engineering of fungal biocontrol agents to achieve efficacy against insect pests. *Applied of Microbiology and Biotechnology*, v. 85, p. 901-907, 2010.

SUNG G.H.; POINAR G.O.; SPATAFORA J.W. The oldest fossil evidence of animal parasitism by fungi supports a Cretaceous diversification of fungal-arthropod symbioses. *Molecular and Phylogenetic Evolution*, v. 49, p. 495-502, 2008.

6 AGRADECIMENTOS

A minha amada mãe Dina, por sempre me incentivar nos meus estudos e acreditar no meu potencial. Ao meu pai Delmario (in memoriam), que mesmo em lembrança permanece ao lado e no meu coração.

A minha irmã Jessica, por ser minha grande inspiração de vida, que compartilhou comigo anseios e alegrias durante a graduação e na vida.

A minha querida avó Maria de Fátima, mulher única e forte, a qual me espelho.

Aos meus irmãos (Jonas e Flávio) e familiares queridos, que fazem parte da minha, e foram essenciais nessa caminhada.

Ao Lucas, que foi apoio e ombro amigo em todos os momentos que precisei, além de grande incentivador dos meus estudos e sonhos.

Ao meu grupo de amigos da graduação (Eduarda, Isabelle, Jeová e Vitória) por serem parceiros de vida e de curso, e compartilharem comigo momentos inesquecíveis, tornando a graduação um lugar mais feliz e leve.

Aos meus amigos do EcoLab, que por longos anos dividiram campos, conversas, momentos alegres e cheio de conhecimento, meus desejos de sucesso e crescimento na vida pessoal e profissional.

A minha amiga, minha dupla de laboratório e de campo Emily, pela imensa parceria de sempre, além da paciência em corrigir comigo meus trabalhos e pelos grandes ensinamentos que jamais serão esquecidos.

Ao meu orientador Jober Fernando Sobczak, pela excelente orientação, por toda a contribuição na minha formação e incentivos para que eu crescesse em minha área de pesquisa.

Aos meus queridos professores de Graduação do curso de Ciências Biológicas da UNILAB, por todo conhecimento fornecido e pela construção da minha formação.

A CNPq e a UNILAB que financiaram essa pesquisa e permitiram que a mesma fosse uma realidade, bem como a assistência de bolsa durante os 4 anos da minha graduação.

A todos aqueles que me apoiaram e torceram por mim.

Muito obrigada!