

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA COMPARADA  
LES - LABORATÓRIO DE ESTUDOS SUBTERRÂNEOS - UFSCar

Diversidade funcional de opiliões (Arachnida): as cavernas do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais (sudeste do Brasil) representam filtros ambientais para o grupo?

Cristina Machado Borges

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada

RIBEIRÃO PRETO – SP

2020

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA COMPARADA  
LES - LABORATÓRIO DE ESTUDOS SUBTERRÂNEOS - UFSCar

Diversidade funcional de opiliões (Arachnida): as cavernas do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais (sudeste do Brasil) representam filtros ambientais para o grupo?

Cristina Machado Borges

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada.

Orientadora: Profa Dra Maria Elina Bichuette

Co-orientadora: Dra Camile Sorbo Fernandes

RIBEIRÃO PRETO – SP

2020

## **Ficha Catalográfica**

Cristina, Machado Borges

Diversidade funcional de opiliões (Arachnida): as cavernas do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais (sudeste do Brasil) representam filtros ambientais para o grupo? Ribeirão Preto 2020.

60p. : il ; 30cm

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Área: Biologia Comparada.

Orientadora: Bichuette, Maria Elina

1. Atributos funcionais 2. Biologia Subterrânea 3. Cavernas ferríferas 4. Ecologia

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Cristina Machado Borges

Diversidade funcional de opiliões (Arachnida): as cavernas do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais (sudeste do Brasil) representam filtros ambientais para o grupo?

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Área: BIOLOGIA COMPARADA

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Dr(a): \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr(a): \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr(a): \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr(a): \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr(a): \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Dr(a): \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Ao meu pai e a minha mãe, dedico.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elina Bichuette, pela orientação. Sou grata por ter me recebido, acolhido e aberto as portas do Laboratório de Estudos Subterrâneos para que eu pudesse conduzir ali meu doutoramento. Este lugar onde pude entrar em contato diário com animais absolutamente fantásticos como peixes sem olhos que vivem em lençol freático e amblipígeos que jamais antes havia visto de perto. Eles estavam todos lá, na minha frente, vivos, com seus comportamentos e hábitos. Foi fantástico descobrir toda a riqueza da fauna que habitam os subterrâneos. Agradeço pelos conhecimentos transmitidos, pelas vivências e experiências.

Agradeço à minha co-orientadora Camile Sorbo Fernandes pelas inúmeras reuniões e trocas de ideias. Sendo parte essencial do trabalho para escolha das melhores possibilidades teóricas. Poucas vezes em nossa vida nos deparamos com pessoas tão brilhantes. Obrigada por ajudar a fazer nascer os resultados com os scripts.

Agradeço ao Jonas Eduardo Gallão pelos conhecimentos e auxílio na viagem piloto em Ouro Preto, e por tomar conta de todos em campo para ninguém se quebrar! Obrigada por ter me ensinado a olhar com atenção aos opiliões e aprender a observar seus detalhes, distinguindo ali quem é quem. Sou grata também ao Diego Monteiro von Schimonsky pelo auxílio em campo e bom humor sempre.

Agradeço a Tamires Zepon pelo convite para voltar ao Petar e conhecer e revisitar cavernas absolutamente fantásticas. É gelado demais, mas vale a pena! Grata por ter participado de um dos seus campos. Agradeço também pela ajuda com os mapas e com tantos outros textos e resumos e tudo o mais. Obrigada pelo Tour pela UFSCar assim que cheguei aí e nada conhecia!

Agradeço a todos os amigos do Laboratório de Estudo Subterrâneos pelo convívio e trocas.

Agradeço ao Marcio Perez Bolfarini por ter me conduzido na primeira viagem até BH e Caeté. Muito obrigada por esse coração imenso. Muito obrigada por dizer tantas vezes: calma Cris, a coleta vai rolar, relaxa.

Agradeço a Jéssica Gallo por ter integrado uma das equipes de campo e ter participado das coletas. Obrigada pelo auxílio nas triagens e identificações. Obrigada pela ajuda com as pranchas no presente trabalho!

À Angélica Maria Penteado Martins Dias, coordenadora do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitoides da Região Sudeste Brasileira (INCT

Hympar Sudeste – Processo FAPESP 2008/57949-4 e CNPq 573802/2008-4) pela disponibilidade de uso do equipamento (Estereomicroscópio).

À Luciana Bueno dos Reis Fernandes, bióloga do DEBE/UFSCar, pelas fotos obtidas por meio do estereomicroscópio, e pela edição das mesmas.

Sou grata ao Marcel dos Santos Araújo pela companhia de uma viagem comprida, quando eu ainda podia fazer de um tapa só. Obrigada pela lente prática e sarcástica sempre à disposição.

Luciano Emerich Faria, e aí? Até onde vai o limite da sua ciência? Obrigada pela paciência infinita, mesmo. Grata pela presença em todos os campos e pelo cuidado para não ter mais um pé quebrado por perto. Eternamente grata pela preocupação e cuidado. Obrigada por ter me apresentado locais tão espetaculares e ter me dado a chance de conhecer uma Paleotoca!

Agradeço a Jussara e a Débora, ao Antoniel e à Bianca e a todos os membros do OGrEE que participaram do meu trabalho. Igor, nosso espeleólogo veterinário, e cozinheiro! Nathan, não vou nem comentar nada para não comprometer, Nathan! Mas muito obrigada! E já comprou uma bota decente para o campo?

Agradeço ao Thomaz, sempre absolutamente interessado em TODOS os campos! Prazer trabalhar com você!

Sou grata ao Prof. Renato Las Casas pelo privilégio de ficar hospedada nos dormitórios do Observatório Astronômico Frei Rosário, da UFMG.

Agradeço aos Professores Evelise Nunes Fragoso de Moura, do Departamento de Hidrobiologia, e Felipe Christoff Wouters, do Departamento de Química, pelo auxílio nas coletas dos dados e pelo acesso aos seus laboratórios na UFSCar. Sou grata a Professora pelos auxílios nos cortes e ao Professor pelas análises cromatográficas. Bem como pela convivência agradável e aprendizado com ambos.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada, da USP-RP pela oportunidade e pelos aprendizados ao longo do doutoramento, bem como pelos auxílios para as viagens. Sou grata a Vera e a Renata por sempre nos socorrerem na secretaria. Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa concedida.

Agradeço pelas licenças de coleta concedidas pelo Instituto Estadual de Florestas - IEF e pela Fundação de Parques e Zoobotânica, da Prefeitura de Belo Horizonte também sou grata a administração do Parque Mangabeiras e a administração do Santuário Nossa Senhora da Piedade, na figura de Claudia Rech, pelo acesso aos locais.

Agradeço ao meu esposo, Marcelo. Por ter despencado quilômetros para tornar possível umas das viagens de campo. Sou grata por ter cuidado das coisas na minha ausência. Sou grata por nunca ter questionado essa insanidade toda que nem eu entendo mais. Partilho com você a felicidade do ponto final.



“Outra qualidade indispensável à autoridade em sua relação com as liberdades é a generosidade. (...) O clima de respeito que nasce de relações justas, sérias, humildes, generosas, em que a autoridade docente e as liberdades dos alunos se assumem eticamente, autentica o caráter formador do espaço pedagógico.”

(Paulo Freire, 1997 – Pedagogia da Autonomia)

## **Resumo**

As cavernas presentes em litologias ferruginosas são pequenas quando comparadas com as encontradas em litologias areníticas, e calcárias, por exemplo, sendo consideradas ambientes únicos e importantes em termos mundiais. Tais ambientes sofrem grandes ameaças, em especial devido à atividade de mineração. Um dos grupos taxonômicos frequentemente amostrados nesses ambientes são os aracnídeos da ordem Opiliones. Estes animais são geralmente higrófilos e podem ser encontrados também em florestas úmidas do entorno das cavidades. Os ambientes epígeo e hipógeo apresentam diferenças marcantes entre si e, por tal motivo, representam ambientes para testar modelos ecológicos interessantes. Através da aplicação do método de diversidade funcional é possível agrupar espécies segundo seus traços funcionais, independentemente de sua classificação taxonômica e/ou filogenia. As regiões escolhidas são o Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, em Caeté e o Parque Municipal das Mangabeiras, em Belo Horizonte. A diversidade funcional FD foi maior nos ambientes epígeos, embora com uma diferença pequena, ao testarmos cavernas em fitofisionomias de mata atlântica e campos rupestres. Quando consideramos apenas as cavernas em campos rupestres ferruginosos a FD hipógea foi maior. As cavidades, em especial nos campos rupestres avaliados, não foram filtros ambientais para os opiliões, e sim, refúgios, sendo a conservação da integridade destas importante para a conservação do grupo estudado.

Palavras-chave: atributos funcionais, biologia subterrânea, cavernas ferríferas, ecologia

## **Abstract**

Caves in ferruginous lithologies are small compared to those found in sandstone lithologies and limestone for example, being considered unique and important environments in the world. Such environments suffer great threats, especially due to mining activity. One of the taxonomic groups frequently sampled in these environments are the arachnids of the order Opiliones. These animals are generally hygrophilous and can also be found in humid forests around the caves. The epigeal and hypogeal environments show marked differences between themselves and, for this reason, represent environments where to test interesting ecological models. Through the application of the functional diversity method, it is possible to group species according to their functional characteristics, regardless of their taxonomic classification and/or phylogeny. The chosen regions are the Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade in Caeté and the Parque Municipal das Mangabeiras, in Belo Horizonte. The functional diversity FD was greater in epigeal environments, although with a small difference, when testing caves in phytophysionomies of atlantic forest and rupestrian fields. When we considered only the caves in ferruginous rupestrian fields, the hypogeal FD was greater. The cavities, especially in the rupestrian fields evaluated, were not environmental filters for harvestmen, but refuges, and the maintenance of their integrity being important for the conservation of the studied group.

**Keywords:** functional attributes, subterranean biology, iron caves, ecology

## Sumário

1. Introdução .....	17
1.1. Ambiente subterrâneo e seu regime evolutivo .....	17
1.2. Cavernas em minério de ferro .....	19
1.3. Opiliões e cavernas.....	20
1.4. Diversidade funcional.....	21
2. Objetivos do trabalho .....	22
3. Material e Métodos .....	23
3.1 Descrição das áreas de estudo.....	23
3.2 Amostragens .....	27
3.3 Seleção dos atributos funcionais.....	39
3.4. Atributos morfológicos.....	39
3.5 Atributos químicos .....	43
3.6 Atributos ecológicos.....	43
3.7 Análise dos Dados .....	45
3.8 Diversidade Geral das Cavidades .....	46
4. Resultados .....	47
4.1. Atributos químicos .....	47
4.2 Espécies amostradas e seus atributos funcionais .....	50
5. Discussão.....	63
6. Referências bibliográficas .....	68
Anexo 1.....	72

## Lista de Figuras

- Figura 1.** A: mapa do continente Sul - Americano, destacando o Brasil e o estado de Minas Gerais. B: o estado de Minas Gerais, com destaque para os municípios de Belo Horizonte e Caeté. C: mapa dos municípios de Belo Horizonte e Caeté, com destaque para as Unidades de Conservação onde estão inseridas as cavernas. PMM = Parque Municipal das Mangabeiras e MNESP = Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade..... 26
- Figura 2.** A: Destaque das cavernas inseridas na área do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. B: Destaque do ponto onde se localizam, muito próximas, as duas cavidades inseridas na área do Parque Municipal das Mangabeiras, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. .... 27
- Figura 3.** A: Mapa em planta baixa da gruta Mangabeiras III (Paleotoca), inserida nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Nesta cavidade há apenas uma base de coleta que contempla toda sua extensão. B: Foto da entrada cavidade..... 28
- Figura 4.** A: Mapa em planta baixa da gruta Chuveirinho, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta cavidade foram delimitadas três bases de coleta. B: Entrada da caverna Chuveirinho, em Caeté – MG. Foto de Luciano Emerich Faria. C: Coleta de artrópodes no interior da caverna Chuveirinho, em Caeté-MG. Foto de Jussara Diniz..... 29
- Figura 5.** A: Mapa em planta baixa da gruta Triângulo, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta caverna foram delimitadas cinco bases de coleta. B: trilha no campo rupestre ferruginoso para as cavernas Triângulo e Chuveirinho, inseridas nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no Município de Caeté, Minas Gerais..... 30
- Figura 6.** Mapa da gruta Macumba, localizada no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. A: entrada principal da cavidade, vista do interior da caverna. B: entrada principal da cavidade, vista do exterior da caverna. C: exemplar da fauna local (aranha). D: artefatos de caráter religioso deixados na Sala da Macumba, no interior da cavidade. Nesta caverna foram delimitadas duas bases de coleta..... 31
- Figura 7.** Mapa em planta baixa da gruta Cascalhinho, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta caverna foram delimitadas duas bases de coleta. B: exemplares da insetos, da ordem Orthoptera, subordem Ensifera, na caverna Cascalhinho, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Foto de Márcio Bolfarini..... 32
- Figura 8.** Mapa em planta baixa da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta cavidade foram delimitadas cinco bases de coleta..... 33
- Figura 9.** A: entrada de maior dimensão da gruta Piedade, localizada no Monumento

Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais. B: vista do interior da cavidade de uma das entradas da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais. C: coleta de artrópodes no interior da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais..... 34

**Figura 10.** A: mapa em planta baixa da gruta Monges, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta caverna foram delimitadas duas bases de coleta. B: Opilião *Mitogoniella insdistincta* Mello-Leitão, 1936, no teto da gruta Monges. C: Coleta de artrópodes no interior da gruta Monges. Foto de Márcio Bolfarini. D: entrada da gruta Monges, vista de dentro da cavidade. Foto de Marcelo Augusto da Silva..... 35

**Figura 11.** A: mapa em planta baixa da gruta Placa Azul, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta cavidade há apenas uma base de coleta que engloba toda área da cavidade. B: entrada da gruta Placa Azul, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Foto de Márcio Bolfarini. C: exemplar de opilião *Neosadocus* sp. 1, na região parietal da gruta Placa Azul..... 36

**Figura 12.** A- Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade: vista geral do campo rupestre ferruginoso. B- Exemplo de material orgânico encontrado nas cavidades: ninho de ave no interior da caverna Romeiros. C- Fêmea de *Mitogoniella insdistincta* Mello-Leitão, 1936 em cuidado parental, sobre os ovos, no teto da caverna Placa Azul. Nota-se a rocha coberta por briófitas. D- Flores de *Langsdorffia hypogaea* Mart. encontradas na zona de entrada da caverna Macumba. Caeté-Minas Gerais..... 38

**Figura 13.** Captação de imagens de exemplares de opiliões coletados nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, Belo horizonte, Minas Gerais e Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais, para observação de detalhes da morfologia..... 40

**Figura 14.** Medidas de dos atributos morfológicos dos opiliões coletados em cavidades de minério de ferro e em seu entorno no estado de Minas Gerais. **1-** Comprimento do corpo da base dos pedipalpos até a extremidade posterior do cefalotórax (escudo dorsal); **2.** Largura máxima corpórea (na altura das coxas IV); **3.** Comprimento do fêmur IV; **4.** Comprimento da perna II. Ilustração de Leonardo de Assis. A: detalhe do corpo do animal. B: ilustração completa mostrando todas as medidas, inclusive a perna II, em geral muito mais longa que as demais..... 41

**Figura 15.** Exemplar de *Neosadocus* sp. 1 coletado na caverna Placa Azul, no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté-MG. Primeiro corte da cutícula na região de largura máxima do corpo do animal. A partir dessa amostra da parte dorsal da cutícula foram preparadas as lâminas para medição da espessura desta..... 42

**Figura 16.** Hábito gregário de *Goniosoma*. sp. 1 em substrato rochoso na caverna Monges, localizada nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, MG..... 44

**Figura 17.** Hábito gregário de *Mitogoniella indistincta* em substrato rochoso na caverna

Cascalhinho, localizada nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, MG.....	45
<b>Figura 18.</b> <i>Mitogoniella indistincta</i> . A: macho, vista dorsal. B: macho, vista ventral. C: fêmea, vista dorsal. D: fêmea, vista ventral. E: detalhe da perna I. F: detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.....	52
<b>Figura 19.</b> A: macho de <i>Neosadocus</i> sp. 1, vista dorsal. B: macho de <i>Neosadocus</i> sp. 1, vista ventral. C: fêmea de <i>Neosadocus</i> sp. 1, vista dorsal. D: fêmea de <i>Neosadocus</i> sp. 1, vista ventral. E: detalhe da perna I de <i>Neosadocus</i> sp. 1. F: detalhe da perna II de <i>Neosadocus</i> sp. 1. G: vista dorsal de <i>Gagrellinae</i> sp. 1. H: vista ventral de <i>Gagrellinae</i> sp. 1. I: detalhe da perna I de <i>Gagrellinae</i> sp. 1. J: detalhe da perna II de <i>Gagrellinae</i> sp. 1. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes. ....	53
<b>Figura 20.</b> <i>Goniosoma</i> sp. 1. A: fêmea, vista dorsal. B: fêmea, vista ventral. C: macho, vista ventral. D: macho, vista dorsal. E: detalhe da perna I. F: detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.....	54
<b>Figura 21.</b> <i>Longiperna trembao</i> . A: macho vista dorsal. B: macho vista ventral. C: fêmea vista dorsal. D: fêmea, vista ventral. E: detalhe da perna I. F: detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.....	55
<b>Figura 22.</b> A: <i>Pachylinae</i> sp. 1, macho, vista dorsal. B: <i>Pachylinae</i> sp. 1, macho, vista ventral. C: <i>Pachylinae</i> sp, 1, detalhe da perna I. D: <i>Pachylinae</i> sp. 1, detalhe da perna II. E: <i>Pachylinae</i> sp. 2, fêmea, vista dorsal. F: <i>Pachylinae</i> sp. 2, fêmea, vista ventral. G: <i>Pachylinae</i> sp. 2, detalhe da perna I. H: <i>Pachylinae</i> sp. 2, detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.....	56
<b>Figura 23.</b> A: <i>Gonyassamiinae</i> sp. 1, vista dorsal. B: <i>Gonyassamiinae</i> sp. 1, vista ventral. C: <i>Gonyassamiinae</i> sp, 1, detalhe da perna I. D: <i>Gonyassamiinae</i> sp. 1, detalhe da perna II. E: <i>Heteropachylinae</i> sp. 1, fêmea, vista dorsal. F: <i>Heteropachylinae</i> sp. 1, fêmea, vista ventral. G: <i>Heteropachylinae</i> sp. 2, detalhe da perna I. H: <i>Heteropachylinae</i> sp. 2, detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.....	57
<b>Figura 24.</b> Dendrograma funcional construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, Belo Horizonte, Minas Gerais e Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais.....	59
<b>Figura 25.</b> Gráfico da Análise dos Componentes Principais construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, Belo Horizonte, Minas Gerais e Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais. Em preto: H representa os táxons encontrados exclusivamente dentro das cavidades, E representa os animais encontrados exclusivamente nas áreas epígeas, B representa os animais coletados nos dois ambientes. Em vermelho: C = comprimento do corpo. L = largura máxima do corpo. F4 = comprimento do fêmur IV. P2 = comprimento da perna II. EC = espessura da cutícula. MH = microhabitat. CS = secreção química. AG = comportamento gregário. FH = alimentação.....	60

**Figura 26.** Dendrograma funcional construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais..... 61

**Figura 27.** Gráfico da Análise dos Componentes Principais construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais. Em preto: H representa os táxons encontrados exclusivamente dentro das cavidades, B representa os animais coletados nos dois ambientes. Em vermelho: C = comprimento do corpo. L = largura máxima do corpo. F4 = comprimento do fêmur IV. P2 = comprimento da perna II. EC = espessura da cutícula. MH = microhabitat. CS = secreção química. AG = comportamento gregário. FH = alimentação..... 62



## Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Cavernas em litologia ferruginosa selecionadas para amostragem de fauna localizadas no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais, e no Parque Municipal das Mangabeiras, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Para cada cavidade são apresentadas a sua altitude e o número de bases de coleta, com 10m de extensão cada base..... 24
- Tabela 2.** Relação de compostos encontrados em cada grupo químico e sugestão estrutura da molécula de acordo com Rocha et al., 2013. As substâncias de código Q pertencem ao grupo das quinonas, HQ hidroquinonas, C cetonas. Substâncias coletadas em opiliões presentes em cavernas em minério de ferro e ambientes epígeos próximos, nas cidades de Belo Horizonte e Caeté, no estado de Minas Gerais..... 47
- Tabela 3.** Compostos identificados na secreção dos opiliões da área de estudo (Serra da Piedade e Mangabeiras), coletadas de opiliões presentes em cavernas em minério de ferro e ambientes epígeos próximos, nas cidades de Belo Horizonte e Caeté, no estado de Minas Gerais. **Q1** = 2,3-dimetil quinona; **Q2** = 2-etil-3-metil quinona; **Q3** = 2, 3, 5-trimetil quinona; **Q4** = 2-etil-3,5-dimetil quinona; **Q5** = 2,5-dimetil quinona; **Q6** = 2-etil-5-metil quinona; **HQ1** = 2,3 dimetil hidroquinona; **HQ2** = 2-etil-3-metil hidroquinona; **C1** = 4-metilex-1-en-3-ona **C2** = 3-octanona ou isômero; **C3** = 4-metilexan-3-ona ou isômero; **C4** = 4-metileptan-3-ona; **DC1** = dímero da 4-metilex-1-en-3-ona..... 49
- Tabela 4.** Táxons coletados e resultados dos atributos obtidos. C = comprimento do corpo. L = largura máxima do corpo. F4 = comprimento do fêmur 4. P2 = comprimento da perna II. EC = espessura da cutícula. MH = microhabitat. SC = secreção química. AG = comportamento gregário. A = alimentação. E = epígeo. H = hipógeo..... 58

## **1. Introdução**

### **1.1. Ambiente subterrâneo e seu regime evolutivo**

A definição de ambiente subterrâneo abrange uma série de habitats, frequentemente conectados entre si, abaixo da superfície terrestre. Processos de intemperismo, desmoronamentos de rochas e resfriamento de lava vulcânica podem originar essa rede de canais, fissuras, bolsões e cavernas em diferentes tipos de rocha, porém as formações mais comuns resultam da dissolução química de rochas calcárias pela água acidificada. Em cada processo de gênese têm origem habitats com características únicas que resultam principalmente do tipo de rocha em que se formaram e das condições ambientais do meio epígeo, isto é, se é úmido, seco, coberto por solo ou por vegetação (Juberthie, 2000).

Considera-se hipógeo o meio subterrâneo, composto pelos diversos espaços do subsolo, conectados entre si, resultando em redes de espaços heterogêneos, preenchidos por água ou ar (Trajano e Bichuette, 2006). Estes mesmos autores definem o meio epígeo, como o meio superficial, com sua vegetação, corpos da água e demais elementos da paisagem.

A despeito das peculiaridades de cada tipo de habitat subterrâneo, pode-se dizer que a ausência de energia luminosa é uma característica importante, ocasionando, na maioria das vezes, a dependência de recursos alimentares importados de ecossistemas adjacentes (Langecker, 2000). Por essa e outras particularidades do meio, nem todos os táxons epígeos conseguem efetivamente colonizar e estabelecer populações no meio hipógeo, bem como existem espécies que são exclusivamente subterrâneas, exibindo especializações relacionadas a esse regime evolutivo (Barr, 1968).

Em cavernas, isto é, nos espaços com maiores dimensões, acessíveis ao ser humano (Juberthie, 2000), há gradientes de luz natural, desde a zona fótica (próximo às entradas das cavernas) até a completa ausência de luz (zona afótica). Havendo pouca ou nenhuma luminosidade, a capacidade de orientação não visual, entre outros estados de caracteres, é um dos atributos importantes neste ambiente (Poulson, 1969; Langecker, 2000). Devido à dependência do aporte de recursos alóctones, a oferta de recursos alimentares frequentemente é escassa, principalmente em cavernas localizadas em regiões de clima temperado (Engel, 2007). Nessas cavidades as teias alimentares, baseadas em detritos, possuem menor número de elos e os predadores muito especializados geralmente não ocorrem ou são eliminados por conta de filtros ambientais (Gibert e Deharveng, 2002).

Já as cavernas localizadas em regiões de clima tropical podem ter um aporte de material alóctone (Trajano e Bichuette, 2006; Culver e Pipan, 2009) suficiente para que não haja uma escassez de material orgânico (Paula et al., 2016). Essa matéria orgânica desempenha um importante papel na base da estruturação trófica cavernícola (Paula et al., 2020). Nos ambientes em minério de ferro, por exemplo, há a presença de canalículos que permitem passagem de detritos carreados por ar ou água e raízes vivas que chegam ao interior dessas cavidades (Bichuette et al., 2015).

Classificar os organismos do ambiente subterrâneo em bases ecológico-evolutivas é uma questão central no aspecto da biologia subterrânea, visto que sua interpretação fornece respostas e serve como ponto de partida para diversas questões a respeito do tema (Trajano e Carvalho, 2017). Diversas propostas buscam categorizar os organismos que, de alguma forma, habitam o meio subterrâneo. Nesse aspecto, Schiner (1854) complementado depois por Racovitza (1907), com uma abordagem ecológico-evolutiva, propõem uma classificação baseada na existência ou não de populações de tais organismos também no meio epígeo e no grau de especialização que eles possam apresentar ao meio hipógeo. Apesar da proposta inicial se mostrar ainda muito utilizada e até mesmo bem estabelecida, outros autores também apresentaram classificações com algumas modificações, como Barr (1968), Thines e Tercafs (1972), Holsinger e Culver (1988), Sket (2008) e Trajano (2012) que adaptou as categorias numa proposta de modelo de populações fonte-sumidouro.

**Trogloxenos:** são organismos que utilizam o ambiente hipógeo, mas que periodicamente buscam o ambiente epígeo para alguma atividade necessária para completar seus ciclos de vida. Os morcegos são exemplos clássicos de troglóxenos, pois passam a fase diurna dentro de cavidades e, na fase noturna saem para se alimentar. Ainda, há exemplos de opiliões nessa categoria, como *Mitogoniella taquara* Da Silva e Gnaspini, 2010 e *Serracutisoma spelaeum* (Melo-Leitão, 1933) (Ázara e Ferreira, 2018).

**Troglófilos:** são organismos que podem estabelecer populações tanto no meio epígeo quanto no meio hipógeo e completar todo seu ciclo de vida em um desses ambientes. São também chamados de cavernícolas facultativos. *Daguerreia inermis* Soares & Soares, 1947, *Pararezendesius luridus* H. Soares, 1972, (Ázara e Ferreira, 2018) são exemplos de opiliões nesta categoria.

**Troglóbios:** representam o grupo de organismos que vivem todo seu ciclo de vida obrigatoriamente no ambiente hipógeo. Possuem especializações e/ou adaptações para a vida no meio subterrâneo. Não são encontradas populações dos representantes desse grupo em ambiente epígeo. *Iandumoema setimapocu* Hara & Pinto-da-Rocha, 2008, *Giupponia chagasi*

Pérez-González & Kury, 2002, *Iandumoema uai* Pinto-da-Rocha, 1997, *Discocyrtus pedrosoi* Kury, 2008, *Eusarcus elinae* Kury, 2008, *Iandumoema smeagol* Pinto-da-Rocha et al., 2015, *Spinopilar moria* Kury & Pérez-González, 2008, *Gonyocranaus pluto* Bragagnolo et al., 2015, *Spaeleoleptes spaeleus* H. Soares, 1966, *Relictopiolus galadriel* Pérez- González et al., 2017, (Ázara e Ferreira, 2018) são exemplos de opiliões nesta categoria.

## 1.2. Cavernas em minério de ferro

Formações ferruginosas são aquelas que ocorrem em rochas ricas em minério de ferro. No Brasil, essas formações frequentemente estão cobertas por uma camada endurecida conhecida como canga, originária da rocha rica em ferro cimentada por uma matriz ferruginosa que dificulta o intemperismo da rocha subjacente. Nesse sentido, cavernas em minério de ferro podem estar entre as estruturas expostas mais antigas da superfície (Auler et al. 2019). Mais recentemente, no entanto, alguns estudos têm relacionado a formação da canga à atividade microbiana, o que poderia fornecer um mecanismo alternativo para a espeleogênese e reduzir o tempo de formação das mesmas (Levett et al., 2016). Por serem localizadas mais superficialmente, acima da zona freática, as cavernas em minério de ferro são, em sua maioria, desprovidas de cursos d'água, porém com bastante influência da umidade externa. Seus padrões de desenvolvimento são bem diferentes dos padrões conhecidos para cavernas calcárias, sendo as cavernas ferruginosas, em geral, são menores em desenvolvimento linear (Piló et al., 2015), com paredes e teto irregulares e com muitas conexões com o solo superficial, conseqüentemente, com bastante influência do meio superficial nesses habitats (Auler et al., 2019).

Acreditava-se que essa litologia tinha pouco potencial para a formação de cavernas. Devido ao seu tamanho reduzido e por serem inconspícuas, seu estudo foi negligenciado por décadas. A obrigatoriedade de estudos a respeito de tais cavidades para o licenciamento ambiental em 2008, teve como consequência a noção de quão abundantes e ricas essas cavidades podem ser em algumas regiões (Piló et al., 2015; Auler et al., 2019). Devido a serem estudadas mais recentemente, há poucos estudos sobre biologia subterrânea em cavernas nessa litologia (e.g. Bichuette et al., 2015; Ferreira et al., 2015; Asenjo et al., 2018; Ferreira et al., 2018; Bernardi et al., 2019; Castro-Souza et al., 2019; Gomes et al., 2019; Oliveira et al., 2019).

Como mencionado anteriormente, cavernas em minério de ferro diferem das cavernas em litologia calcária, por exemplo, por possuírem uma série de canalículos interligando

diversos microhabitats, a presença de muitas raízes que chegam até o interior destas, constituindo um importante recurso para a fauna aí estabelecida, elevada umidade e, geralmente, o contato com os componentes do solo (Bichuette et al., 2015). Essas peculiaridades dos ambientes subterrâneos em minério de ferro contribuem para uma fauna bastante diferenciada e rica, mesmo em cavidades de pequeno desenvolvimento linear. No Brasil, estas cavidades estão presentes em áreas denominadas geossistemas ferruginosos, principalmente nos estados do Pará e Minas Gerais (Carmo e Kamino, 2015), compondo 14% do total brasileiro, 2.772 cavidades cadastradas no país até o ano de 2020 (ICMBIO/CECAV).

### **1.3. Opiliões e cavernas**

A Ordem Opiliones possui cerca de 6.500 espécies e é a terceira ordem mais diversa de aracnídeos, após Acari e Araneae (Kury et al., 2015). São desde detritívoros até predadores generalistas, com preferências alimentares para alguns grupos. Em geral, as dimensões corpóreas influenciam no tamanho das presas capturadas, uma vez que eles não possuem nenhum tipo de peçonha e imobilizam-nas utilizando seus pedipalpos e quelíceras (Acosta e Machado, 2007).

Costumam defender-se utilizando substâncias químicas aversivas sintetizadas em glândulas denominadas ozóporos ou glândulas repugnantes. Essas glândulas abrem-se em pares na região ântero-lateral, por onde o líquido é liberado em caso de necessidade. Alguns autores aventam a possibilidade de que tais substâncias tenham papel na comunicação entre indivíduos (e. g., Gnaspini e Hara, 2007).

A cutícula constitui, dentre outras coisas, a proteção dos opiliões contra a dessecação. Todd (1949) estabeleceu a umidade relativa do ar como um fator abiótico importante para entender a distribuição e uso de habitats pelos opiliões. Eles são suscetíveis à desidratação e associados a microhabitats úmidos (Acosta e Machado, 2007).

A grande maioria dos opiliões deixa os seus microhabitats para forragear somente no período noturno (Edgar, 1990), o que representa um estado de caráter que favorece a colonização de habitats subterrâneos por estes animais. Consequentemente, opiliões são comumente encontrados em cavernas. No Brasil, 15 espécies troglóbias de opiliões já foram ou estão sendo descritas, mas esse número certamente é maior (Willemart e Taques, 2013; Pérez-González et al., 2017).

#### 1.4. Diversidade funcional

O conceito de diversidade funcional é similar ao de nicho ecológico, ou seja, refere-se ao valor e à amplitude de variação de características fenotípicas das espécies que influenciam processos da comunidade – os atributos funcionais (Tilman, 2001). Assim sendo, é possível compreender se as espécies são redundantes ou complementares quanto a estes atributos funcionais. Quanto mais complementares funcionalmente forem as espécies de uma comunidade, maior a eficiência na exploração dos recursos. Em contrapartida, mais frágeis os processos dessa comunidade serão à perda de espécies (Petchey e Gaston, 2006).

Dizemos que as espécies são funcionalmente redundantes quando vivem e interagem com o ambiente de forma semelhante ecologicamente. Nessa situação, os filtros ambientais são atuantes (Petchey e Gaston, 2002).

De forma inversa, quando se observa maiores diferenças nos atributos funcionais das espécies, maior é a sua complementaridade, o que resulta em uma maior diversidade funcional (Petchey e Gaston, 2002).

De modo análogo à diversidade de espécies, a diversidade funcional pode ser descrita com base no valor, na variação e na distribuição dos atributos em uma assembleia (Mason et al., 2005). Existem diversos índices que podem ser utilizados com essa finalidade, dos quais os mais vantajosos são os que permitem o cálculo diretamente dos caracteres das espécies e que são multivariados (e. g. Cianciaruso, Silva e Batalha, 2009; Song et al., 2014).

Utilizamos no presente estudo uma medida multivariada de riqueza funcional conhecida por FD (Petchey e Gaston, 2002, 2006), baseada na soma do comprimento dos ramos de um dendrograma funcional construído com base nos atributos funcionais das espécies de uma assembleia. Quanto mais funcionalmente distintas as espécies que compõem uma comunidade em relação aos seus atributos, maior o valor de FD. Este método não é afetado pela riqueza de espécies, porém requer um modelo nulo para testes de significância.

Se os fatores abióticos funcionarem como filtros ambientais, eliminando espécies cujos atributos não permitem sua sobrevivência naquele regime evolutivo, teremos espécies funcionalmente mais similares entre si (Keddy, 1992) isto é, mais redundantes.

A FD pode ser aplicada à conservação ao fornecer informações sobre os organismos estudados e suas funções ecológicas. Um local com uma diversidade funcional alta pode sofrer mais severamente impactos ambientais, uma vez que quando temos uma gama de nichos muito elevada, alguma espécie perdida pode deixar de realizar uma função que não será realizada por outros organismos. Essa diversidade funcional mais alta pode ser indicativo

de ambientes mais ricos em funções e mais sensíveis do ponto de vista da remoção de espécies. Já quando há uma diversidade funcional menor, as espécies, ao exercerem papéis mais redundantes, podem substituir umas às outras, no que diz respeito às funções ecossistêmicas.

Estudos já realizados em ambientes subterrâneos mostraram que esses ambientes não foram filtros ambientais para táxons detritívoros ou consumidores primários, devido à diferenciação de nichos por competição. Esse processo foi ainda mais evidente quando o ambiente fora das cavernas era mais seco e menos rico em microhabitats adequados (Fišer et al., 2012, Fernandes et al., 2016). Em contraste, ambientes subterrâneos foram filtro para os táxons de predadores, em que várias estratégias de captura são ineficientes nesses ambientes, sendo que a competição teve menor importância do que a disponibilidade e diversidade dos invertebrados (Cardoso, 2012, Gallão, 2017).

Uma vez que a análise de diversidade funcional não é atrelada à identificação exata das espécies estudadas e pode ser feita utilizando-se unidades taxonômicas operacionais ela se mostra uma ferramenta interessante para avaliações ecossistêmicas que de outra forma poderiam ser prejudicadas devido à impedimento taxonômico.

Através da medição de diferentes atributos pode-se mensurar a diversidade de papéis ecológicos de uma comunidade. Os atributos morfológicos, por exemplo, representam importantes características da interação do organismo com seu ecossistema. O tamanho do corpo relaciona-se com outros atributos da história de vida (Ellens e Jervis, 2003) e apresenta influência intrínseca na estrutura e função nas redes ecológicas (Woodward et al., 2005).

A pergunta central do presente trabalho é se a riqueza funcional de opiliões na região do Quadrilátero Ferrífero é maior dentro ou fora das cavernas. Pelas especificidades dos habitats subterrâneos ferruginosos, como a presença de raízes vivas e uma rede de canálculos de milímetros a centímetros, há a possibilidade de uma diversidade grande de microhabitats e de elevado aporte alóctone de recursos.

## **2. Objetivos do trabalho**

### **Gerais**

Estimar a diversidade funcional da opilionofauna em uma região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.

### **Específicos**

Verificar a ocorrência de opiliões em campos rupestres ferruginosos de altitude (epígeos);  
 Caracterizar os diferentes grupos funcionais de opiliões nos ambientes epígeos e hipógeos;  
 Verificar se as cavernas presentes em formações ferríferas funcionam como filtros ambientais para Opiliones na área estudada.

### **Hipóteses**

Levando em consideração que há opiliões predadores e detritívoros e que cavidades ferruginosas apresentam grande disponibilidade de microhabitats, aventamos as seguintes hipóteses:

H0 - Cavidades em litologia ferruginosa não representam filtros ambientais para opiliões.

H1- Cavidades em litologia ferruginosa representam filtros ambientais para opiliões.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1 Descrição das áreas de estudo**

O Monumento Natural da Serra da Piedade, localizado na parte setentrional do Quadrilátero Ferrífero, abrange os limites dos municípios de Caeté e Sabará, Minas Gerais (Figura 1). A área atualmente está protegida da ação de empresas mineradoras, pois é tombada tanto pelo patrimônio histórico (IPHAN), como pelo ambiental (IEF).

O clima da região é tropical semi-úmido e tropical de altitude, nas regiões mais elevadas. A média de temperatura no mês mais frio é de 18°C e de 22°C no mês mais quente, embora a média anual na parte mais alta da Serra seja de 16°C (Vianello e Maia, 1986). Observa-se também a ocorrência de chuvas orográficas, principalmente na vertente sul, devido à barreira montanhosa da Serra. A vegetação apresenta áreas de florestas mais fechadas, remanescentes de Floresta Atlântica que ficam localizadas nas menores altitudes e áreas de campos rupestres (Pereira et al., 2012).

As cavernas da Serra da Piedade podem ser classificadas conforme sua gênese: cavidades em tálus, e cavidades com evidências cársticas e sem evidências cársticas.

As cavidades em tálus são formadas por quedas de blocos de rocha que se desprendem da rocha matriz e encontram-se encostados ou empilhados, sendo as cavidades formadas nos espaços entre esses blocos (Palmer, 2007). Já as cavernas com feições cársticas indicam



processos de dissolução de rochas (Piló e Auler, 2005), com sinais de erosão química por água acidificada. Localmente, encontram-se nas bordas dos platôs ou nas bordas das capas de canga. Essas cavidades sofrem processos de formação semelhantes aos encontrados em rochas carbonáticas, como dissolução diferenciada, erosão por percolação e escoamento de água. A maior caverna da região, a Gruta da Piedade, é um exemplo de caverna em que ambos os processos de gênese foram atuantes: cavernas sem evidências de dissolução química, embora formadas nas fraturas da canga.

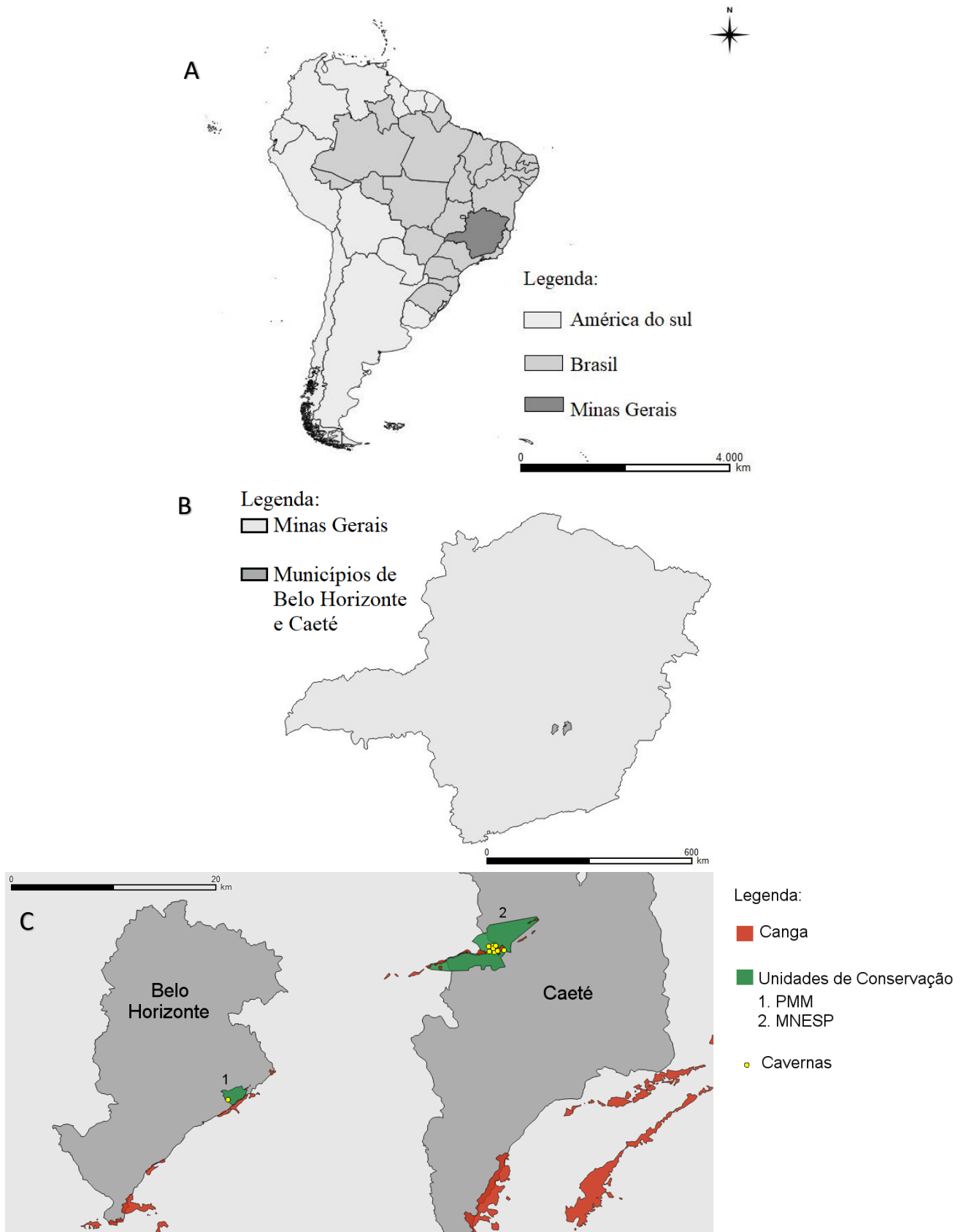
As cavernas selecionadas (Tabela 1) para o trabalho estão localizadas nas áreas de maior altitude e rodeadas por campos rupestres ferruginosos ou em áreas do local com fratura da canga onde há a transição do campo rupestre para a o início de uma mata atlântica mais fechada, cuja densidade vegetal aumenta conforme decresce a altitude.

**Tabela 1.** Cavernas em litologia ferruginosa selecionadas para amostragem de fauna localizadas no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais, e no Parque Municipal das Mangabeiras, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Para cada cavidade são apresentadas a sua altitude e o número de bases de coleta, com 10m de extensão cada base.

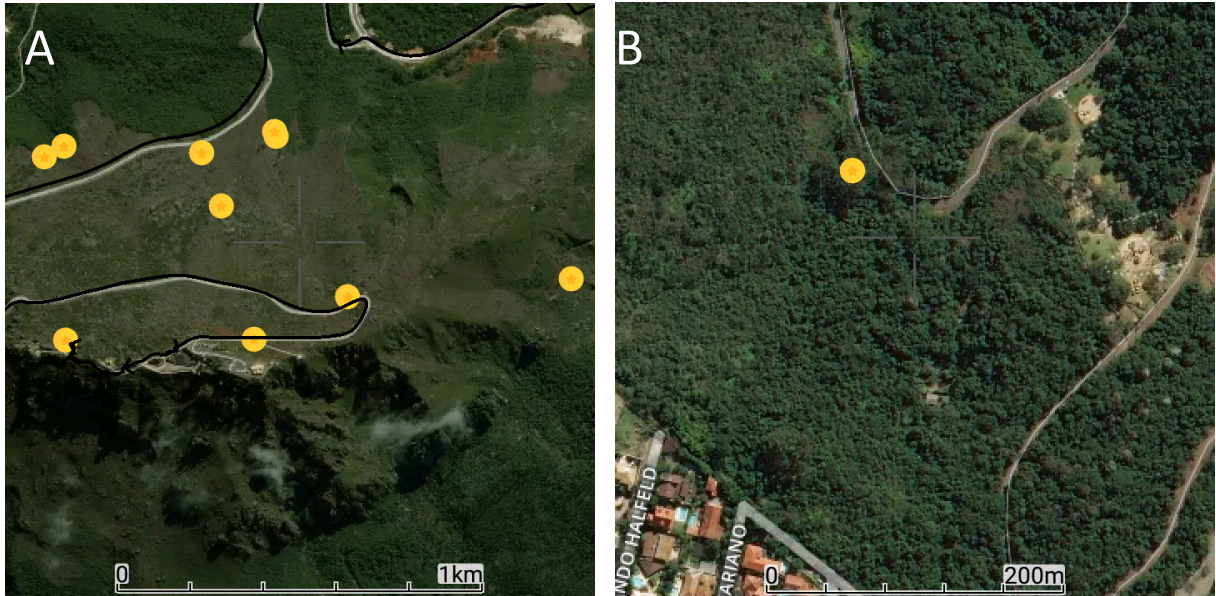
Cavidades em Caeté-MG	Altitude (metros)	Número de bases de coleta
Gruta Placa Azul	1.695	1
Gruta do Eremita	1.683	1
Gruta Da Estrada	1.641	1
Gruta Piedade	1.500	5
Gruta dos Monges	1.448	2
Gruta Cascalhinho	1.435	2
Gruta Macumba	1.435	2
Gruta dos Romeiros	1.422	1
Gruta do Chuveirinho	1.415	3
Gruta do Triângulo	1.388	5

Cavidades em Belo Horizonte - MG		
Mangabeiras I	1170	2
Mangabeiras III (Paleotoca)	1170	1

O Parque Municipal das Mangabeiras foi criado em 1966 e localiza-se em Belo Horizonte, Minas Gerais, na encosta Serra do Curral, a uma altitude de 1.000 a 1.400 metros. Possui 240 ha de área e 59 nascentes que formam o Córrego de Serra, o qual faz parte da Bacia do Rio São Francisco. A vegetação local é de Cerrado nas áreas de maior altitude, onde os solos são mais rasos e pobres em nutrientes, e de Floresta Atlântica nos vales e encostas próximas, onde os solos são mais profundos e ricos em nutrientes. As duas cavidades (Tabela 1) selecionadas nesse Parque para estudos no presente trabalho apresentam características cársticas. Gruta Mangabeiras I é uma pequena cavidade pouco mais de 10m de desenvolvimento. A Gruta Mangabeiras III é uma Paleotoca, e apresenta diferenças em sua morfologia devido a tal fato, além da presença de icnofósseis constituídos pelas impressões nas paredes da cavidade de marcas feitas pelas garras de animais representantes de megafauna e um desenvolvimento interno que segue uma inclinação inversa em relação às demais cavidades formadas na canga (Faria et al., 2019). As duas cavernas estão em uma área de Floresta Atlântica, inseridas em meio a vegetação.



**Figura 1.** A: mapa do continente Sul - Americano, destacando o Brasil e o estado de Minas Gerais. B: o estado de Minas Gerais, com destaque para os municípios de Belo Horizonte e Caeté. C: mapa dos municípios de Belo Horizonte e Caeté, com destaque para as Unidades de Conservação onde estão inseridas as cavernas. PMM = Parque Municipal das Mangabeiras e MNESP = Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade.



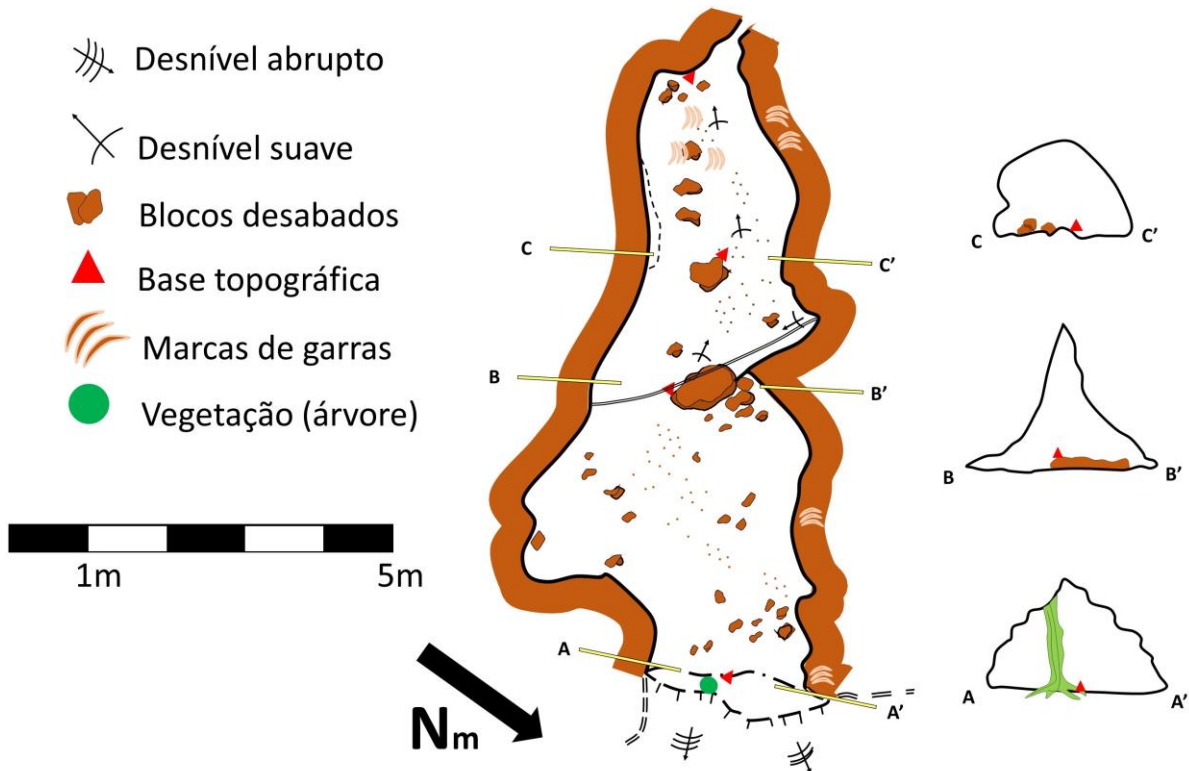
**Figura 2.** A: Destaque das cavernas inseridas na área do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. B: Destaque do ponto onde se localizam, muito próximas, as duas cavidades inseridas na área do Parque Municipal das Mangabeiras, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais.

### 3.2 Amostragens

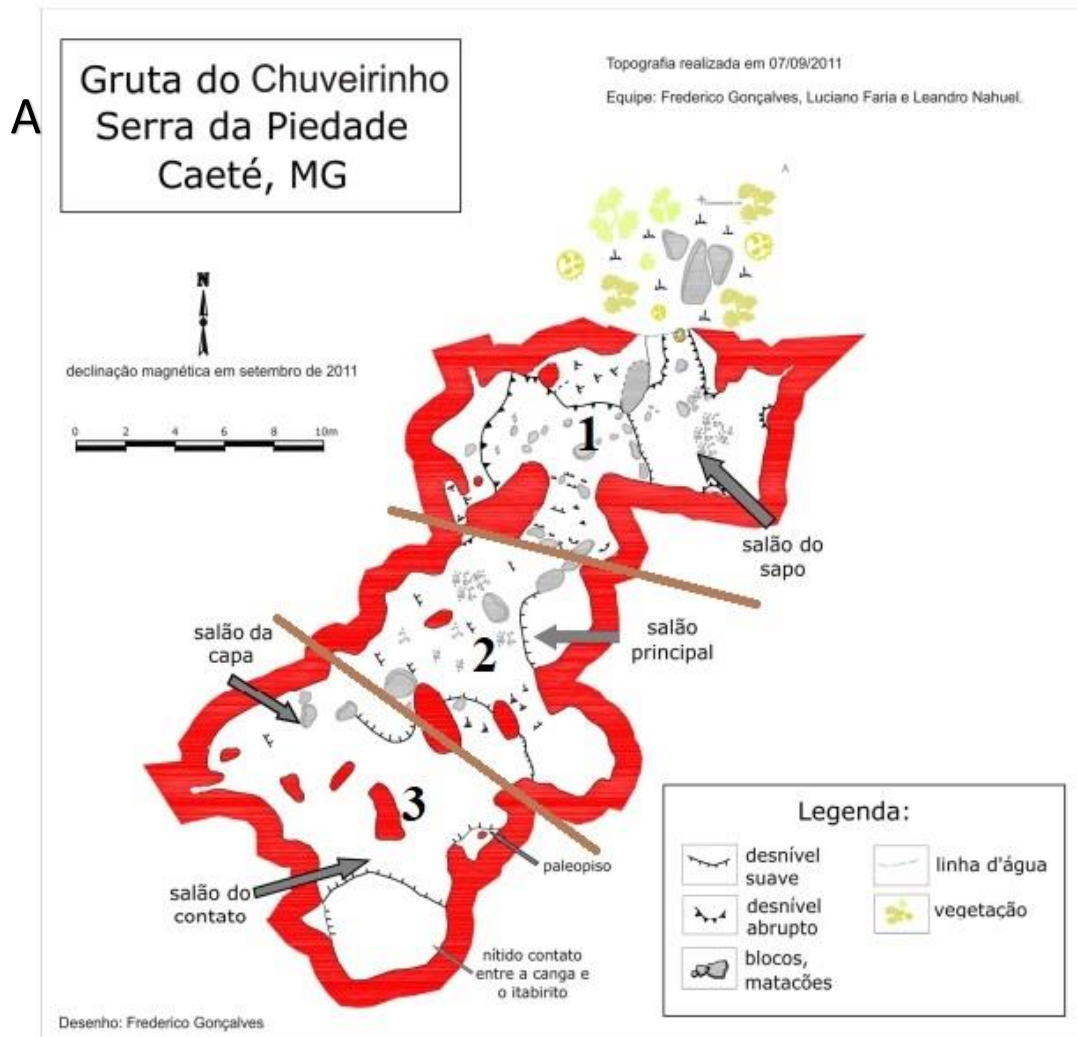
Selecionamos um total de 12 cavidades (Figuras 2 a 12) em minério de ferro nas duas regiões (Tabela 1), com base na viabilidade de acesso, nas características geológicas de interesse e, por fim, na presença das espécies-alvo do estudo. Duas cavidades estão localizadas no Parque Municipal das Mangabeiras, em uma área de mata atlântica, e dez estão inseridas na Serra da Piedade, em uma região de campo rupestre ferruginoso. (Figura 12).

### A GRUTA PARQUE DAS MANGABEIRAS III

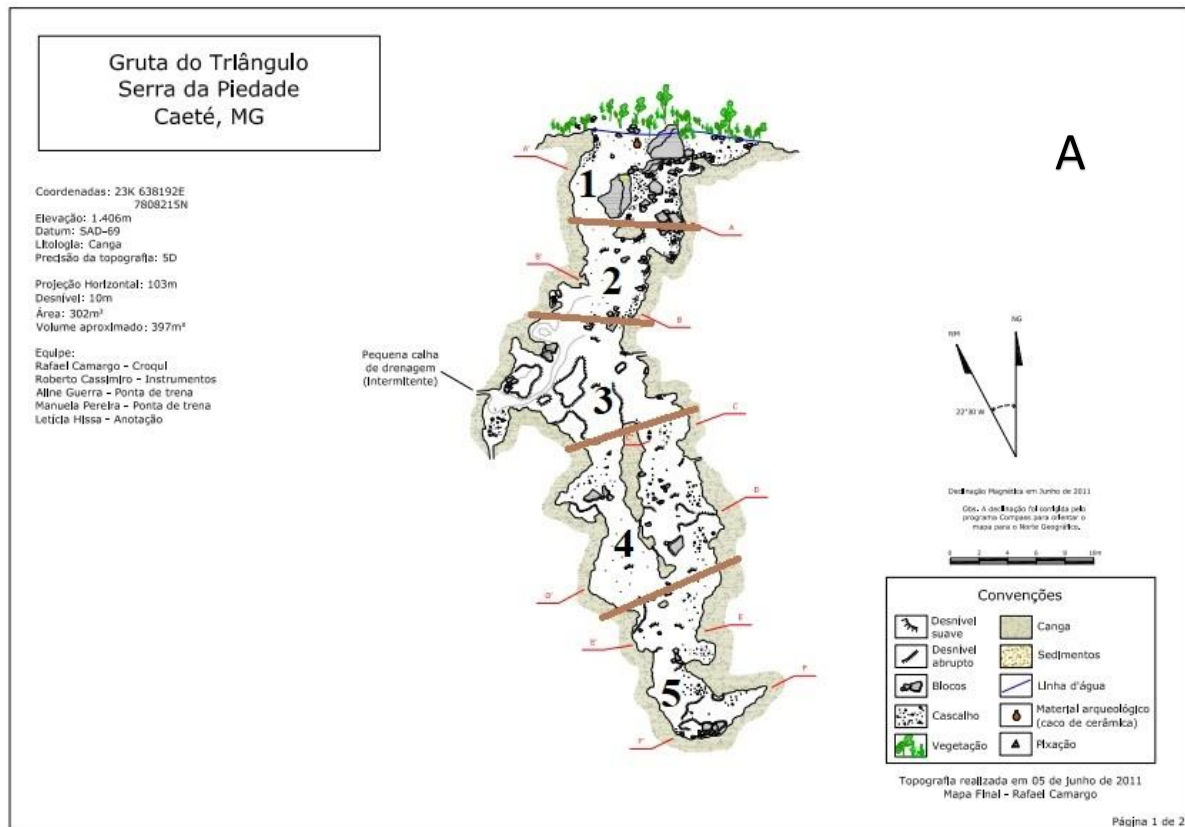
Equipe: Edson A. Martins, Nathas V. M. das Silva, Bruno S. Melo, Luciano E. Far  
PH: 8,71m; Topo-grau: BCRA 4C



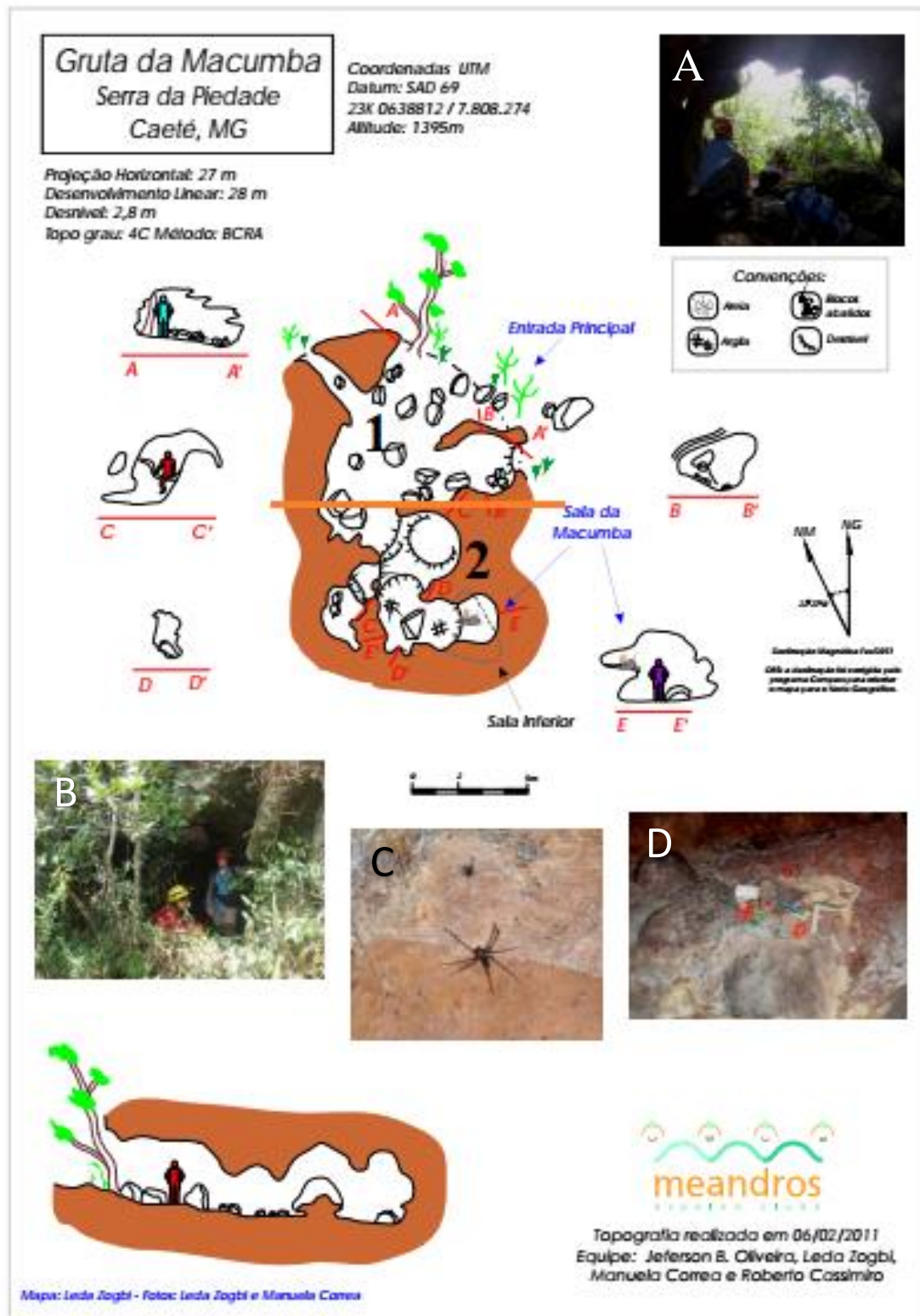
**Figura 3.** A: Mapa em planta baixa da gruta Mangabeiras III (Paleotoca), inserida nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Nesta cavidade há apenas uma base de coleta que contempla toda sua extensão. B: Foto da entrada cavidade.



**Figura 4.** A: Mapa em planta baixa da gruta Chuveirinho, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta cavidade foram delimitadas três bases de coleta. B: Entrada da caverna Chuveirinho, em Caeté – MG. Foto de Luciano Emerich Faria. C: Coleta de artrópodes no interior da caverna Chuveirinho, em Caeté-MG. Foto de Jussara Diniz.

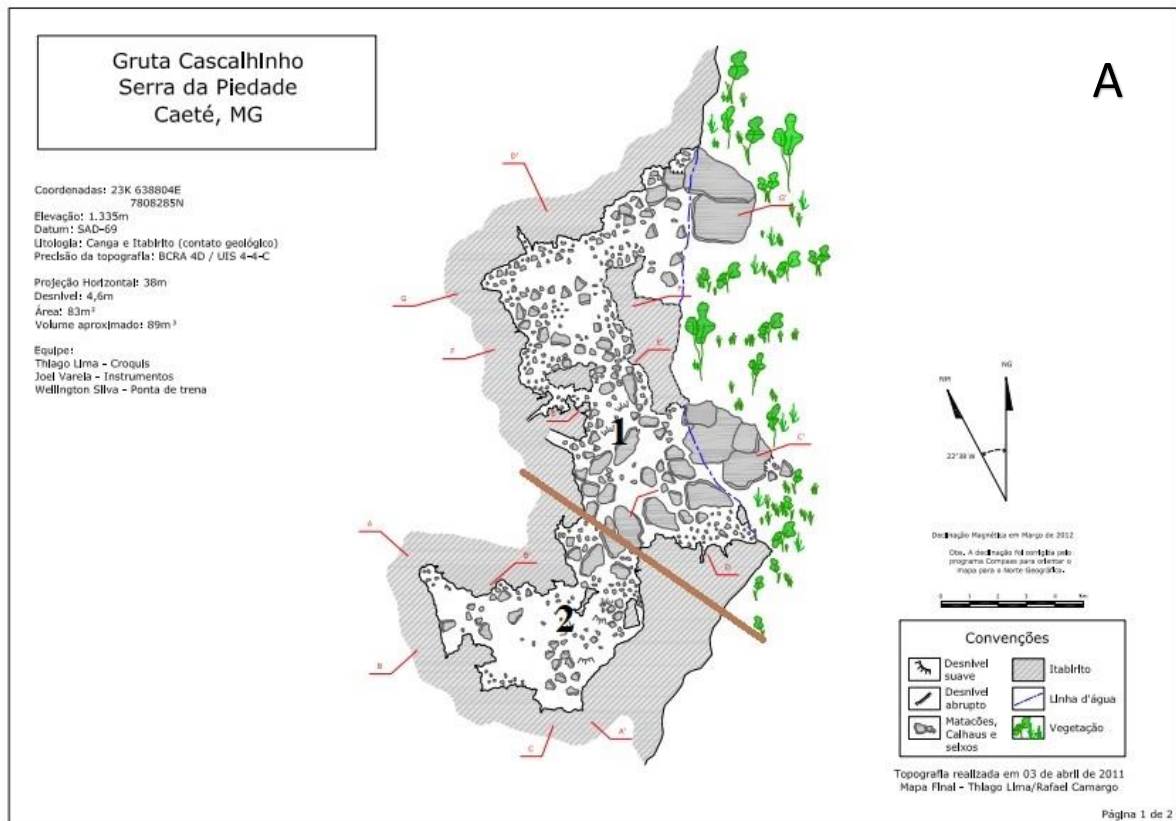


**Figura 5.** A: Mapa em planta baixa da gruta Triângulo, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta caverna foram delimitadas cinco bases de coleta. B: trilha no campo rupestre ferruginoso para as cavernas Triângulo e Chuveirinho, inseridas nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no Município de Caeté, Minas Gerais.

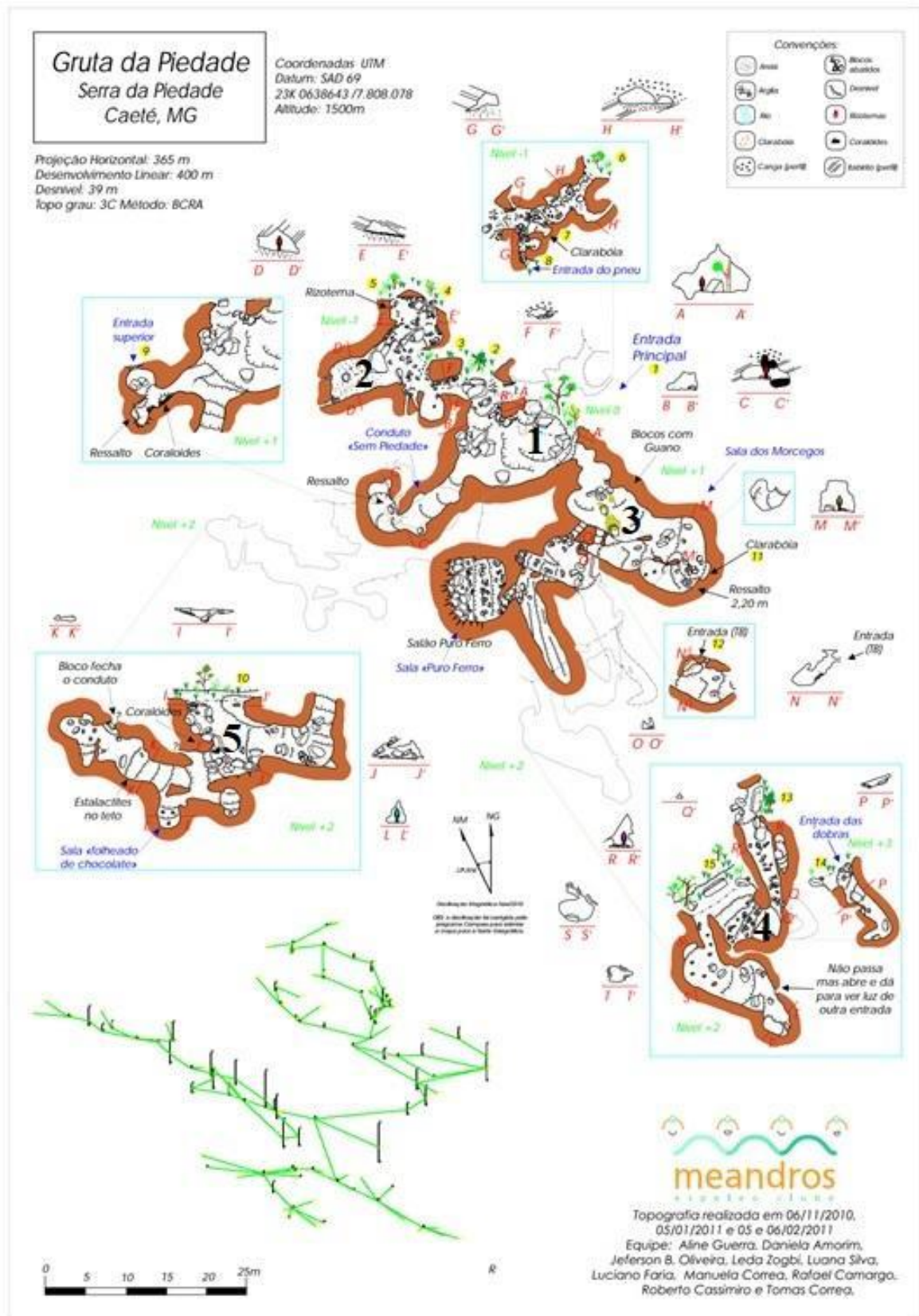


**Figura 6.** Mapa da gruta Macumba, localizada no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. A: entrada principal da cavidade, vista do interior da caverna. B: entrada principal da cavidade, vista do exterior da caverna. C: exemplar da fauna local (aranha). D: artefatos de caráter religioso deixados na Sala da Macumba, no interior da cavidade. Nesta caverna foram delimitadas duas bases de coleta.

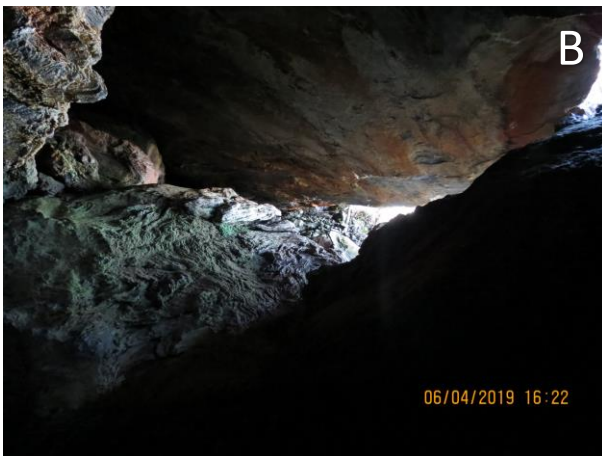




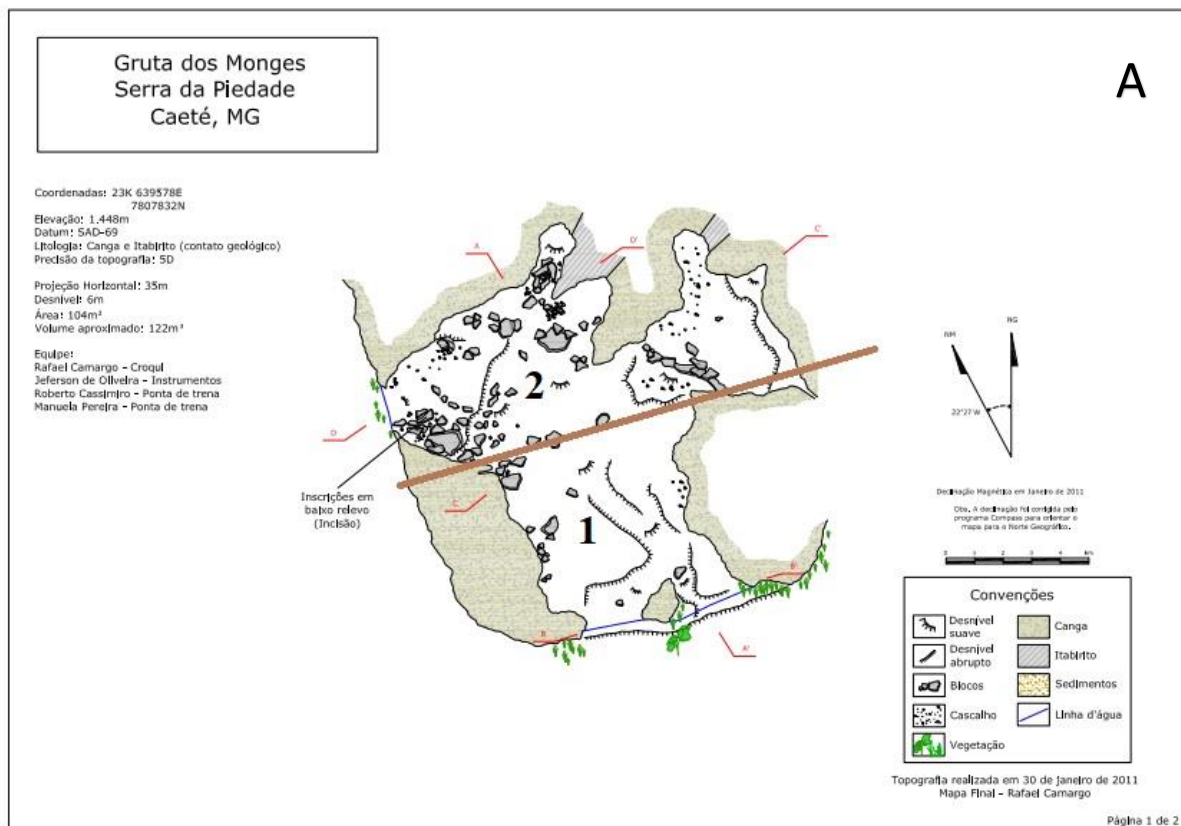
**Figura 7.** Mapa em planta baixa da gruta Cascalinho, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta caverna foram delimitadas duas bases de coleta. B: exemplares da insetos, da ordem Orthoptera, subordem Ensifera, na caverna Cascalinho, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Foto de Márcio Bolfarini.



**Figura 8.** Mapa em planta baixa da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta cavidade foram delimitadas cinco bases de coleta.

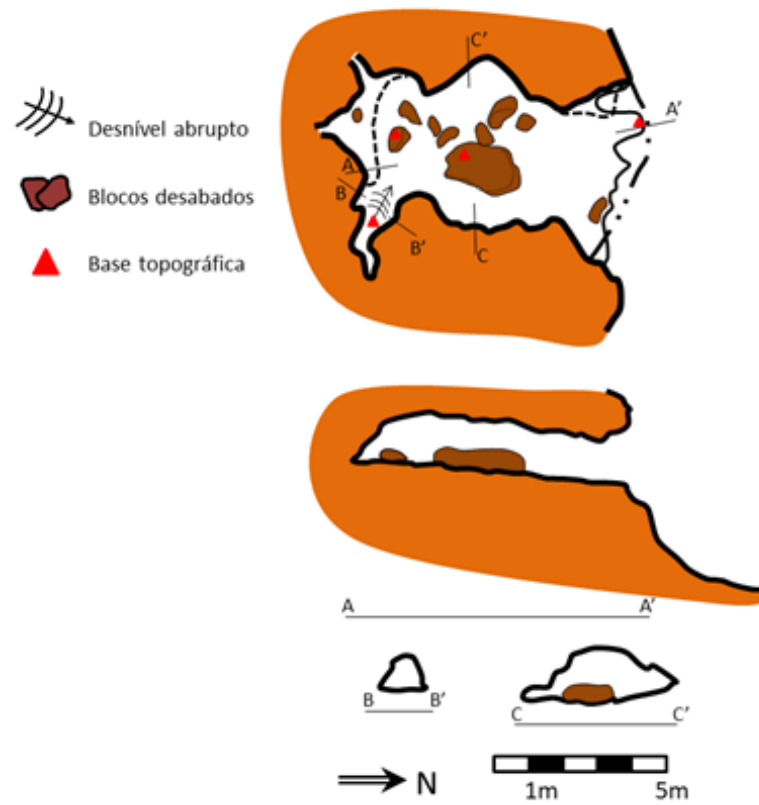


**Figura 9.** A: entrada de maior dimensão da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais. B: vista do interior da cavidade de uma das entradas da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais. C: coleta de artrópodes no interior da gruta Piedade, localizada no Monumento Natural da Serra da Piedade, localizada no município de Caeté, Minas Gerais.



**Figura 10.** A: mapa em planta baixa da gruta Monges, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta caverna foram delimitadas duas bases de coleta. B: Opilião *Mitogoniella insdistincta* Mello-Leitão, 1936, no teto da gruta Monges. C: Coleta de artrópodes no interior da gruta Monges. Foto de Márcio Bolfarini. D: entrada da gruta Monges, vista de dentro da cavidade. Foto de Marcelo Augusto da Silva.

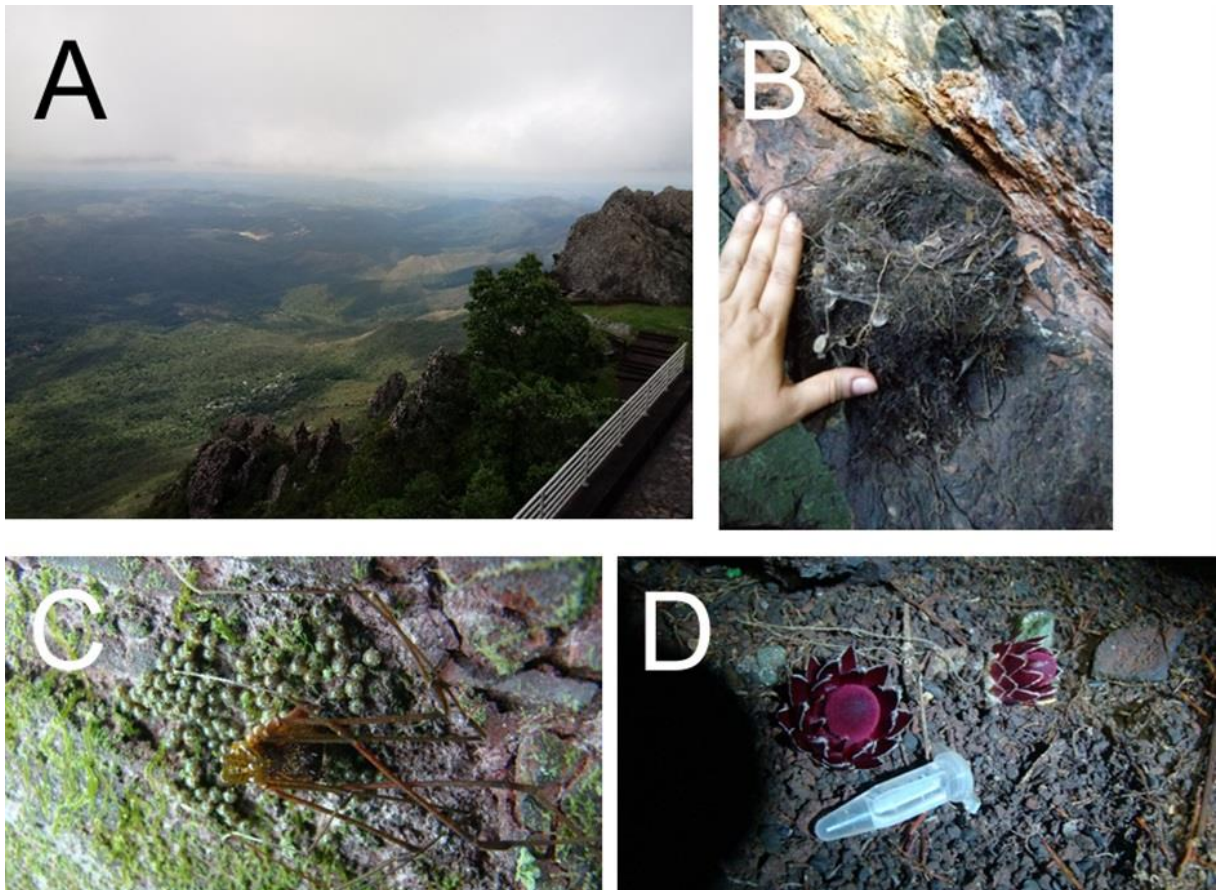
**A** GRUTA DA PLACA AZUL: SERRA DA PIEDADE, CAETÉ – MG.  
 Equipe: José Roberto Cassimiro e Luciano E. Faria  
 PH: 7,5m; Topo-grau: BCRA 4C



**Figura 11.** A: mapa em planta baixa da gruta Placa Azul, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Nesta cavidade há apenas uma base de coleta que engloba toda área da cavidade. B: entrada da gruta Placa Azul, inserida nos limites do Monumento Natural da Serra da Piedade, no município de Caeté, Minas Gerais. Foto de Márcio Bolfarini. C: exemplar de opilião *Neosadocus* sp. 1, na região parietal da gruta Placa Azul.

Dividimos as cavernas em setores de dez metros a partir da entrada. Cada trecho corresponde a uma base com o esforço amostral padronizado em 15 minutos por base. Além de padronizar o esforço amostral, este procedimento auxilia na identificação dos microhabitats onde as espécies foram encontradas. O registro de campo incluiu a tomada de medidas de parâmetros ambientais a cada base, bem como o tipo de substrato, o trecho onde cada organismo foi encontrado, e quaisquer comportamentos observados no momento da sua captura (alimentação, predação, limpeza, agregação).

Também efetuamos coletas no ambiente epígeo, utilizando-se a metodologia de transecções (Krebs, 1989; 2003), com tempo de busca ativa padronizado em 15 minutos para que o esforço amostral fosse semelhante em todas as campanhas de campo. Essas amostragens foram feitas a partir do crepúsculo vespertino (quando os opiliões deixam seus microhabitats para forragear), por meio de busca ativa a até 30 metros no entorno das entradas das cavidades. Eutanasiamos e fixamos os artrópodes amostrados em álcool 70%. Posteriormente, esses indivíduos foram morfotipados e identificados até o nível taxonômico menos inclusivo possível, com o auxílio de microscópio estereoscópico e de chaves de identificação (Rafael et al., 2012; Pinto-da-Rocha et al. 2007., Pinto-da-Rocha et al., 2007., Baccaro et al., 2015).



**Figura 12.** A- Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade: vista geral do campo rupestre ferruginoso. B- Exemplo de material orgânico encontrado nas cavidades: ninho de ave no interior da caverna Romeiros. C- Fêmea de *Mitogoniella insdistincta* Mello-Leitão, 1936 em cuidado parental, sobre os ovos, no teto da caverna Placa Azul. Nota-se a rocha coberta por briófitas. D- Flores de *Langsdorffia hypogaea* Mart. encontradas na zona de entrada da caverna Macumba. Caeté-Minas Gerais.

Exemplares vivos dos opiliões foram trazidos ao laboratório para o estudo dos atributos químicos. Para tal, foram acondicionados em caixas térmicas para o transporte, com substrato de origem e umidade mantida elevada com adição de papel absorvente umedecido. Em laboratório foram mantidos em condições semelhantes, individualizados, em sala climatizada e escura. A umidade do terrário era mantida através da aspersão de água no substrato e a alimentação era oferecida duas vezes por semana com a utilização de ração floculada para peixes de composição mista (tanto elementos de origem animal quanto vegetal).

Realizamos cinco campanhas de amostragem: julho, outubro, e dezembro 2018, abril e setembro de 2019.

### 3.3 Seleção dos atributos funcionais

Buscamos relacionar a escolha dos atributos dos organismos com o maior número possível de descritores de seu nicho ecológico, englobando o desempenho do organismo frente às condições ambientais e aos processos ecossistêmicos (Moretti et al., 2017).

Escolhemos os atributos funcionais, conforme detalhados a seguir:

**Atributos quantitativos:** **1.** Comprimento do corpo da base dos pedipalpos até a extremidade posterior do cefalotórax (escudo dorsal); **2.** Largura máxima corpórea (na altura das coxas IV); **3.** Comprimento do fêmur IV; **4.** Comprimento da perna II; **5.** Espessura da cutícula; **Atributos qualitativos:** **6.** Microhabitat; **7.** Secreção química; **8.** Agregação; **9.** Alimentação.

### 3.4. Atributos morfológicos

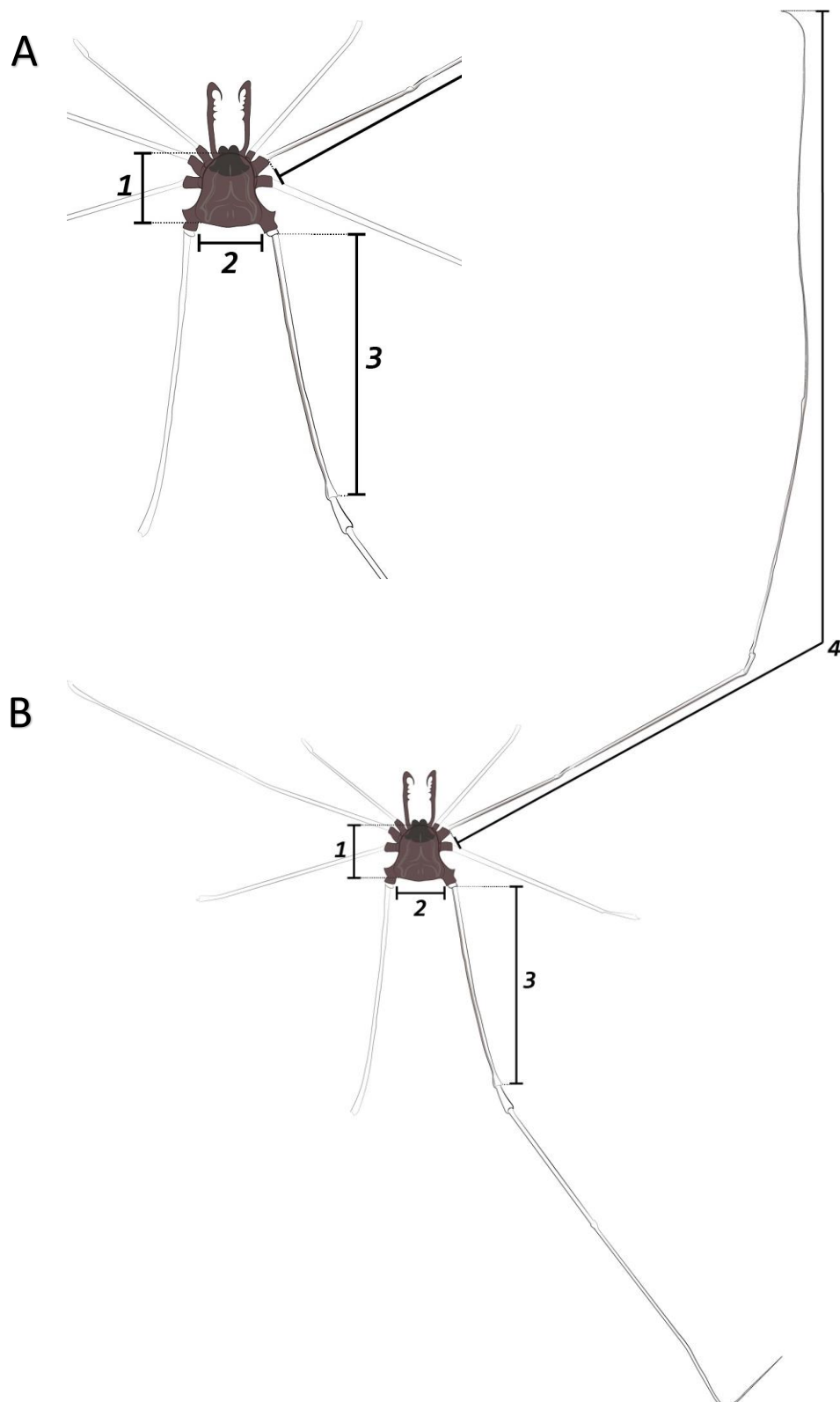
Após uma seleção inicial dos atributos possivelmente informativos, com auxílio de outros trabalhos com artrópodes (Cardoso et al. 2012; Fernandes et al. 2016; Moreti et al. 2016). Fizemos também fotos para visualização dos detalhes da morfologia dos indivíduos e para ilustração no presente trabalho. As fotos foram feitas com uma câmera Leica DFC 295 acoplada a um estereomicroscópio Leica M205C com objetiva Planapo 1.0x e produzidas por meio de montagem de múltiplas fotos utilizando o software LAS (Leica Application Suite) v3 (Figura 13).





**Figura 13.** Captação de imagens de exemplares de opiliões coletados nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, Belo horizonte, Minas Gerais e Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais, para observação de detalhes da morfologia.

Os atributos qualitativos (Figura 14), exceto espessura da cutícula foram medidos com auxílio de paquímetro digital e microscópio estereoscópico. Todos os exemplares coletados foram medidos e obtiveram-se as médias de cada morfotipo.



**Figura 14.** Medidas de dois atributos morfológicos dos opiliões coletados em cavidades de minério de ferro e em seu entorno no estado de Minas Gerais. 1- Comprimento do corpo da base dos pedipalpos até a extremidade posterior do cefalotórax (escudo dorsal); 2. Largura máxima corpórea (na altura das coxas IV); 3. Comprimento do fêmur IV; 4. Comprimento da perna II. Ilustração de Leonardo de Assis. A: detalhe do corpo do animal. B: ilustração completa mostrando todas as medidas, inclusive a perna II, em geral muito mais longa que as demais.

Para a aferição das espessuras cuticulares, foram feitas secções da parte posterior do escudo dorsal, na região de maior largura corporal (Figura 15). Os cortes foram feitos com auxílio de bisturi e a seguir receberam um tratamento de banhos sequenciais de 30 minutos cada com álcool em concentrações de 70%, 90%, 95% e mais três banhos de álcool 100%. E a seguir mais três banhos em xilol. Por fim, três banhos de uma hora em parafina, para então serem inseridos nos blocos de parafina e levados ao micrótomo para fazer os cortes com 60 micrômetros. Estes foram montados em lâminas semipermanentes. Procedeu-se então a medição dos cortes cuticulares.



**Figura 15.** Exemplar de *Neosadocus* sp. 1 coletado na caverna Placa Azul, no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté-MG. Primeiro corte da cutícula na região de largura máxima do corpo do animal. A partir dessa amostra da parte dorsal da cutícula foram preparadas as lâminas para medição da espessura desta.

### 5.5 Atributos químicos

Baseados no protocolo de Rocha et al., (2011), realizamos a amostragem das secreções defensivas. Posicionamos os opiliões sobre um pedaço de algodão tratado (lavado previamente com acetato de etila) e os precionamos com a ajuda de uma pinça. Colocamos os animais sob o aumento do microscópio esteresocópico para que se pudesse avaliar quando efetivamente o animal liberava secreção, e não apenas fluído entérico. Muitas vezes o fluído entérico é secretado primeiramente e funciona como diluente da secreção defensiva propriamente dita (Schaier et al., 2011; Raspotnig, 2012). O algodão contendo secreção foi imediatamente colocado em um tubo de vidro ao qual adicionamos 100-200 µL de acetato de etila grau HPLC (cromatografia líquida de alta eficiência – *High performance liquid chromatography*). Coletamos as secreções defensivas separadamente para cada indivíduo, e analisamos as soluções resultantes por meio de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa - CG-EM. *Gagrellinae* sp 1. foi o único táxon do qual não conseguiu-se coletar a secreção defensiva, retiramos as informações sobre os compostos liberados por esse táxon da literatura.

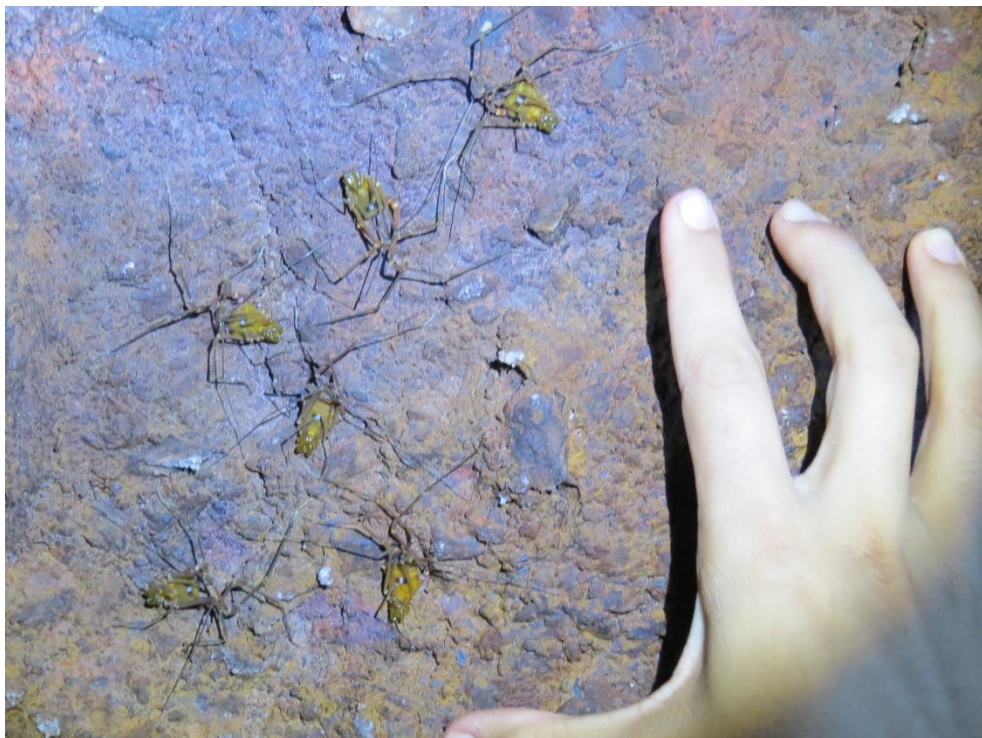
Realizamos as análises de CG-EM em um cromatógrafo GC-2010 Plus acoplado a um espectrômetro de massas GCMS-TQ8030 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) operando por impacto de elétrons (EI) com energia de ionização de 70 eV, no modo *scan* na faixa de  $m/z$  45 a 500, com um tempo inicial de corte do solvente de 2,5 min. Utilizamos uma coluna RTX-5 (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm), com a temperatura do injetor e do detector de 250 °C e 300 °C, respectivamente, usando He como gás carreador a um fluxo de 1,0 mL/min. Injetamos as amostras em modo split 1:10, com um volume de injeção de 1 µL. A temperatura do forno variou de 40 a 150° C em uma rampa de 10°C/min e de 150 a 290°C em uma rampa de 20°C/min, mantendo a temperatura de 290°C por mais um minuto. Analisamos os espectros de massas dos picos cromatográficos e as estruturas sugeridas de acordo com compostos similares descritos na literatura (Rocha et al., 2013; Wouters et al., 2013).

### 3.6 Atributos ecológicos

Segundo o que já se sabe sobre a biologia dos diferentes opiliões, *Goniosoma*, *Mitogoniella. indistincta* Mello-Leitão, 1936, *Pachylinae* e *Heteropachylinae*, baseiam sua alimentação apenas na ingestão de pequenos artrópodes. Em *Neosadocus* Mello-Leitão, 1926,

há o registro do consumo de frutas como parte de sua alimentação e em Gargrellinae há registro do consumo de fungos, *Longiperna* Roewer, 1929, preda artrópodes em geral e Gonyassamiinae, além de pequenos artrópodes também pode alimentar-se de líquens (Acosta e Machado, 2007).

Em dois dos maiores morfotipos coletados, há o registro do comportamento de agregação. *M. indistincta* e *Goniosoma*. sp. 1 formam grupos de indivíduos em posição de repouso nas paredes e tetos das cavidades onde são encontrados (Figura 16 e 17). Grupos mistos, com machos e fêmeas posicionam-se juntos, muitas vezes com as pernas se tocando. Em todas as agregações, ao se tocar em um indivíduo, todo o grupo dispersava.



**Figura 16.** Hábito gregário de *Goniosoma*. sp. 1 em substrato rochoso na caverna Monges, localizada nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, MG.



**Figura 17.** Hábito gregário de *Mitogoniella indistincta* em substrato rochoso na caverna Cascalhinho, localizada nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, MG.

### 3.7 Análise dos Dados

Para a análise da diversidade funcional (FD) separamos os opiliões coletados por unidades taxonômicas operacionais - OTUs e selecionamos apenas os indivíduos adultos. OTU se trata de uma definição utilizada para classificar grupos de organismos semelhantes, usada no presente trabalho por não termos a identificação clara de todas as espécies estudadas. Os atributos foram levantados e tabelados.

Verificou-se quais eram encontrados em ambiente epígeo, hipógeo ou ambos. Comprimento do corpo (escudo dorsal), largura máxima corpórea, tamanho do fêmur da perna IV, comprimento da perna II, medidos em milímetros e a espessura da cutícula em micrômetros foram amostrados. Para estes dados numéricos, foi realizada a média aritmética dos dados obtidos. Os microhabitats, observados no momento da coleta foram: parietal, sob rocha, substrato vertical consolidado, sendo este último exclusivamente epígeo pois trata-se de áreas de solo verticalizadas, com presença de pequenos vegetais e raízes da vegetação adjacente. A secreção química é formada por soluções de moléculas de diferentes grupos químicos e foi separada em cinco diferentes tipos conforme a mistura de compostos secretada cada OTU (Tabela 2). A alimentação foi classificada em dois grupos com o auxílio de

informações da literatura (Acosta e Machado, 2007). A presença de comportamento gregário foi observada em campo.

Estes dados foram utilizados para formar a matriz de dados para execução da análise de FD. Os atributos foram utilizados para a construção da matriz de comunidade, na qual as OTUs foram organizadas de acordo com presença ou ausência no ambiente epígeo e hipógeo. Táxons presentes nos dois ambientes foram considerados como parte das duas comunidades. Construiu-se também a matriz a partir dos atributos mensurados, com as OTUs nas linhas e atributos nas colunas e, mais uma vez, espécies presentes nos dois ambientes foram consideradas nas duas comunidades.

A partir da matriz de atributos (Tabela 3) é construída a matriz de distância entre as OTUs e esta usada para produzir o dendrograma funcional, a partir do qual se calcula a diversidade funcional (FD). Compara-se a diferença observada dos valores com um modelo nulo para testar se a diferença encontrada entre a FD epígea e hipógea é significativa. Também se procede uma Análise de Componentes Principais (PCA) feita a partir da matriz de atributos, para ordenar a contribuição de cada um dos atributos nos resultados.

Ao observar-se as diferenças entre os ambientes circundantes das cavernas inseridas nos campos rupestres e nas áreas com mata atlântica levantou-se a possibilidade de checar possíveis diferenças na FD nos dois cenários: paisagens com fitofisionomias desde florestas a campos rupestres e somente área inserida em campo rupestre ferruginoso. Para executar essas análises, utilizamos o programa R (R Development Core Team, 2009), e o pacote de Dray e Dufour (2007).

### **3.8 Diversidade Geral das Cavidades**

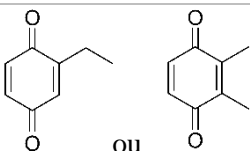
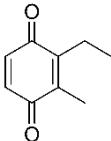
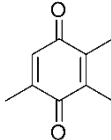
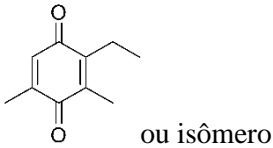
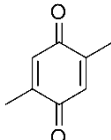
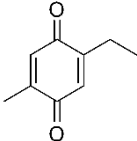
Coletamos a fauna geral de invertebrados nas 12 cavidades do presente trabalho. Essa diversidade geral é apresentada no Anexo 1 e serão utilizados futuramente como parte de um trabalho sobre a diversidade geral das cavernas da região.

## 4. Resultados

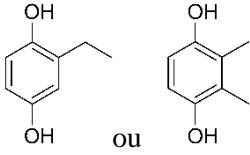
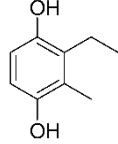
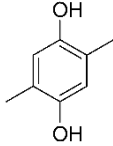
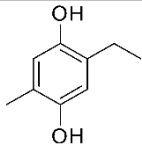
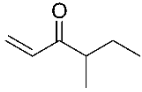
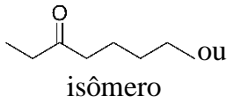
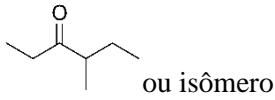
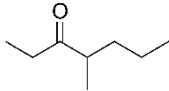
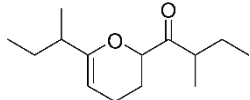
### 4.1. Atributos químicos

Identificamos dois grupos químicos nos compostos coletados dos opiliões vivos: cetonas e quinonas. Na Tabela 2 seguem as estruturas sugeridas e na Tabela 3 os compostos encontrados em cada táxon.

**Tabela 2.** Relação de compostos encontrados em cada grupo químico e sugestão estrutura da molécula de acordo com Rocha et al., 2013. As substâncias de código Q pertencem ao grupo das quinonas, HQ hidroquinonas, C cetonas. Substâncias coletadas em opiliões presentes em cavernas em minério de ferro e ambientes epígeos próximos, nas cidades de Belo Horizonte e Caeté, no estado de Minas Gerais.

Código	Composto	Estrutura(s)
Q1	2,3-dimetil quinona ou 2-etil quinona	
Q2	2-etil-3-metil quinona	
Q3	2,3,5-trimetil quinona	
Q4	2-etil-3,5-dimetil quinona ou isômero	
Q5	2,5-dimetil quinona	
Q6	2-etil-5-metil quinona	



HQ1	2,3-dimetil hidroquinona ou 2-etil hidroquinona	
HQ2	2-etil-3-metil hidroquinona	
HQ5	2,5-dimetil hidroquinona	
HQ6	2-etil-5-metil hidroquinona	
C1	4-metilex-1-en-3-ona	
C2	3-octanona ou isômero	
C3	4-metilexan-3-ona ou isômero	
C4	4-metileptan-3-ona	
DC1	dímero da 4-metilex-1-en-3-ona	

**Tabela 3.** Compostos identificados na secreção dos opiliões da área de estudo (Serra da Piedade e Mangabeiras), coletadas de opiliões presentes em cavernas em minério de ferro e ambientes epígeos próximos, nas cidades de Belo Horizonte e Caeté, no estado de Minas Gerais. **Q1** = 2,3-dimetil quinona; **Q2** = 2-etil-3-metil quinona; **Q3** = 2, 3, 5-trimetil quinona; **Q4** = 2-etil-3,5-dimetil quinona; **Q5** = 2,5-dimetil quinona; **Q6** = 2-etil-5-metil quinona; **HQ1** = 2,3 dimetil hidroquinona; **HQ2** = 2-etil-3-metil hidroquinona; **C1** = 4-metilex-1-en-3-ona **C2** = 3-octanona ou isômero; **C3** = 4-metilexan-3-ona ou isômero; **C4** = 4-metileptan-3-ona; **DC1** = dímero da 4-metilex-1-en-3-ona.

Táxon	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	HQ 1	HQ 2	HQ 6	C 1	C 2	C 3	C 4	DC1
<i>Mitogoniella indistincta</i>	X	X	X				X	X						
<i>Goniosoma</i> sp. 1	X	X	X				X	X						
Heteropachylinae sp. 1	X	X	X		X	X	X		X			X	X	
<i>Neosadocus</i> sp. 1										X	X			X
Pachylinae sp. 1	X	X	X	X			X	X						
Pachylinae sp. 2	X	X	X				X	X						
<i>Longiperna trembao</i>	X	X						X						

Conforme os destaques feitos na Tabela 3, os opiliões foram agrupados segundo as semelhanças nos compostos químicos por ele secretados. Esses compostos são formados por misturas de moléculas em diferentes proporções e os grupos químicos presentes variam entre os diferentes animais. Para o táxon *Gagrellinae* sp 1. a classificação do atributo químico foi feita utilizando dados da literatura, com registros de misturas diversas de cetonas (Gnaspini e Hara, 2007). Para realizar a análise dos atributos funcionais colocamos os códigos de um a seis, de acordo com as misturas de moléculas químicas secretadas. Na Tabela 3, na coluna da secreção química (SC) os códigos são:

- 1- quinona 1, 2 e 3 e hidroquinona 1 e 2;
- 2- quinona 1, 2, 3 e 4 e hidroquinona 1 e 2;
- 3- quinona 1, 2 e hidroquinona 2;
- 4- quinona 1, 2, 3, 5 e 6, e hidroquinona 1 e 6, cetona 3 e 4;
- 5- cetona 1 e 2 e dímero de cetona 1;
- 6- mistura de cetonas (Gnaspini e Hara, 2007).

## 4.2 Espécies amostradas e seus atributos funcionais

Nove morfotipos de opiliões foram encontrados: *Goniosoma* sp. 1, *Mitogoniella indistincta*, *Neosadocus* sp. 1, Pachylinae sp. 1, Pachylinae sp. 2, Heteropachylinae sp. 1, Gagrellinae sp. 1, Gonyassamiinae sp. 1, *Longiperna trembao* Pinto-da-Rocha & Brangagnolo, 2010.

O táxon Gonyassamiinae sp. 1 foi encontrado sob rocha, entretanto não foi considerado nas análises pelo fato de ter sido coletado um único exemplar. Mesmo com buscas extras, não foi encontrado mais nenhum exemplar desse morfotipo. Isso impossibilitou a aferição acurada de alguns dos atributos morfológicos e mesmo os químicos. Será feita a consulta à um especialista para descobrir-se de que espécie se trata.

*Mitogoniella indistincta*, *Neosadocus* sp. 1, Gagrellinae sp. 1 e *Goniosoma* sp. 1 (Figuras 17, 18 e 19) foram as espécies encontradas tanto dentro quanto fora das cavidades. Somente durante a noite foi possível observar esses opiliões saindo ou já fora das cavidades, as quais são utilizadas por eles como abrigos. *Neosadocus* sp. 1 está associado apenas à caverna Placa Azul. Os opiliões exclusivamente epígeos *L. trembao* e Heteropachylinae sp. 1. Estavam associados a substratos inconsolidados verticais (barrancos), e somente no período noturno. Os opiliões exclusivamente epígeos foram coletados no Parque Municipal das Mangabeiras, em Belo Horizonte, não sendo avistados nas áreas amostrada no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, em Caeté.

O táxon Pachylinae sp.1 foi encontrado exclusivamente no interior das cavidades Mangabeiras I e III. Sempre na parte mais profunda das cavidades. Fizemos buscas destes opiliões nas entradas das cavidades e adjacências para verificar se estes saíam destas para forrageio, sem registros, o que sugere a categoria de troglóbio.

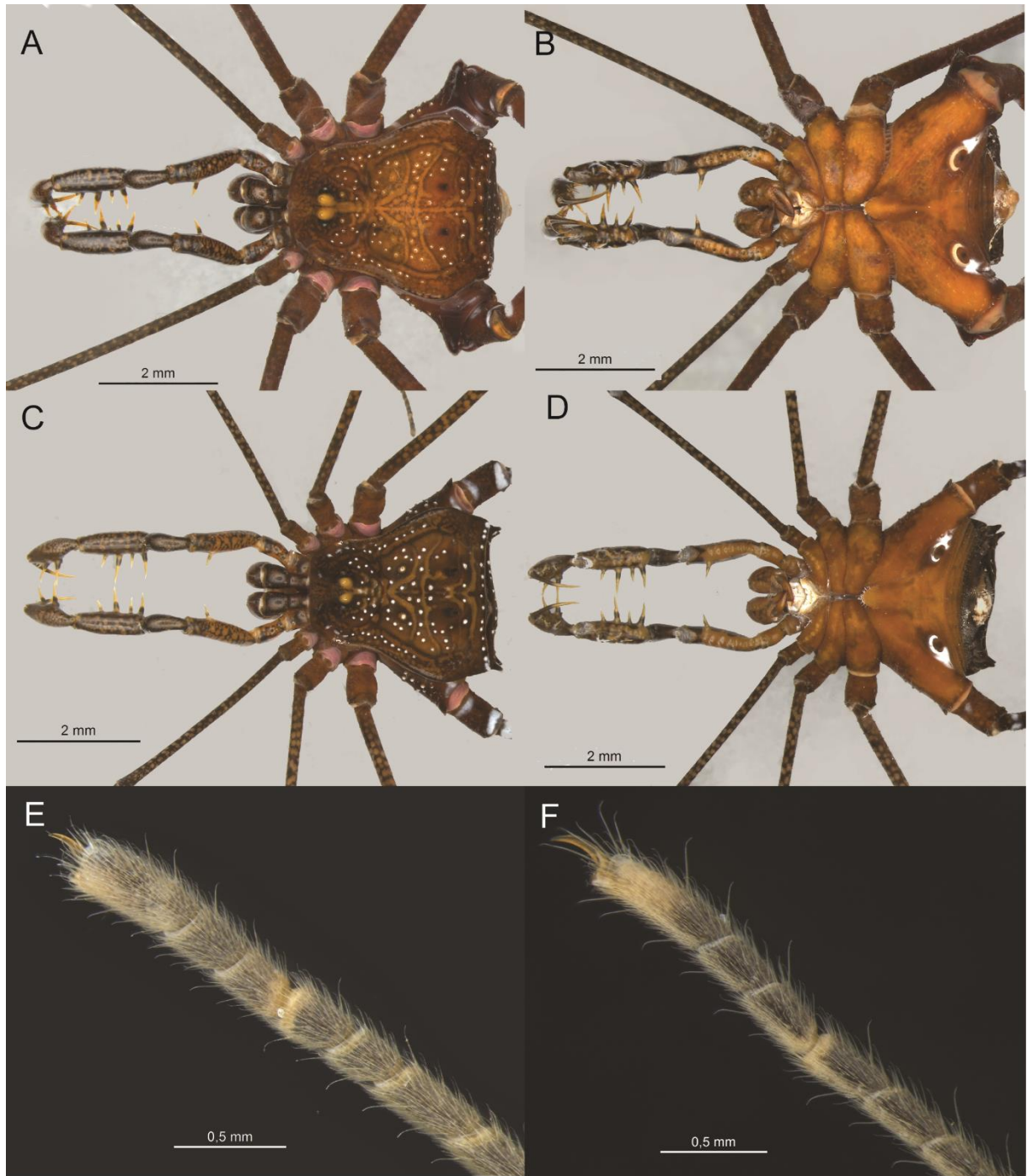
O táxon Pachylinae sp. 2 foi encontrado em maior número (por volta de 15 indivíduos entre animais coletados e avistados) na Gruta da Piedade, especificamente no salão onde está a base número 3 do presente trabalho, a 20 m da zona de entrada, não estando distribuído por toda cavidade. Em uma ocasião de coleta foi encontrado sob rochas na zona de entrada da Gruta da Macumba, três adultos e cinco juvenis. Da mesma maneira que para Pachylinae sp. 1, também há a possibilidade de que este animal seja troglóbio. Estudos adicionais seriam necessários para comprovar essa sugestão.

Observou-se em todas as ocasiões de coleta aporte bastante variado de detritos e presença de raízes vivas da vegetação adjacente que são recursos alimentares mais abundantes do que o usual em outros tipos de ambientes subterrâneos, o que possibilita a sustentação uma

rica fauna com influência do ambiente externo. Devido a tais influências do ambiente externo, há uma diversidade de recursos alimentares e microhabitats. Mesmo as menores cavidades como, por exemplo, a Placa Azul e a Da Estrada tiveram registrada a presença de mais de uma espécie de opilião. As cavernas com opilionofauna mais pobre, ou até mesmo ausente (Romeiros), são aquelas que favorecem a formação de corredores de vento, justamente as cavernas em tálus. A caverna Romeiros, em particular, não teve ocorrência de opilião em nenhuma das ocasiões de coleta.

É possível observar em todas as imagens detalhadas das pernas I e II (Figuras 18 a 23), dois tipos de cerdas relacionados aos sentidos dos opiliões: as cerdas curtas, mais reclinadas são denominadas *Sensilla trichodea* e são responsáveis por captação de estímulos mecânicos e, as cerdas longas e eretas são denominadas *Sensilla chaetica* e são responsáveis por captar estímulos químicos (Pinto-da-Rocha, 2007).

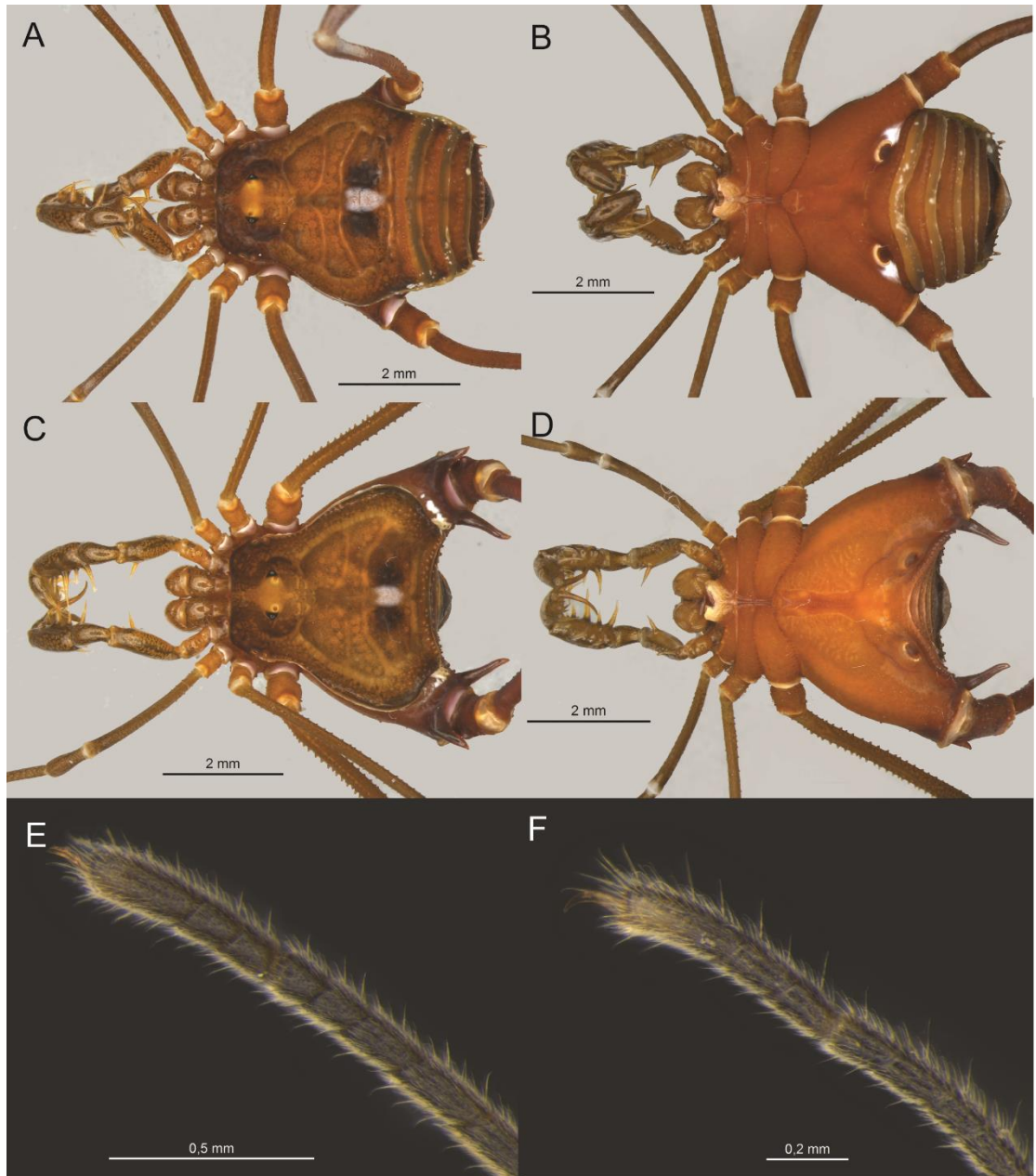
As fotos foram feitas no intuito de observar com detalhes os padrões de distribuição dessas estruturas, além de outros detalhes morfológicos durante a investigação para escolha dos atributos utilizados para análise. Mas, embora as cerdas sejam visíveis nos animais analisados, não se detectou nenhuma variação entre as espécies que pudesse ser interpretada como diferenças em atributos funcionais. Logo não acrescentamos os padrões das distribuições das cerdas nas análises.



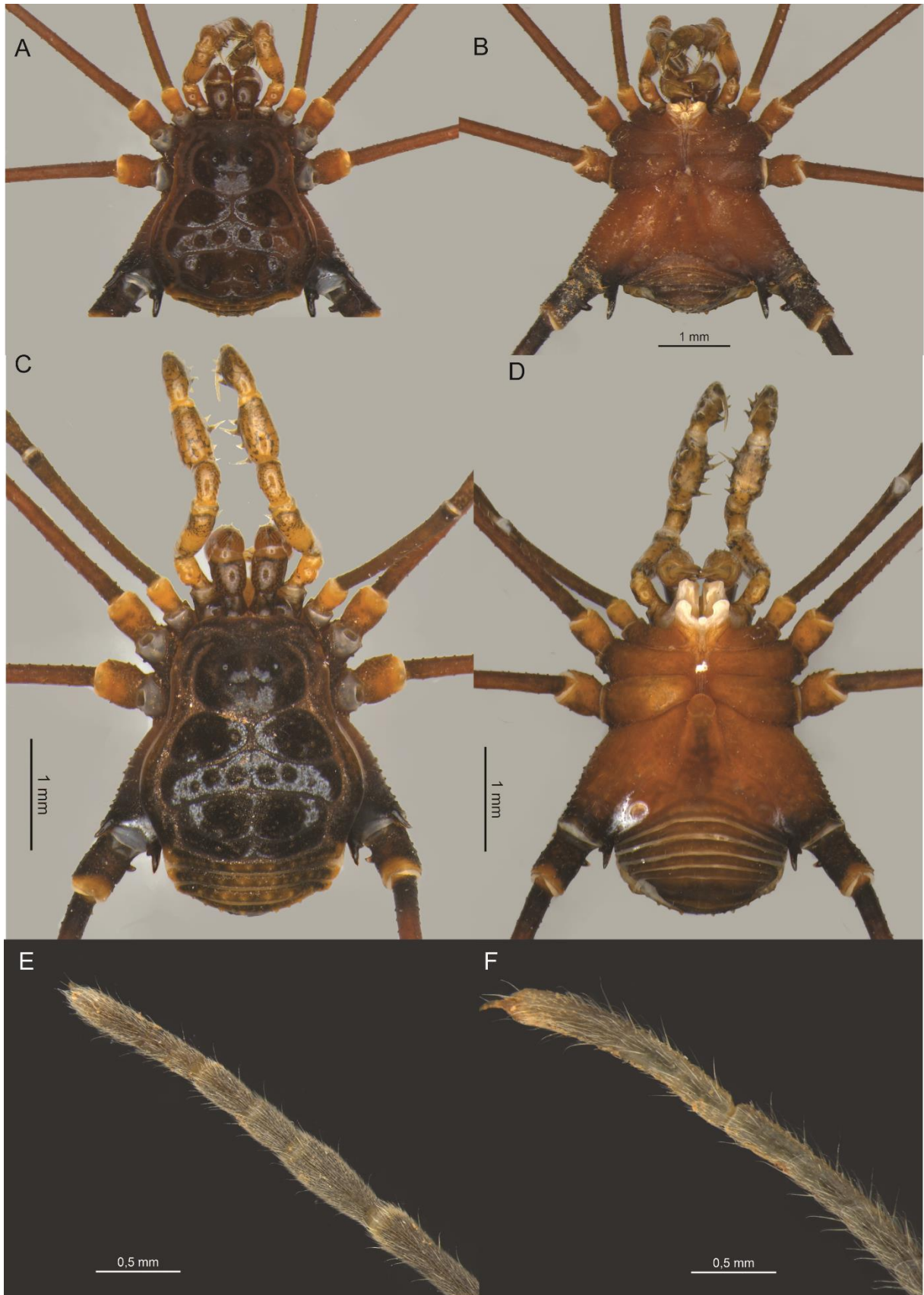
**Figura 18.** *Mitogoniella indistincta*. A: macho, vista dorsal. B: macho, vista ventral. C: fêmea, vista dorsal. D: fêmea, vista ventral. E: detalhe da perna I. F: detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.



**Figura 19.** A: macho de *Neosadocus* sp. 1, vista dorsal. B: macho de *Neosadocus* sp. 1, vista ventral. C: fêmea de *Neosadocus* sp. 1, vista dorsal. D: fêmea de *Neosadocus* sp. 1, vista ventral. E: detalhe da perna I de *Neosadocus* sp. 1. F: detalhe da perna II de *Neosadocus* sp. 1. G: vista dorsal de *Gagrellinae* sp. 1. H: vista ventral de *Gagrellinae* sp. 1. I: detalhe da perna I de *Gagrellinae* sp. 1. J: detalhe da perna II de *Gagrellinae* sp. 1. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.

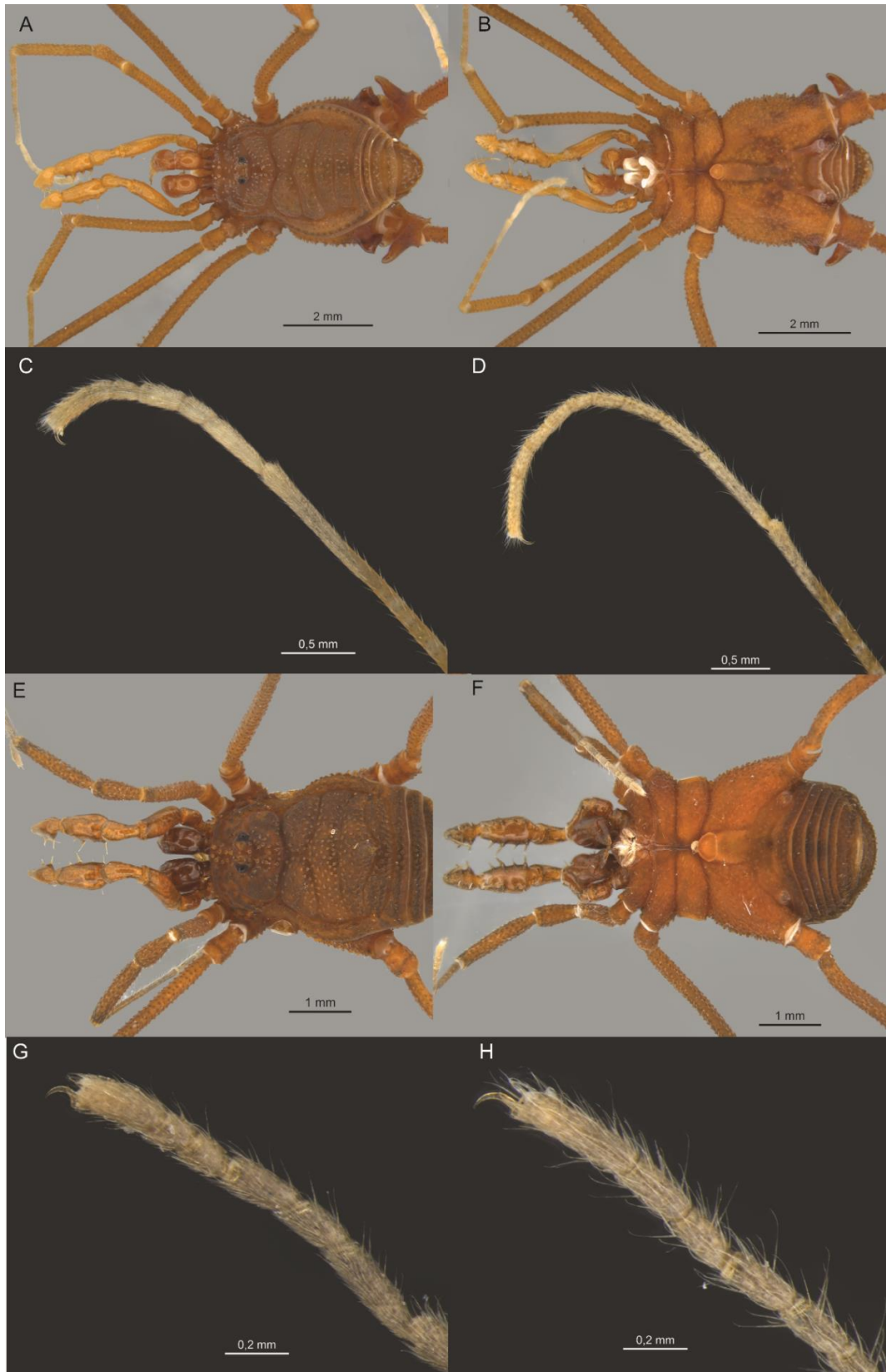


**Figura 20.** *Goniosoma* sp. 1. A: fêmea, vista dorsal. B: fêmea, vista ventral. C: macho, vista ventral. D: macho, vista dorsal. E: detalhe da perna I. F: detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.

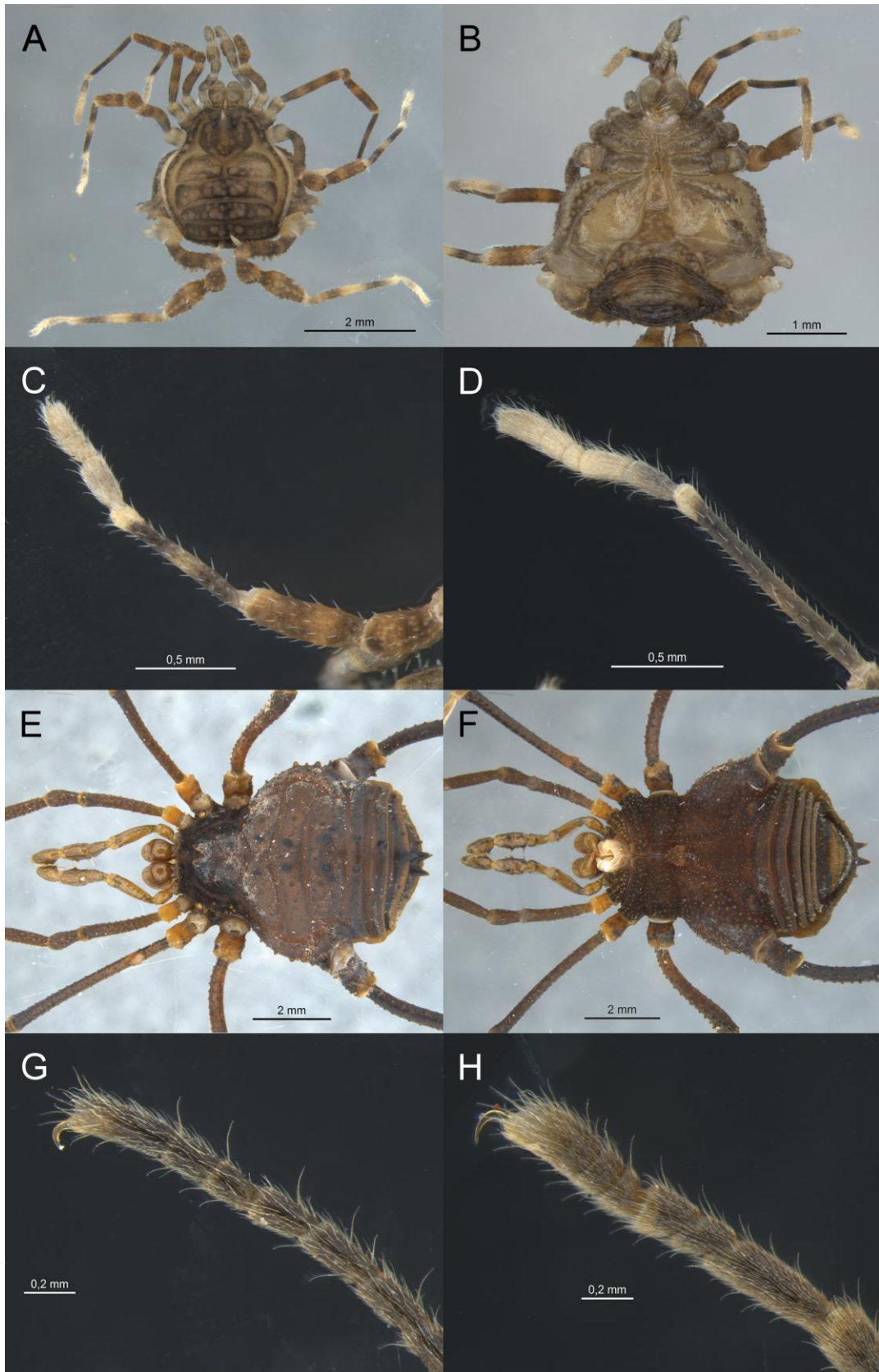


**Figura 21.** *Longiperna trembao*. A: macho vista dorsal. B: macho vista ventral. C: fêmea vista dorsal. D: fêmea, vista ventral. E: detalhe da perna I. F: detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.





**Figura 22.** A: Pachylinae sp. 1, macho, vista dorsal. B: Pachylinae sp. 1, macho, vista ventral. C: Pachylinae sp. 1, detalhe da perna I. D: Pachylinae sp. 1, detalhe da perna II. E: Pachylinae sp. 2, fêmea, vista dorsal. F: Pachylinae sp. 2, fêmea, vista ventral. G: Pachylinae sp. 2, detalhe da perna I. H: Pachylinae sp. 2, detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.



**Figura 23.** A: Gonyassamiinae sp. 1, vista dorsal. B: Gonyassamiinae sp. 1, vista ventral. C: Gonyassamiinae sp. 1, detalhe da perna I. D: Gonyassamiinae sp. 1, detalhe da perna II. E: Heteropachylinae sp. 1, fêmea, vista dorsal. F: Heteropachylinae sp. 1, fêmea, vista ventral. G: Heteropachylinae sp. 2, detalhe da perna I. H: Heteropachylinae sp. 2, detalhe da perna II. Fotos de Luciana Bueno dos Reis Fernandes.

Após aferição dos atributos obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 4.

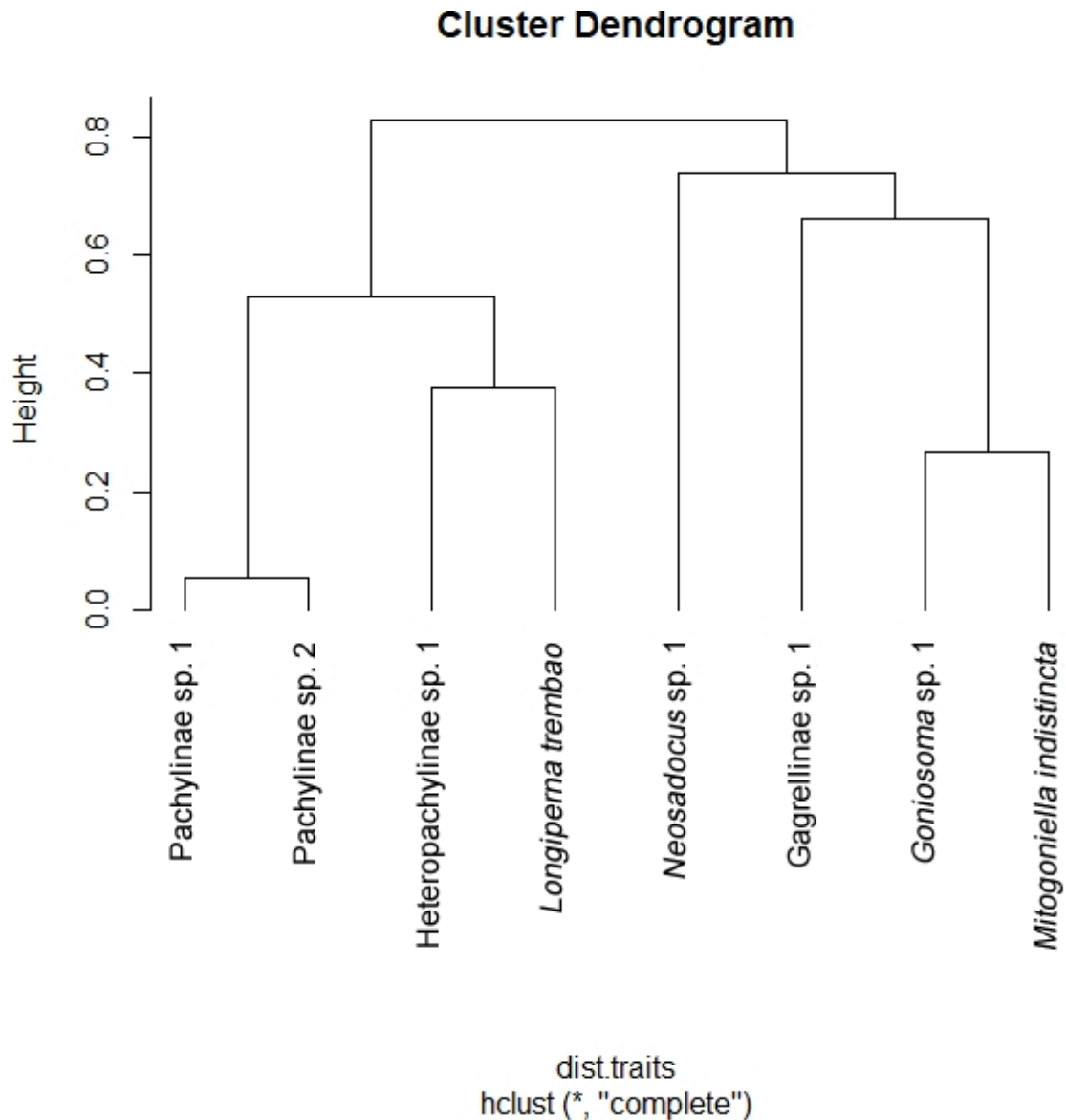
Tabela 4. Táxons coletados e resultados dos atributos obtidos. C = comprimento do corpo. L = largura máxima do corpo. F4 = comprimento do fêmur 4. P2 = comprimento da perna II. EC = espessura da cutícula. MH = microhabitat. SC = secreção química. AG = comportamento gregário. A = alimentação. E = epígeo. H = hipógeo.

Táxon	C (mm)	L (mm)	F4 (mm)	P2 (mm)	EC ( $\mu\text{m}$ )	MH	SC	AG	A	E	H
<i>Gagrellinae</i> sp. 1	4,03	2,15	11,41	71,56	39,165	parietal	6	1	2	1	1
<i>Goniosoma</i> sp.1	8,45	8,78	14,29	53,09	56,059	parietal	1	1	1	1	1
<i>Heteropachylinae</i> sp. 1	5,39	5,4	5,52	18,89	69,069	Substrato vertical consolidado	4	0	1	1	0
<i>Longiperna trembao</i>	4,99	4,61	13,96	41,74	62,871	Substrato vertical consolidado	3	0	1	1	0
<i>Mitogoniella insdistincta</i>	7,71	7,42	24,41	104,4	58,857	parietal	1	1	1	1	1
<i>Neosadocus</i> sp. 1	8,44	8,76	13,21	35,97	86,393	parietal	5	0	2	1	1
<i>Pachylinae</i> sp. 1	3,62	2,74	4,3	16,97	63,849	sob rocha	2	0	1	0	1
<i>Pachylinae</i> sp. 2	3,38	2,93	3,7	15,42	56,766	sob rocha	2	0	1	0	1

Analizamos a diversidade funcional das comunidades de opiliões presentes em duas fitofisionomias, que abrangem as cavidades localizadas no Parque Municipal das Mangabeiras, inseridas em área com mata atlântica, e as cavidades do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, inseridas em campo rupestre ferruginoso. Ao verificarmos as 12 cavidades amostradas, encontramos uma diversidade funcional epígea ligeiramente maior. Os valores foram  $FD = 3.702282$  (epígeo) e  $FD = 3.381147$  (hipógeo).

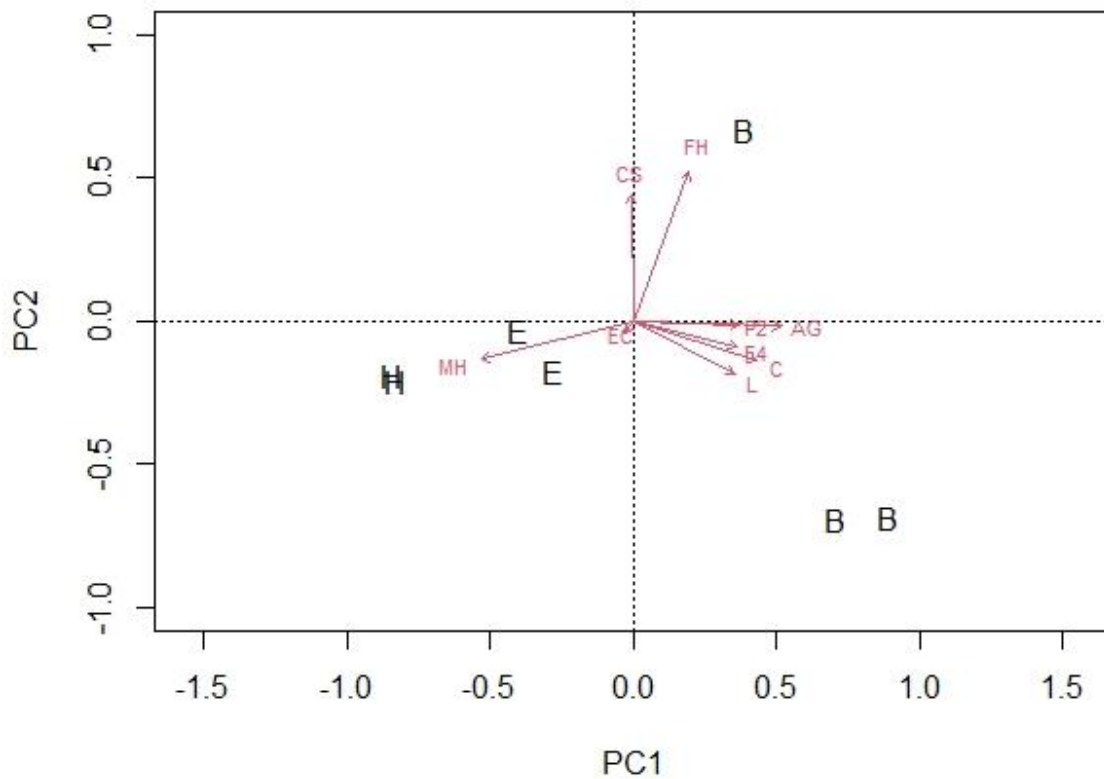
Quando analisamos somente a comunidade nos campos rupestres ferruginosos, que engloba as dez cavernas na Serra da Piedade a situação se inverteu. A diversidade funcional foi maior no ambiente hipógeo. Os valores foram  $FD = 2.407264$  (epígeo) e  $FD = 3.326683$  (hipógeo).

Importante dizer que em nenhum dos casos o valor foi significativo. Uma das causas pode ser o ruído na análise causado pela presença dos animais que frequentam os dois ambientes.



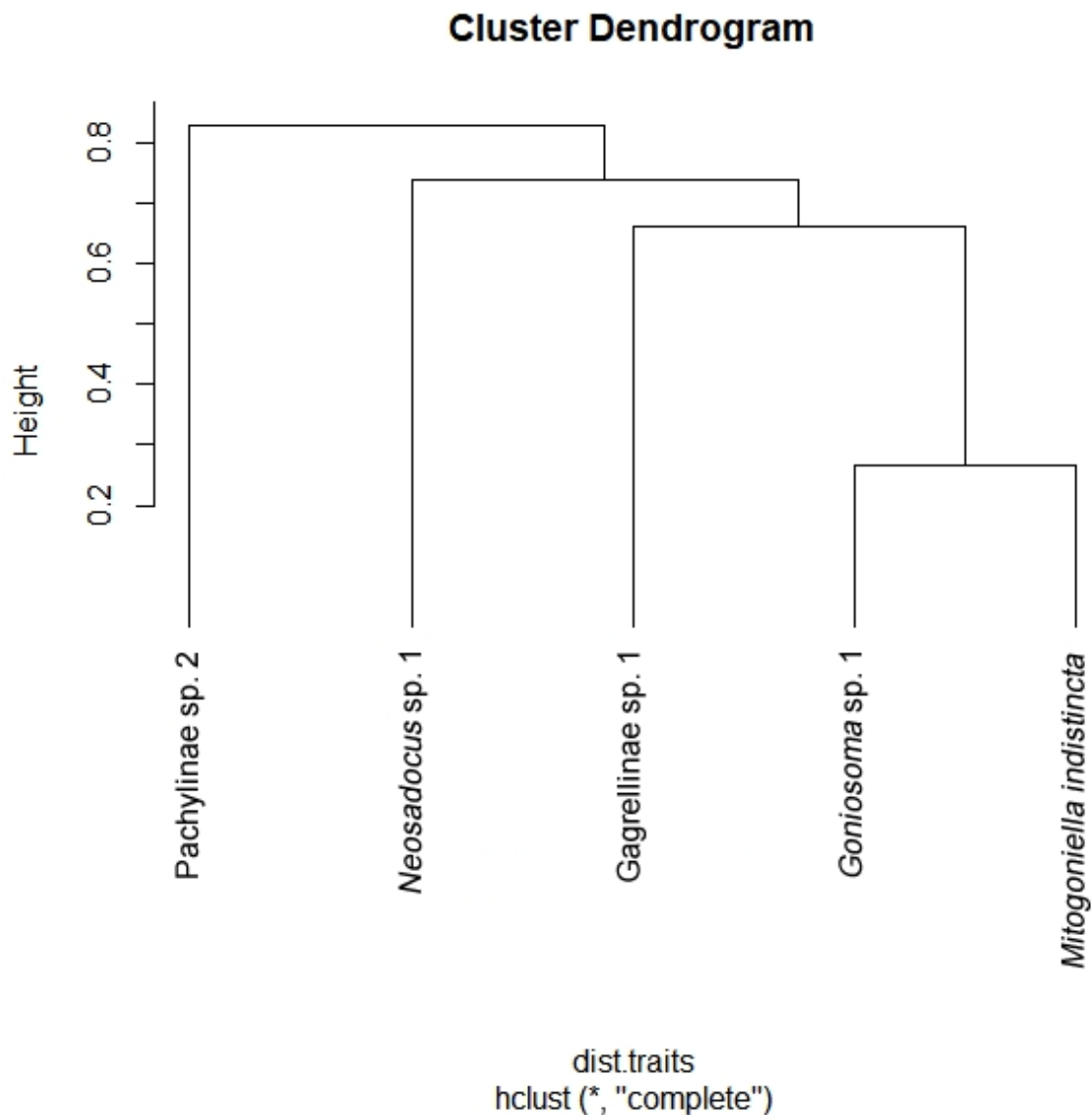
**Figura 24.** Dendrograma funcional construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, Belo Horizonte, Minas Gerais e Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais.

O dendrograma funcional (Figura 24) construído para todas as localidades analisadas demonstrou um agrupamento de *Pachylinae sp. 1* e *Pachylinae sp. 2*. Além de colocar próximas também *Heteropachylinae sp. 1* e *Longiperna trembao*. Observou-se um segundo ramo, com agrupamento evidente de *Mitogoniella indistincta* e *Goniosoma sp. 1*.



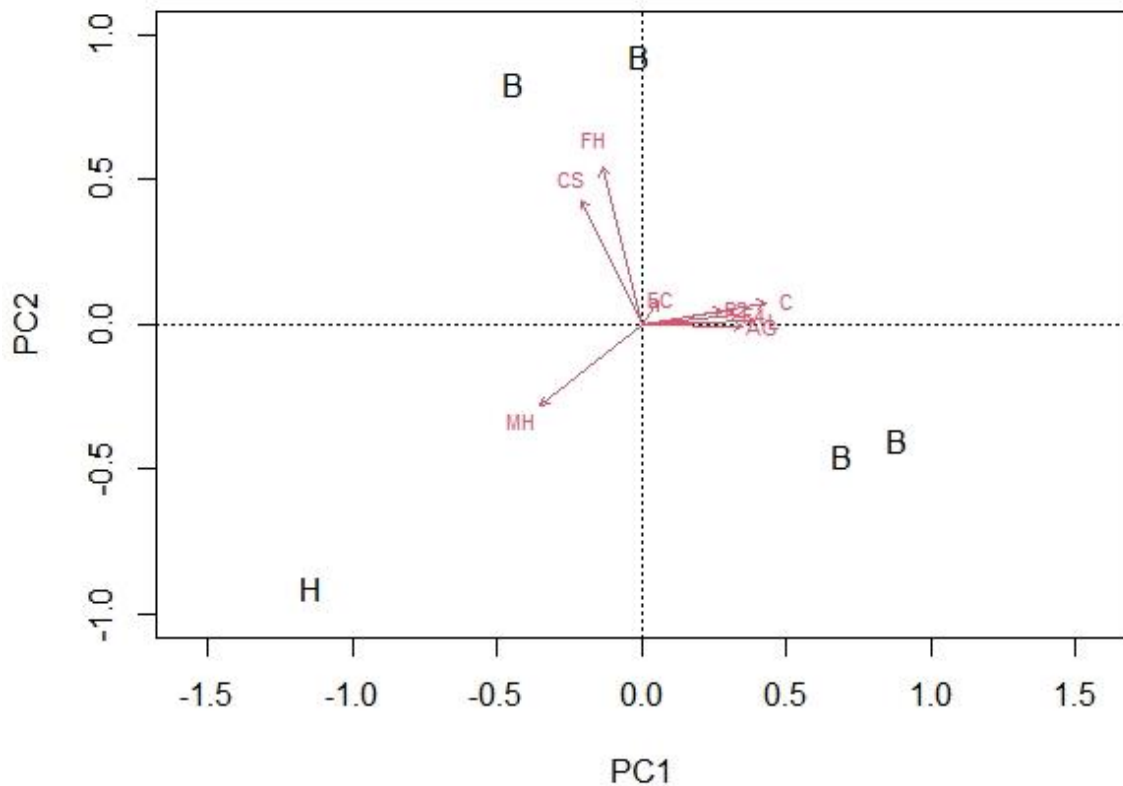
**Figura 25.** Gráfico da Análise dos Componentes Principais construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, Belo Horizonte, Minas Gerais e Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais. Em preto: H representa os táxons encontrados exclusivamente dentro das cavidades, E representa os animais encontrados exclusivamente nas áreas epígeas, B representa os animais coletados nos dois ambientes. Em vermelho: C = comprimento do corpo. L = largura máxima do corpo. F4 = comprimento do fêmur IV. P2 = comprimento da perna II. EC = espessura da cutícula. MH = microhabitat. CS = secreção química. AG = comportamento gregário. FH = alimentação.

Na análise dos componentes principais (PCA) (Figura 25), tivemos o microhabitat como atributo de maior influência para as OTUs com habitat exclusivamente hipógeo e exclusivamente epígeo. Depois outras duas OTUs com forte influência dos atributos morfológicos e outras duas, que ficaram sobrepostas no gráfico, cujas maiores influências foram hábito alimentar e secreção química.



**Figura 26.** Dendrograma funcional construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais.

Quando analisamos somente os táxons presentes nos campos rupestres (Figura 26) Pachylinae sp. 2 foi considerada o táxon mais funcionalmente diferente dos demais, seguida *Neosadocus* sp. 1, Gagrellinae sp. 1 e *Goniosoma* sp. 1 e *Mitoniella insdistincta* foram consideradas mais próximas funcionalmente.



**Figura 27.** Gráfico da Análise dos Componentes Principais construído a partir da análise de diversidade funcional dos opiliões coletados em cavernas ferruginosas e áreas epígeas adjacentes nos limites do Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade, Caeté, Minas Gerais. Em preto: H representa os táxons encontrados exclusivamente dentro das cavidades, B representa os animais coletados nos dois ambientes. Em vermelho: C = comprimento do corpo. L = largura máxima do corpo. F4 = comprimento do fêmur IV. P2 = comprimento da perna II. EC = espessura da cutícula. MH = microhabitat. CS = secreção química. AG = comportamento gregário. FH = alimentação.

Na PCA realizada com os animais do campo rupestre ferruginoso (Figura 27) tivemos o táxon hipógeo isolado dos demais, principalmente devido ao microhabitat. Enquanto os demais táxons que habitam ambos os ambientes tiveram um agrupamento semelhante ao demonstrado na análise anterior, com *Mitogoniella indistincta* e *Goniosoma* sp. 1 próximos vários fatores, como os morfológicos, comportamento gregário e secreção química. E *Gagrellinae* sp. 1 e *Neosadocus* sp. 1 com maior influência de secreção química e comportamento alimentar.

## 5. Discussão

Procuramos escolher os atributos mais informativos para as nossas análises. Moretti et al. (2017) através de seu trabalho, nos deu boas pistas do que escolher. Dos atributos selecionados, morfológicos, ecológicos e comportamentais, apenas a espessura cuticular não contribuiu de maneira relevante em nenhuma das análises. Os demais atributos escolhidos se mostraram informativos.

Atributos comportamentais são interessantes ao fornecer rápidas respostas às mudanças ambientais, sem necessariamente associação com fenótipos morfológicos ou fisiológicos. Alguns exemplos são horários de atividade, agregação e locomoção, os quais permitem aos organismos procurar microhabitats ideais e escapar de condições climáticas adversas (Moretti et al. 2017).

A alimentação dos opiliões é considerada generalista (Adams 1984), e são esperadas diferenças na dieta entre os animais diminutos e os mais robustos e maiores (Acosta e Machado, 2007).

A secreção química, nestes organismos, é um traço associado a estratégias de defesa e comunicação intraespecífica (Machado et al., 2002; Rocha et al., 2013), e representa um caráter robusto para testes ecológicos. Para as espécies da subordem Laniatores, há estudos que mostram a presença de três grupos químicos principais: benzoquinonas, vinil-cetonas e alquilfenóis (Pinto-da-Rocha, 2007). Caetano e Machado (2013) utilizaram a composição química dessas substâncias como estados-de-caracteres para proposta de filogenia para a família Gonyleptidae e observaram que os compostos possuem sinal filogenético e que as benzoquinonas são uma plesiomorfia para a família, o que também foi apontado por Raspotnig, (2015).

A maior parte das publicações sobre ecologia, comportamento, bem como sobre a composição das secreções é feita com animais da família Gonyleptidae (Caetano e Machado, 2013). As secreções representam compostos naturais únicos e são objetos de pesquisa de químicos e biólogos desde 1950, e até 2012, 85 espécies de opiliões tinham suas secreções químicas catalogadas, com secreções variando desde as formadas por um único componente até misturas com mais de 20 (e.g. *Cyphophthalmi*) (Raspotnig, 2012). Caetano e Machado (2013) apontaram até mesmo duas espécies de Mitotobatinae que não produziram secreções: *Longiperna concolor* (Mello-Leitão, 1923) e *Promitobates ornatus* (Mello-Leitão, 1922). O táxon *Longiperna trembao*, representante da família Mitobatinae, estudado no presente



trabalho, apresentou uma secreção química composta por uma mistura dos seguintes compostos: 2,3-dimetil quinona; 2-etil-3-metil quinona; e 2-etil-3-metil hidroquinona.

Algo que foi observado nos campos rupestres da Serra da Piedade foi a ausência de opiliões em uma das cavernas em Tálus, a Romeiros. Essa caverna, em particular, possui um microclima muito semelhante ao clima epígeo. Os corredores de vento dificultam a formação de um microclima diferenciado no interior da cavidade e uma maior umidade relativa do ar em relação ao ambiente epígeo. Não houve influência da projeção horizontal das cavidades na presença da opilionofauna.

Nota-se que diferentes tipos de vegetação se distribuem de acordo com o gradiente de altitude na Serra da Piedade. Nas áreas mais baixas, a fitofisionomia predominante é Floresta Atlântica, com alta densidade de árvores de grande porte e sub-bosque, o que favorece a manutenção de um microclima com uma maior umidade relativa do ar (Vianello e Maia, 1986). Nas áreas mais altas, entretanto, estão localizados os Campos Rupestres, com sua vegetação mais baixa e esparsas árvores de pequeno porte, que acabam funcionando como fatores limitantes para a distribuição de opiliões (Pinto-da-Rocha, 2007). Isso porque, durante o dia, temos uma grande insolação, uma vez que a vegetação mais esparsa permite que grande parte da luz atinja diretamente a superfície, e a vegetação não é adensada a ponto de formar um microclima com uma umidade relativa alta o suficiente para fornecer um ambiente propício à ocorrência de opiliões. No início da noite, nas primeiras horas após o pôr do sol, justamente no horário de forrageio desses animais, há uma incidência de rajadas de vento, nos campos rupestres da Serra da Piedade, que também desfavorecem a manutenção de uma alta umidade relativa do ar. Sustentando a validade destas observações, os animais encontrados fora das cavidades estavam sempre próximos à entrada destas. Nenhum opilião foi encontrado a mais 50 metros de uma caverna. Realizamos repetidas buscas em áreas não adjacentes às entradas das cavidades, todas sem nenhum encontro com qualquer opilião.

Contrastando com o observado na região da Serra da Piedade, no Parque Municipal das Mangabeiras as cavidades estão presentes em uma área de Floresta Atlântica. O local, com uma densidade vegetacional maior em relação aos campos rupestres, apresenta uma umidade relativa do ar mais favorável à presença de opilionofauna, já que não há incidência excessiva de vento e de luz solar direta. Ali encontramos os representantes epígeos de nosso trabalho: *Heteropachylinae* sp. 1 e *Longiperna trembao*.

No dendrograma (Figura 24) e na análise de PCA (Figura 25) feita para todas as áreas observa-se quais os táxons mais relacionados entre si, sendo estes funcionalmente

redundantes. A primeira observação é a separação em dois grandes grupos: aqueles que ocorrem exclusivamente em um único ambiente (epígeos ou hipógeos) e aqueles que frequentam as cavidades e as áreas externas adjacentes.

No primeiro grande grupo, *Pachylinae* sp. 1 e *Pachylinae* sp. 2 foram os táxons considerados próximos. Na análise de PCA um dos fatores que foi considerado mais influente nessa proximidade foi o microhabitat, no caso sob rochas para os dois táxons. *Pachylinae* sp. 2 havia sido encontrado sempre na base três da gruta Piedade. Porém, na última coleta, um pequeno grupo com cerca de seis indivíduos, foi encontrado sob rocha na zona de entrada da caverna Macumba.

Um atributo que contribui fortemente para a redundância funcional de *Pachylinae* sp. 1 e *Pachylinae* sp. 2 é o microhabitat. Estes dois táxons foram encontrados unicamente em no interior das cavidades. Mesmo realizando buscas noturnas no entorno das cavidades, esses dois táxons não foram avistados em áreas epígeas. Este seria um indício de que esses dois morfotipos seriam de animais troglóbios. Não podemos, no entanto, fazer essa afirmação de maneira final, pois seriam necessários estudos para identificação precisa das espécies, e levantamentos em toda sua área de ocorrência para realmente constatar que esses animais não habitam áreas epígeas.

Também foram considerados funcionalmente semelhantes os dois táxons exclusivamente epígeos presentes no Parque Municipal das Mangabeiras: *Heteropachylinae* sp. 1 e *Longiperna trembao*. O microhabitat também foi um fator importante para a posição no dendrograma funcional para estes dois táxons.

Já quando se trata dos táxons presentes tanto no ambiente epígeo quanto hipógeo foram consideradas funcionalmente redundantes *Mitogoniella indistincta* e *Goniosoma* sp. 1. Observa-se no gráfico da PCA que vários atributos contribuíram nesse caso: os atributos morfológicos (largura e comprimento do corpo, comprimento do fêmur IV e perna II) e um atributo comportamental de comportamento gregário.

*Gragrellinae* sp. 1 e *Neosadocus* sp. 1 foram considerados os mais considerados táxons mais diferentes funcionalmente, sendo que os atributos que mais contribuíram para esse resultado foram o hábito alimentar e a composição da secreção química.

A espessura da cutícula dos animais analisados não se mostrou um atributo de grande influência no papel funcional dos táxons analisados, de acordo com a análise de PCA.

Um outro cenário avaliado foi levando em consideração apenas as cavernas presentes nos campos rupestres ferruginosos. Um fato observado é que não foi encontrado nenhum opilião exclusivamente epígeo. Nesse caso, a única espécie exclusivamente hipógea,

*Pachylinae* sp. 2, foi considerada a funcionalmente mais diversa das demais (Figura 26). Novamente, o atributo que contribuiu mais fortemente para isso foi o microhabitat (Figura 27). Novamente *Goniosoma* sp. 1 e *Mitogoniella insdistincta* foram consideradas funcionalmente redundantes.

A diferença mais marcante entre os dois cenários foi o resultado da FD, que foi considerada maior na área epígea quando analisamos todas as fitofisionomias e maior na hipógea quando consideramos exclusivamente cavernas inseridas nos campos rupestres ferruginosos.

Cardoso (2012) trabalhando com comunidade de aranhas na Península Ibérica encontrou uma diversidade funcional hipógea menor. Este autor argumenta que as cavernas nesse caso atuam como filtros uma vez que diversas estratégias de caça utilizadas nas áreas epígeas são ausentes nas comunidades subterrâneas de aranhas.

Já Fernandes e colaboradores (2016) ao estudarem comunidades de isópodes em cavernas e áreas adjacentes nos estados de Goiás e Bahia encontraram o cenário inverso: uma diversidade funcional maior das comunidades que habitavam nas cavernas. Nesse caso, o que se argumenta é que o fato de estes animais serem detritívoros favorece o aproveitamento dos recursos alimentares disponíveis. Além disso, o ambiente hipógeo forneceu um ambiente favorável à colonização desses animais quando comparado com o ambiente epígeo local, mais seco e com picos de temperatura, mais restritivo à colonização desses organismos.

Gallão (2017) ao analisar a diversidade funcional de escorpiões presentes na Chapada Diamantina, nordeste da Bahia, encontrou um maior de FD maior para os representantes epígeos. Os animais subterrâneos formaram um grupo no dendrograma funcional.

Desta forma, as cavidades não representam filtros ambientais para os opiliões em nenhum dos dois cenários observados. Ao analisarmos todos os locais estudados, com cavernas inseridas tanto em área de floresta atlântica como em campos rupestres, obtivemos uma diversidade funcional ligeiramente maior no ambiente epígeo, mas esta não foi significativa. Ainda neste cenário, foi encontrado um táxon, *Pachylinae* sp. 1, exclusivamente presente no ambiente hipógeo, nas duas cavidades localizadas nas áreas de floresta atlântica.

Quando analisadas somente as cavidades inseridas em campos rupestres ferruginosos, observamos que a diversidade funcional foi maior para o ambiente hipógeo. Nesse caso as cavernas não foram filtros para os opiliões. Encontramos os táxons em duas situações: sempre dentro das cavidades em todas as ocasiões de coleta, e aqueles encontrados no período diurno abrigados nas cavidades e em ambiente epígeo no período noturno.

As cavidades localizadas no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade não atuam como filtros da opilionofauna, mas sim como abrigos, o que as torna ainda mais relevantes do ponto de vista da paisagem, pois, além de abrigarem uma fauna com processos evolutivos únicos, também funcionariam como refúgios temporários para a fauna epígea em busca de condições mais amenas de abrigo do vento, umidade do ar mais elevada, menor risco de dessecação. Já para o Parque Municipal das Mangabeiras, a área na qual estão inseridas as cavidades é mais propícia à colonização pelos opilões epígeos.

## 6. Referências bibliográficas

- ACOSTA, L. E.; MACHADO, G. Diet and Foraging. In: Pinto-da-Rocha, R.; Machado, G.; Giribet, G. **Harvestmen: The Biology of Opiliones**. Harvard University Press, 2007.
- ADAMS, J. 1984. The habitat and feeding ecology of woodland harvestmen (Opiliones) in England. **Oikos**, 42: 361-370.
- AULER, A. S.; PARKER, C. W.; BARTON, H. A.; SOARES, G. A. 2019. Iron formation caves: Genesis and ecology. In: William B. White, David C. Culver, Tanja Pipan, **Encyclopedia of Caves**. 3. ed. Academic Press, 2019, 559-566 p.
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T.J.; SOUZA, J. L. P. de; SOLAR, R. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Manaus: Editora Inpa, 2015. 388 p.
- BARR, T. C. 1968. Cave Ecology and the Evolution of Trogllobites. In: Dobzhansky T., Hecht M.K., Steere W.C. **Evolutionary Biology**. Springer. Boston: Massachusetts, 1972, 35-102 p.
- BICHUETTE, M. E.; SIMÕES, L. B.; VON SCHIMONSKY, D. M.; GALLÃO, J. E. Effectiveness of quadrat sampling on terrestrial cave fauna survey-a case study in a Neotropical cave. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 2015, 37: 345–351 p.
- BICHUETTE, M. E.; FONSECA-FERREIRA, R.; GALLÃO, J. E. 2015. Biota associada às cavernas em formações ferríferas. In: Úrsula de Azevedo Ruchkys, Luiz Eduardo Panisset Travassos, Marcelo Augusto Rasteiro, Luciano Emerich Faria. (Org.). **Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 1. ed. São Paulo: Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2016, v. 1, 174-191 p.
- CAETANO, D. S.; MACHADO, G. The ecological tale of Gonyleptidae (Arachnida, Opiliones) evolution: phylogeny of a Neotropical lineage of armoured harvestmen using ecological, behavioral and chemical characters. **Cladistics**, 2013, v. 29. 589-609 p.
- CARDOSO, P. Diversity and community assembly patterns of epigeal vs. trogllobiont spiders in the Iberian Peninsula. **International Journal of Speleology**, 2012, v. 41, 83-94 p.
- CARMO, F. F. C.; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015, 552 p.
- CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro: 2019**. Brasília; 2020.
- CIANCIARUSO, M. V., SILVA, I. A.; BATALHA, M. A. Diversidades filogenéticas e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**. Campinas, 2009, v. 9, n. 3. 93-103 p.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. Oxford University Press, 2009.
- DRAY, S.; DUFOUR, A. The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. **Journal of Statistical Software**, 2007, 22(4):1-20.
- EDGAR, A. L. Opiliones (Phalangida), 1990. 529-581 p. In D. L. Dindal. **Soil biology guide**. New York, John Wiley and Sons, 1990, 1349 p.

- ELLERS, J.; JERVIS, M. Body size and the timing of egg production in parasitoid wasps. **Oikos**, 2003, 102, 164-172 p.
- ENGEL, A. S. Observations on the biodiversity of sulfidic karst habitats. **Journal of Cave and Karst Studies**, 2007, 69, 187–206 p.
- FARIA, L. E.; SANTOS, L. V.; MARTINS, E. A.; SILVA, N. V. M.; MELO, B. S. A Paleotoca no Parque das Mangabeiras: o primeiro registro de um fóssil em Belo Horizonte-MG. In: 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia, 2019. **Anais**.
- FERNANDES, C. S.; BATALHA, M. A.; BICHUETTE, M. E. Does the Cave Environment Reduce Functional Diversity? **PLoS ONE**, 2016, v. 11, n. 3, e0151958 p.
- FERREIRA, R. L.; OLIVEIRA, M. P., A.; SILVA, M, S. Biodiversidade Subterrânea em Geossistemas Ferruginosos. 2015 In: CARMO, F. F. C.; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora 2015, 552 p.
- FISER, C.; BLEJEC, A.; TRONTELJ, P. Niche-based mechanisms operating within extreme habitats: A case study of subterranean amphipod communities. **Biology Letters**, 2012, v. 8, 578–581 P.
- FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia. Saberes Necessários à Prática Educativa**. Rio de Janeiro. Paz e Terra. 1997, 144 p.
- GALLÃO, J. E. Distribuição e estrutura populacional dos escorpiões cavernícolas *Troglohopalurus translucidus* e *Troglohopalurus lacrau*. 2017. Tese. Doutorado em Biologia Comparada. USP. Ribeirão Preto.
- GIBERT, J.; DEHARVENG, L. Subterranean Ecosystems: A Truncated Functional Biodiversity. **BioScience**, 2002, v. 52, n. 6, 473–481 P.
- GNASPINI, P.; HARA, M. R.; Defense Mechanisms. In: Pinto-da-Rocha, R.; Machado, G.; Giribet, G. **Harvestmen: The Biology of Opiliones**. Harvard University Press, 2007.
- HOLSINGER, J. R.; CULVER, D. C. The invertebrate cave fauna of virginia and a part of eastern tennessee-zoogeography and ecology. **Brimleyana**, 1988, 14: 1-162 p.
- JUBERTHIE, C. 2000. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: Wilkens, H.; Culver, D. C.; W. F. Humphreys. *Ecosystems of the World* 30. **Subterranean Ecosystems**. Elsevier, Amsterdam, 2001, 791 p.
- KEDDY, P. A. Assembly and Response Rules: Two Goals for Predictive Community Ecology. **Journal Of Vegetation Science**, 1992, 3(2): 157–164 p.
- KREBS, C. J. **Ecological Methodology**. New York: Harper Collins Publ, 1989, 654 p.
- KURY, A. B. Opiliones are no longer the same—on suprafamilial groups in harvestmen (Arthropoda: Arachnida). **Zootaxa**, 2015, 3925(3), 301–340 p. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3925.3.1>
- LANGHECKER, T. G. The effects of continuous darkness on cave ecology and cavernicolous evolution. 2000. In: Wilkens, H.; Culver, D. C.; W. F. Humphreys. **Ecosystems of the World: Subterranean Ecosystems**. Elsevier. Amsterdam, 2000, 791 p.

- LEVETT, A.; GAGEN, E.; SHUSTER, J.; RINTOUL, L.; TOBIN, M.; VONGSVIVUT, J.; BAMBERY, K.; VASCONCELOS, P.; SOUTHAM, G. Evidence of biogeochemical processes in iron duricrust formation. **Journal of South American Earth Sciences**, 2016, v. 71, 131-142 p.
- MACHADO, G. Maternal care, defense behavior, and sociality in Neotropical Goniosoma Harvestmen (Arachnida, Opiliones). **Insectes Sociaux**, 2002, v. 49, 388-393 p.
- PALMER, A. N. **Cave Geology**. 2. ed. Kansas: Allen Press, 2009, 454 p.
- PAULA, C. C. P.; MONTOYA, Q. V.; RODRIGUESO, A.; BICHUETTE, M. E.; SELEGHIM, M. H. R. Terrestrial filamentous fungi from gruta do Catão (São Desidério, Bahia, northeastern Brazil) show high levels of cellulose degradation. **Journal of Cave and Karst Studies**, 2016, 78(3): 208–217 p.
- PEREIRA, M. C.; RODET, J. G. M. A.; SALGADO, A. A. R. Aspectos Genéticos e Morfológicos da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2012, v.13, n.4, (Out-Dez), 465-476 p.
- PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; CECCARELLI, F. S.; MONTE, B.; PROUND, D. N.; DA SILVA, M. B.; BICHUETTE, M. E. Light from dark: A relictual troglobite reveals a broader ancestral distribution for kimulid harvestmen (Opiliones: Laniatores: Kimulidae) in South America. **PloS ONE**, 2017, 12(11): e0187919 p. doi:10.1371/journal.pone.0187919
- PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. 2006. Funcional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, 2006, v. 9, 741-758 p.
- PILÓ, L. B.; AULER, A. Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. **O Carste**, 2005, 17(3): 92-105 p.
- PILÓ, L. B.; COELHO, A. & REINO, J. C. Geoespeleologia em rochas ferríferas: cenário atual e conservação. 2015 In: Carmo, F. F. C.; Kamino, L. H. Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015, 552 p.
- PINTO-DA-ROCHA, R. Sinopse da Fauna Cavernícola do Brasil (1907 – 1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**. São Paulo, 1995, v. 39, 61-17 p.
- PINTO-DA-ROCHA, R.; FONSECA-FERREIRA, R.; BICHUETTE, M. E. A new highly specialized cave harvestman from Brasil and the first blind species of the genus: *landumoema smeagol* sp. n. (Arachnida, Opiliones, Gonyleptidae). **ZooKeys**, 2015, v. 537, 79-95 p.
- PINTO-DA-ROCHA, R.; MACHADO, G.; GIRIBET, G. **Harvestmen: The Biology of Opiliones**. Harvard University Press, 2007.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. The Cave Environment. **Science**. Washington/Cambridge, 1969, v. 3897, n. 165, 971-980 p.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- RACOVITZA, E. G. Essai sur les problèmes biospéologiques. **Archives de Zoologie Experimentale et Générale**, Paris, 1907, v. 36, 371-488 p.
- RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. D.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012.

- RASPOTNIG, G. Scent gland chemistry and chemosystematics in harvestmen. **Biologia Serbica**, 2012, 34(1): 5–18 p.
- RASPOTNIG, G.; BODNER, M.; SCHAFFER, S.; KOBLMULLER, S.; SCHONHOFER, A.; KARAMAN, I. Chemosystematics in the Opiliones (Arachnida): A comment on the evolutionary history of alkylphenols and benzoquinones in the scent gland secretions of Laniatores. **Cladistics**, 2015, 31(2): 202–209 p. <https://doi.org/10.1111/cla.12079>
- ROCHA, D. F. O.; HAMILTON, K.; GONÇALVES, C. C. S.; MACHADO, G.; MARSAIOLI, A. J. 6-Alkyl-3,4-dihydro-2 H -pyrans: Chemical Secretion Compounds in Neotropical Harvestmen. **Journal of Natural Products**, 2011, 74(4): 658–663 p. <https://doi.org/10.1021/np100719f>
- ROCHA, D. F. O.; WOUTERS, F. C.; ZAMPIERI, D. S.; BROCKSOM, T. J; MACHADO, G.; MARSAIOLI, A. Harvestmen Phenols and Benzoquinones: Characterisation and Biosynthetic Pathway. **Molecules**, 2013, v. 18, 11429-11451 p.
- SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? **Journal of Natural History**, 2008, v. 42, n. 21-22, 1549-1563 p.
- THINÈS, G.; TERCAFS, R. **Atlas de la vie souterraine**. Bruxelles: Albert de Visscher Ed., 1972.
- TILMAN, D. 2001. Functional diversity. In **Encyclopedia of Biodiversity** (S.A. Levin, ed.). Academic Press, San Diego, 2000, 109-120 p.
- TODD, V. The habits and ecology of the British harvestman (Arachnida. Opiliones) with special reference to those of the Oxford District. **Journal Animal Ecology**, 1949, 18:209-229 p.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. **Biologia subterrânea: Introdução**. São Paulo: Redespeleo, 2006, 2 p.
- TRAJANO, E. 2012. Ecological Classification of Subterranean Organisms. p. 275-277 In: WHITE, W. & CULVER, D. (Eds.). **Encyclopedia of Caves**. Elsevier, 2019, 966 p.
- TRAJANO, E.; CARVALHO, M. R. Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation. **Subterranean Biology**, 2017, v. 22, 1-26 p.
- VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do estado de Minas Gerais. **Revista Informe Agropecuário**, 1986, v. 12, n. 138, 6 – 8 p.
- WILLEMART, R. H.; TAQUES, B., G. 2013. Morfologia e ecologia sensorial em aracnídeos troglóbios: perspectivas para a espeleobiologia brasileira. **Revista da Biologia**, 2013, v. 10, n 2, 46-51 p.
- WOODWARD, G.; EBENMMAN, B.; EMMERSON, M.; MONTOYA, J. M.; OLESEN, J. M.; VALIDO, A. *et al.* Body size in ecological networks. **Trends in Ecology & Evolution**, 2005, 20:402-409 p.
- WOUTERS, F. C.; ROCHA, D. F. O.; GONÇALVES, C. C. S.; MACHADO, G.; MARSAIOLI, A. Additional Vinyl Ketones and Their Pyranyl Ketones in Gonyleptid Harvestmen (Arachnida: Opiliones) Suggest These Metabolites Are Widespread in This Family. **Journal of Natural Products**, 2013, v. 76, 1559-1564 p.



## Anexo 1

Além das coletas de opiliões, foram amostrados artrópodes para um futuro trabalho de diversidade geral das cavidades. Também existem dados referentes a coletas anteriores de quando começaram os levantamentos para a confecção do Plano de Manejo do Monumento Natural da Serra da Piedade. Após encerradas as coletas e a identificação até o menor nível taxonômico possível, poderemos comparar os dados do presente trabalho com os dados de coletas anteriores. A Tabela 1 apresenta os táxons coletados Parque Municipal das Mangabeiras e a Tabela 2 apresenta os táxons coletados no Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade. No Parque Municipal das Mangabeiras foram coletadas 20 morfoespécies referentes aos 13 táxons encontrados. Para o Monumento Natural Estadual da Serra da Piedade foram encontradas 29 morfoespécies referentes aos 22 táxons amostrados. Aqui, é importante salientar a presença de exemplares de Palpigradi, coletados na gruta Monges e na gruta Piedade.

**Tabela 1.** Listagem faunística de artrópodes da região de Mangabeiras, de cavernas em minério de ferro, município de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Classe	Ordem	Sub-Ordem	Família	Sub-Família	Morfoespécie	E	H
Arachnida	Acari				sp. 1		X
Arachnida	Acari				sp. 2	X	
Arachnida	Acari				sp. 3		X
Arachnida	Aranae				sp. 1		X
Arachnida	Aranae				sp. 2		X
Arachnida	Aranae				sp. 3	X	X
Myriapoda	Symphyla				sp. 1	X	
Insecta	Coleoptera				sp. 1		X
Insecta	Coleoptera				sp. 2	X	
Entognatha	Collembola				sp. 1		X
Entognatha	Collembola				sp. 2	X	
Entognatha	Collembola				sp. 3		X
Insecta	Diptera				sp. 1	X	
Insecta	Diptera		Tipulidae		sp. 2	X	
Insecta	Diptera				sp. 3		X
Insecta	Hemiptera	Heteroptera			sp. 1		X
Insecta	Hemiptera	Auchenorrhyncha			sp. 1		X

Insecta	Hemiptera		Reduviidae		sp. 1		X
Insecta	Hemiptera		Reduviidae		sp. 1	X	
Insecta	Hemiptera				sp. 1		X
Insecta	Hemiptera				sp. 2		X
Insecta	Hymenoptera				sp. 1		X
Insecta	Hymenoptera		Formicidae		sp. 1		X
Insecta	Hymenoptera		Formicidae		sp. 2		X
Insecta	Hymenoptera		Formicidae		sp. 1	X	
Malacostraca	Isopoda				sp. 1	X	X
Insecta	Isoptera				sp. 1		X
Insecta	Lepidoptera				sp. 1		X
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae	Pachylinae	sp. 1		X
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae	Heteropahylinae	sp. 1	X	
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae		<i>Longiperna trembao</i>	X	
Arachnida	Pseudoescorpiones				sp. 1		X
Insecta	Trichoptera				sp. 1		X

**Tabela 2.** Listagem faunística de artrópodes da região de Piedade, presentes em cavernas de minério de ferro, no município de Caeté, em Minas Gerais.

Classe	Ordem	Sub-Ordem	Família	Sub-Família	Morfoespécie	E	H
Arachnida	Acari						X
Malacostraca	Amphipoda						X
Arachnida	Araneae						X
Insecta	Archeognatha						X
Insecta	Blattaria					X	X
Myriapoda	Chilopoda						X
Insecta	Coleoptera					X	X
Entognatha	Collembola					X	X
Myriapoda	Diplopoda	Polydesmida					X
Myriapoda	Diplopoda						X
Insecta	Diptera						X
Insecta	Hymenoptera		Formicidae				X
Insecta	Hemiptera	Auchenorrhyncha					X
Insecta	Hemiptera	Heteroptera					X
Insecta	Hemiptera	Heteroptera	Reduviidae				X

Malascotraca	Isopoda						X
Insecta	Isoptera						X
Insecta	Lepidoptera						X
Arachnida	Opilioacarida						X
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae		<i>Neosadocus</i> sp. 1	X	X
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae		<i>Mitogoniella</i> <i>indistincta</i>	X	X
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae	Pachyli nae			X
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae	Giniassamiinae		X	
Arachnida	Opiliones		Gonyleptidae		<i>Goniosoma</i> sp. 1		X
Arachnida	Orthoptera	Ensifera					X
Arachnida	Palpigradi						X
Arachnida	Pseudoescorpiones						X
Insecta	Psocoptera						X
Insecta	Thysanura						X