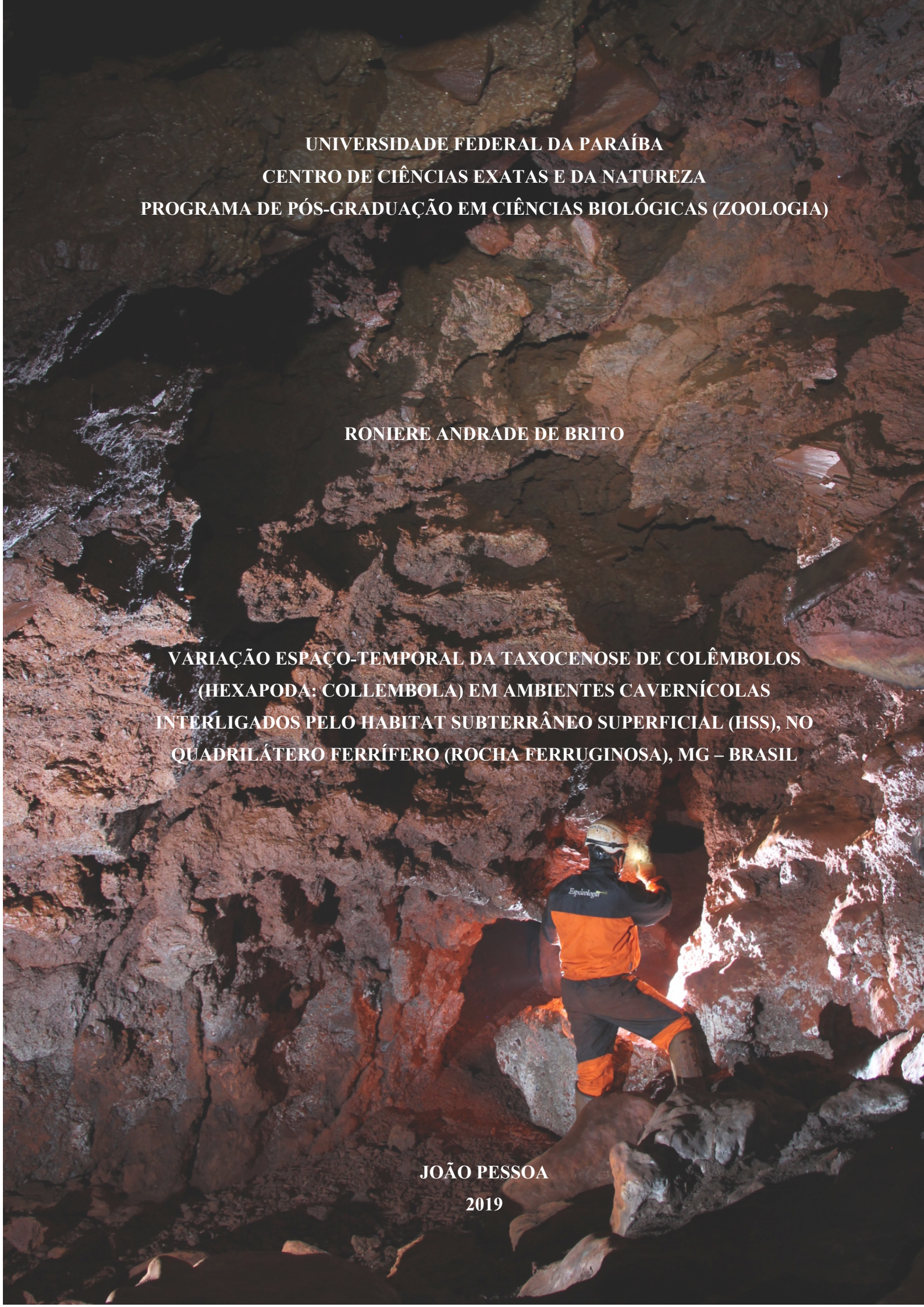




UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA)

RONIERE ANDRADE DE BRITO

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TAXOCENOSE DE COLÊMBOLOS
(HEXAPODA: COLLEMBOLA) EM AMBIENTES CAVERNÍCOLAS
INTERLIGADOS PELO HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL (HSS), NO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO (ROCHA FERRUGINOSA), MG – BRASIL

JOÃO PESSOA

2019

RONIERE ANDRADE DE BRITO

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TAXOCENOSE DE COLÊMBOLOS
(HEXAPODA: COLLEMBOLA) EM AMBIENTES CAVERNÍCOLAS
INTERLIGADOS PELO HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL (HSS), NO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO (ROCHA FERRUGINOSA), MG – BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Zeppelini

JOÃO PESSOA

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B862v Brito, Roniere Andrade de.

Variação espaço-temporal da taxocenose de colêmbolos (Hexapoda: Collembola) em ambientes cavernícolas interligados pelo Habbit Subterrâneo Superficial (HSS), no Quadrilátero Ferrífero (rocha ferruginosa), MG - Brasil / Roniere Andrade de Brito. - João Pessoa, 2019. 134 f. : il.

Orientação: Douglas Zeppelini.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Arthropoda. 2. Biologia Subterrânea. 3. Cavernas feríferas. 4. Conservação. 5. Espécie troglóbia. 6. Troglomorfismo. I. Zeppelini, Douglas. II. Título.

UFPB/BC

RONIERE ANDRADE DE BRITO

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TAXOCENOSE DE COLÊMBOLOS
(HEXAPODA: COLLEMBOLA) EM AMBIENTES CAVERNÍCOLAS
INTERLIGADOS PELO HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL (MSS), NO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO (ROCHA FERRUGINOSA), MG – BRASIL**

Esta tese foi julgada e aprovada para obtenção do Grau de Doutor em Ciências Biológicas, área de concentração Zoologia no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

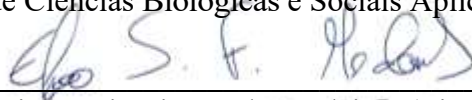
João Pessoa, 22 de outubro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Douglas Zeppelini (Orientador)
Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas – UEPB

Dr. Cleber Ibraim Salimon (Titular externo)
Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas – UEPB



Dr. Elvio Sérgio Figueredo Medeiros (Titular externo)
Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas – UEPB

Dr. Bruno Cavalcante Bellini (Titular externo)
Departamento de Botânica e Zoologia – UFRN

Dr. Antônio José Creão Duarte (Titular interno)
Departamento de Sistemática e Ecologia – UFPB

Dra. Aila Soares Ferreira (Suplente externo)
Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias – UNAM

Dr. Alexandre Pereira Colavite (Suplente interno)
Departamento de Sistemática e Ecologia – UFPB

Dedico este trabalho a Douglas Zeppelini e Robson Zampaulo. Sem eles seria impossível realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Vale S.A. por acreditar no potencial do projeto e disponibilizar os recursos financeiros necessários para execução – e isto inclui a bolsa de pesquisa, o deslocamento de João Pessoa a Belo Horizonte para todas as coletas, caminhonete para campo – e os recursos humanos, cujo valor é inestimável, aqui representados por:

- Iuri Brandi, Gerente de Espeleologia da Mina de Águas Claras, Nova Lima, Minas Gerais.
- Robson A. Zampaulo, bioespeleólogo que sem ele, e seu caráter altruísta, este trabalho não seria executado. Muito obrigado pela hospitalidade, pela atenção nos momentos mais difíceis, pelos conselhos e ajuda nas coletas.
- Aline da Silva Reis, bioespeleóloga, pelo suporte nas coletas de campo e sugestões que foram fundamentais para a execução do trabalho.
- Carlos Tapia, geólogo, cuja contribuição foi ímpar para entendimento da estratificação dos furos de sondagem, e que por muitas vezes, assim como Leandro (que me doou um macacão para espeleologia – muito obrigado!), nos levou para campo e sempre foram pacientes ao esperar 8-9h nas serras, enquanto a coleta era realizada.
- William Demetrium, motorista oficial das coletas! Exerceu papel fundamental na dinâmica entre a cidade e o campo. Amável, divertido, através de suas histórias e estórias (principalmente a de cinco cobras verdes que passeavam juntas na Serra da Moeda – nunca vimos, mas ele jura que viu), sempre esteve disposto a ajudar no que era necessário, seja auxiliando com o material em campo nas armadilhas de furo de sondagem, até sair além do seu horário regulamentar de trabalho.
- E todos e todas as pessoas que compõem a Gerência Administrativa da Vale S.A. Minas de Águas Claras, Belo Horizonte, MG.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Douglas Zeppelini que sempre esteve presente na minha carreira acadêmica, a inspiração para pesquisa e aconselhamentos para além dos muros dos laboratórios. São 13 anos de parceria na realização de trabalhos e artigos. Muito obrigado, só tenho a agradecer.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) desta renomada Instituição Federal. Obrigado pelo apoio e compreensão nas horas mais difíceis para conclusão desta fase. Que vocês continuem firmes na construção da ciência no Brasil, cuja história, sempre

cíclica, nos mostra que nem todos estão dispostos a investir em conhecimento, em tecnologia, em pesquisa.

Ao grupo de pesquisa do Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação da Universidade Estadual da Paraíba: Aila Soares Ferreira, Estevam Cipriano A. de Lima, João Victor Lemos Cavalcante de Oliveira, Bruna Caroline Lopes, Nathan Brito, Idálio Amaranto, Misael Oliveira Neto, Luis Carlos Stievano e Tatiana Amorim. Todos vocês contribuíram de alguma maneira, seja de longe ou de perto, para realização deste trabalho. Sou extremamente grato.

A Fernando Ramos Queiroga e Anderson Ernani de Oliveira por estarem sempre presentes nos momentos mais difíceis desta jornada.

A minha família, Josineide Dias de Andrade, Pedro Rodrigues de Brito e Raniella Andrade de Brito, que mesmo distantes formam o meu porto seguro.

A Yuuki Go Takayama Inu e Aika Lua Go Takayama Inu[†] (*In memoriam*), akitas do qual sou tutor e que estiveram presentes transmitindo sua alegria e energia durante esta jornada.

A todos vocês, mais uma vez, MUITO OBRIGADO.

RESUMO

Cavernas são ambientes naturais subterrâneos formados por um ecossistema complexo, que pode abrigar espécies de animais adaptados às zonas mais profundas, caracterizada pela ausência total de luz, oligotrofia, temperatura com baixa oscilação circanual e umidade que tende a saturação. No Brasil, as alterações na legislação que versam sobre o assunto, que agora possibilita a supressão de cavernas, tem intensificado os estudos nas áreas do Quadrilátero Ferrífero (QF), em Minas Gerais, devido o valor econômico do minério de ferro aliado a alta concentração de cavernas. Os colêmbolos são mundialmente reconhecidos e utilizados para monitoramento dos impactos antrópicos sobre o ambiente. A taxocenose de Collembola pode ocupar toda a área de uma caverna, desde a lâmina d'água de pequenas poças até os canaliculos que fazem a comunicação com o Habitat Subterrâneo Superficial (HSS), como é definida as fissuras e rachaduras na rocha, que permite a comunicação de espécies entre cavernas e os horizontes superiores do solo. Para compreender a variação espaço-temporal da taxocenose de Collembola no ambiente cavernícola e a comunicação com o HSS, foram realizadas coletas ativas em três áreas distribuídas entre a Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e a Serra do Gandarela (Apolo), nos anos de 2016 e 2017. As variáveis temperatura e umidade também foram analisadas e correlacionadas com os dados bióticos. Os resultados mostram que a riqueza é influenciada pela umidade e não possui diferença significativa dentro ou fora da caverna. Enquanto que a abundância é influenciada pela temperatura e difere entre os ambientes hipógeo e epígeo. A taxocenose de Collembola varia de forma inversa entre os períodos secos – maior riqueza e menor abundância, e chuvosos – maior abundância e menor riqueza, com exceção da zona afótica que possui maior riqueza e abundância no período seco. O gênero mais comum registrado foi *Pseudosinella* Schäffer, 1897 seguido por *Cyphoderus* Nicolet, 1842. O HSS tem a umidade como variável estruturante da taxocenose de Collembola e apresenta temperaturas com menor amplitude anual. Registrou abundância 10 vezes maior e a metade da riqueza, quando comparado com a caverna. Há uma indicação que as cavernas do QF não possuem condições para formação de colêmbolos troglóbios, enquanto que o HSS tanto mantém populações quanto condições favoráveis a conduzir o processo evolutivo de espécies troglóbias. Portanto, são necessários ajustes nos mecanismos utilizados para tratar de Conservação e Monitoramento Ambiental nas áreas de mineração.

Palavras-chave: Arthropoda. Biologia subterrânea. Cavernas ferríferas. Conservação. Espécie troglóbia. Troglomorfismo.

ABSTRACT

Caves are natural subterranean environments formed by a complex ecosystem, with animal species adapted to deep zones, characterized by the total absence of light, oligotrophy, temperature with low circannual oscillation and humidity at the limit of saturation. In Brazil, the changes in the legislation about cave, which now allows the suppression, has intensified studies in the Quadrilátero Ferrífero (QF) areas mineral, Minas Gerais, Brazil, due to economic value of high concentration iron caves. Springtails are known worldwide and used to monitor anthropogenic impacts on environment. The Collembola fauna can occupy the entire area of cave, from the shallow little of water to canals that communicate with the Shallow Subterranean Habitats (SSH), as defined by rock cracks, which allow species to communicate between caves and initial horizons of ground. To understand the spatial and temporal variation of springtails in the cave environment and communication with the SSH, collections were carried out in three areas distributed between Serra da Moeda (Serrinha and Capitão do Mato) and Serra do Gandarela (Apolo) in 2016 and 2017. Temperature and humidity variables were also analyzed and correlated with biotic data. The results indicate that the richness is influenced by temperature, and has no significant difference inside or outside the cave. While abundance is influenced by humidity and differs between the hypogean and epigean environments. The composition of springtails varies inversely between dry periods – higher richness and lower abundance, and rainy season – higher abundance and lower richness, regardless of the environment. The exception is the aphotic zone which has greater richness and abundance in dry season. The most common genus recorded was *Pseudosinella* Schäffer, 1897 followed by *Cyphoderus* Nicolet, 1842. SSH has humidity as the structuring variable of springtails taxocenosis, and has lower annual amplitude temperatures. It registered abundance 10 times greater, and half the richness when compared to cave. There is indication that QF caves do not have conditions for formation of troglobites springtails, while the SSH maintains populations and conditions conducive to the evolutionary process of troglobites species. Therefore, adjustments are necessary in mechanisms used for Conservation and Environmental Monitoring in mining areas.

Keywords: Arthropoda. Conservation. Iron caves. Subterranean biology. Troglobites species. Troglomorphism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação dos tipos de MSS (Milieu Souterrain Superficiel – Meio Subterrâneo Superficial) de acordo com Mammola et al. 2016: (a) Juberthie (1984); (b) Juberthie (2000) (Top soil layers, MSS, Fissured rock); (c) Uéno (1987); (d) Giachino & Vailati (2005, 2010); (e) Růžicka (1990); e (f) Ortuño et al. (2013).....	23
Figura 2 –	Testemunhos de furos de sondagem em litologia de minério de ferro, na região de Carajás, Pará. Junto com o Quadrilátero Ferrífero elas centralizam mais de 90% das jazidas e minério de ferro no Brasil. (a) – (d) é possível observar os canalículos do HSS presente na canga entre 0 – 6.7 metros de profundidade, (e) e (f) HSS formado por fissuras nas rocha abaixo do regolito a 37,39 metros e 60 metros de profundidade. Fotos cedidas pela empresa Vale S.A.....	24
Figura 3 –	Serra do Gandarela, localizada a Nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Verifica-se a presença da Canga (área descampada) e da vegetação presente nas drenagens de água. Foto: Brito, R.A. 2018.....	31
Figura 4 –	Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 1 – Serra da Moeda (Serrinha); 2 – Serra da Moeda (Capitão do Mato); 3 – Serra do Gandarela (Apolo).....	34
Figura 5 –	Serra da Moeda, Serrinha: cavernas (SERR) e furos de sondagem (FSD).....	35
Figura 6 –	Serra da Moeda, Capitão do Mato: cavernas (CPMT) e furos de sondagem (FSD).....	36
Figura 7 –	Serra do Gandarela, Apolo: cavernas (AP) e furos de sondagem (FDMQ).....	37
Figura 8 –	Coleta em caverna. A – ambiente epígeo; B – zona de entrada; C – zona disfótica; D – zona afótica; E – recipiente de vidro para aspirador entomológico.....	38
Figura 9 –	Mapa topográfico da caverna SERR 02 – Serrinha, Serra da Moeda, MG.....	39
Figura 10 –	Mapa topográfico da caverna SERR 09 – Serrinha, Serra da Moeda, MG.....	40

Figura 11 – Mapa topográfico da caverna SERR 14 – Serrinha, Serra da Moeda, MG.....	41
Figura 12 – Mapa topográfico da caverna CPMT 08 – Capitão do Mato, Serra da Moeda, MG.....	42
Figura 13 – Mapa topográfico da caverna CPMT 15 – Capitão do Mato, Serra da Moeda, MG.....	43
Figura 14 – Mapa topográfico da caverna CPMT 16 – Capitão do Mato, Serra da Moeda, MG.....	44
Figura 15 – Mapa topográfico da caverna AP 09 – Apolo, Serra do Gandarela, MG.....	45
Figura 16 – Mapa topográfico da caverna AP 38 – Apolo, Serra do Gandarela, MG.....	46
Figura 17 – Mapa topográfico da caverna AP 47 – Apolo, Serra do Gandarela, MG.....	47
Figura 18 – Armadilha para coleta no HSS, através dos furos de sondagem, no Quadrilátero Ferrífero, MG.....	51
Figura 19 – As armadilhas inseridas nos furos de sondagem dispostas entre os perfis da canga e itabirito, abrangendo as fissuras e rachaduras nas rochas subjacentes.....	52
Figura 20 – Composição das espécies de colêmbolos da zona afótica para as cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).....	55
Figura 21 – Curva de acumulação de espécies de Collembola na zona afótica. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.....	56
Figura 22 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola na zona afótica a partir de estimadores de diversidade.....	56
Figura 23 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona afótica, entre os meses de coleta.....	57
Figura 24 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona afótica, entre as cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e a Serra do Gandarela (AP).....	57

Figura 25 –	Valores médios de temperatura e umidade na zona afótica das cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).....	58
Figura 26 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.057$, $R^2_{adj} = - 0.008$, $p = 0.47$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	59
Figura 27 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a abundância de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.06$, $R^2_{adj} = - 0.004$, $p = 0.31$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%...	60
Figura 28 –	Composição das espécies de colêmbolos da zona disfótica para as cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).....	61
Figura 29 –	Curva de acumulação de espécies de Collembola na zona disfótica. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.....	62
Figura 30 –	Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola na zona disfótica a partir de estimadores de diversidade.....	62
Figura 31 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona disfótica entre os meses de coleta.....	63
Figura 32 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona disfótica, entre as cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e a Serra do Gandarela (AP).....	64
Figura 33 –	Valores médios de temperatura e umidade na zona disfótica das cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).....	65
Figura 34 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.000$, $R^2_{adj} = - 0.066$, $p = 0.99$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	65
Figura 35 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a abundância de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.058$,	

	$R^2_{adj} = - 0.004, p = 0.40$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	66
Figura 36 –	Composição das espécies de colêmbolos da zona de entrada para as cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).....	67
Figura 37 –	Curva de acumulação de espécies de Collembola na zona de entrada. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.....	68
Figura 38 –	Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola na zona de entrada a partir de estimadores de diversidade.....	68
Figura 39 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona de entrada entre os meses de coleta.....	69
Figura 40 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona de entrada entre as cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e a Serra do Gandarela (AP).....	70
Figura 41 –	Valores médios de temperatura na zona de entrada das cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).....	70
Figura 42 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.072, R^2_{adj} = 0.008, p = 0.33$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	71
Figura 43 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a abundância de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.012, R^2_{adj} = - 0.055, p = 0.83$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	72
Figura 44 –	Diagrama de Venn com a distribuição das espécies nos ambientes hipógeo (Entrada – Disfótico – Afótico) e epígeo (Externa). A riqueza total é representada pela letra “S”, abundância por “n”.....	73
Figura 45 –	Composição das espécies de colêmbolos no ambiente epígeo adjacente às cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).....	74

Figura 46 –	Curva de acumulação de espécies de Collembola no ambiente epígeo. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.....	75
Figura 47 –	Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola no ambiente epígeo a partir de estimadores de diversidade.....	75
Figura 48 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no ambiente epígeo entre os períodos de seca e chuva.....	76
Figura 49 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no ambiente epígeo entre os meses de coleta.....	76
Figura 50 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no ambiente epígeo adjacentes às cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e da Serra do Gandarela (AP).....	77
Figura 51 –	Valores médios de temperatura no ambiente epígeo adjacentes às cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).....	78
Figura 52 –	Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.072$, $R^2_{adj} = 0.008$, $p = 0.33$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	79
Figura 53 –	Regressão Linear Simples entre a abundancia de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.005$, $R^2_{adj} = - 0.032$, $p = 0.71$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	79
Figura 54 –	Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos entre os ambientes hipógeo (afótico, disfótico e entrada) e epígeo (externa) adjacente à caverna, nas regiões da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e da Serra do Gandarela (AP).....	80
Figura 55 –	Relação entre o perfil térmico e a abundância de colêmbolos no gradiente espacial que se estende da zona afótica ao meio externo à caverna.....	82
Figura 56 –	Relação entre a umidade e a riqueza de colêmbolos no gradiente espacial que se estende da zona afótica ao meio externo à caverna.....	82
Figura 57 –	Curva de acumulação de espécies de Collembola no HSS. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.....	84

Figura 58 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola no HSS a partir de estimadores de diversidade.....	84
Figura 59 – Composição das espécies de colêmbolos no HSS, perfil canga (3 a 10 metros).....	85
Figura 60 – Composição das espécies de colêmbolos no HSS, perfil Itabirito (14 a 41 metros).....	85
Figura 61 – Perfil da temperatura nas profundidades dos furos de sondagens da área de Serrinha, Serra da Moeda. A: perfil a 3 metros; B: perfil a 9 metros.....	88
Figura 62 – Perfil da temperatura nas profundidades dos furos de sondagens da área de Capitão do Mato, Serra da Moeda. A: perfil a 3.7 metros; B: perfil a 15 metros.....	89
Figura 63 – Perfil da temperatura nas profundidades dos furos de sondagens da área de Apolo, Serra do Gandarela. A: perfil a 4.5 metros; B: perfil a 41.9 metros.....	90
Figura 64 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no HSS de acordo com a estratificação da profundidade em Canga (3 a 10 metros) e Itabirito (14 a 41 metros).....	91
Figura 65 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no HSS de acordo com as áreas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e da Serra do Gandarela (AP).....	91
Figura 66 – Regressão Múltipla linear entre a abundancia de espécies de Collembola com a umidade e a temperatura (umidade: $R^2 = 0.24$, $R^2_{adj} = 0.18$, $p = 0.033$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Espécies de colêmbolos cavernícolas do Brasil, organizadas em ordem alfabética. Aquelas avaliadas como ameaçadas estão listadas no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, 2016, de acordo com as categorizações de risco da IUCN (siglas: CR = Criticamente em Perigo, EN = Em Perigo, VU = Vulnerável).....	20
Tabela 2 –	Distribuição dos pontos de coleta nas serras da Moeda e Gandarela. As cavidades da Serra da Moeda estão divididas entre Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT). As cavernas da Serra do Gandarela são abreviadas como AP.....	32
Tabela 3 –	Distribuição dos pontos de coleta no HSS nas Serras da Moeda e Gandarela.....	48
Tabela 4 –	Profundidade dos furos de sondagem para coletas no HSS, na Serra da Moeda e Serra do Gandarela. (*) simboliza as armadilhas que possuem termohigrômetro; FSD e FDMQ são nomenclaturas da Vale para identificação dos furos de sondagens; PFS = Profundidade do furo de sondagem, PA = Profundidade da armadilha, m = metros.....	49
Tabela 5 –	Perfis litológicos dos furos de sondagem no HSS, na Serra da Moeda e Serra do Gandarela. Dados geológicos obtidos da mineradora Vale S.A.....	50
Tabela 6 –	Espécies mais abundantes que compõem a zona afótica.....	54
Tabela 7 –	Espécies mais abundantes que compõem a zona disfótica.....	61
Tabela 8 –	Espécies mais abundantes que compõem a zona entrada.....	67
Tabela 9 –	Riqueza (S) e abundância (n) de colêmbolos de acordo com a estratificação de coleta.....	81
Tabela 10 –	Análises de similaridade da composição de colêmbolos, entre as zonas cavernícolas e o ambiente externo, e variância do ambiente epígeo e hipógeo.....	81
Tabela 11 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola no Habitat Subterrâneo Superficial – MSS de setembro/2016 a junho/2018.....	86
Tabela 12 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de junho de 2016.....	112

Tabela 13 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de setembro de 2016.....	113
Tabela 14 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de dezembro de 2016.....	115
Tabela 15 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de março de 2017.....	116
Tabela 16 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de junho de 2016.....	117
Tabela 17 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de setembro de 2016.....	118
Tabela 18 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de dezembro de 2016.....	120
Tabela 19 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de março de 2017.....	121
Tabela 20 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de junho de 2016.....	123
Tabela 21 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de setembro de 2016.....	124
Tabela 22 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de dezembro de 2016.....	126
Tabela 23 –	Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de março de 2017.....	127

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	017
1.1	A CLASSE COLLEMBOLA.....	017
1.2	O AMBIENTE SUBTERRÂNEO.....	019
1.2.1	A fauna hipógea.....	021
1.2.2	Ecologia e diversidade da fauna cavernícola.....	026
2	OBJETIVOS.....	029
2.1	OBJETIVO GERAL.....	029
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	029
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	030
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	030
3.2	COLETA EM CAVERNA.....	031
3.3	COLETA NO HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL.....	048
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	053
4	RESULTADOS.....	054
4.1	O AMBIENTE HIPÓGEO.....	054
4.1.1	A zona afótica.....	054
4.1.2	A zona disfótica.....	060
4.1.3	A zona de entrada.....	066
4.2	O AMBIENTE EPÍGEO.....	072
4.3	A CAVERNA VS O AMBIENTE EXTERNO.....	080
4.4	O HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL.....	083
5	DISCUSSÃO.....	093
6	CONCLUSÃO.....	098
	REFERÊNCIAS.....	099
	APENDICE A	
	TABELAS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE COLLEMBOLA COLETADAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (ROCHA FERRUGINOSA), MINAS GERAIS, BRASIL.....	111
	APENDICE B	
	ESPÉCIES DE COLLEMBOLA COLETADAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (ROCHA FERRUGINOSA), MINAS GERAIS, BRASIL.....	128
	APENDICE C	
	RELAÇÃO DAS ESPÉCIES DE COLLEMBOLA DE ACORDO COM OS MESES E CAVIDADES DE OCORRÊNCIA.....	131

1 INTRODUÇÃO

1.1 A CLASSE COLLEMBOLA

A Classe Collembola Lubbock, 1870 (Arthropoda: Hexapoda) é composta por quatro ordens (*lato sensu*), sendo Poduromorpha e Entomobryomorpha com corpo alongado e segmentado, diferenciados principalmente pelo protórax ausente nos Entomobryomorpha; Symphypleona e Neelipleona apresentam corpo globular devido à fusão dos segmentos torácicos e abdominais, diferenciados pela ausência de olhos e antena menor que a cabeça em Neelipleona. A morfologia e a pigmentação variam dentro de cada grupo e estão relacionadas com as características do ambiente em que se encontram (BELLINGER *et al.*, 1996-2019; ZEPPELINI & BELLINI, 2004). Além da taxonomia, através do estudo quetotático, a pigmentação também é utilizada como uma ferramenta para delimitação de espécies crípticas encontradas no meio epígeo, como serapilheira de florestas e substratos não subterrâneos (KATZ *et al.*, 2015).

Os colêmbolos estão entre os mais generalistas e abundantes artrópodes terrestres, e assim como os ácaros constituem um importante componente da mesofauna. Apesar da sua distribuição cosmopolita, colêmbolos estão intimamente relacionados com o solo. Eles se alimentam principalmente de fungos, podendo consumir bactérias e detritos vegetais – euedáficos e hemiedáficos – ou pólen e algas – epidáficos – controlando a biomassa presente no solo, assim como servindo de vetor para dispersão (KOOISTRA, 1964; CASSAGNE *et al.*, 2003; CASTAÑO-MENESES *et al.*, 2004; BELLINI & ZEPPELINI, 2009; MATEOS & LUKIĆ, 2019). Algumas espécies são utilizadas como bioindicadores de qualidade, de impactos ambientais e monitoramento ambiental (FRAMPTON, 2000; CASSAGNE *et al.*, 2003, 2004; BELLINI & ZEPPELINI, 2009; ZEPPELINI, BRITO & LIMA, 2018). A sua presença (ou ausência) pode estar relacionada com alterações no pH, disponibilidade de determinados íons, água e nutrientes (FERREIRA *et al.*, 2018).

As primeiras espécies de Collembola foram oficialmente descritas no século XVIII, e atualmente existem 9.085 espécies em todo o mundo, incluídas em 710 gêneros, de 35 famílias. Desde a última década, cerca de 101 espécies são publicadas anualmente (BELLINGER *et al.*, 1996-2019). São animais com uma das linhagens, dentro de Arthropoda, mais bem-sucedidas na

evolução. Seu registro fóssil data do Devoniano Médio (há cerca de 400 milhões de anos), um dos mais antigos registros reconhecidos de animais terrestres (BELLINGER *et al.*, 1996-2019).

Na região Neotropical, entre os limites da América do Sul ao Centro-Sul do México (MORRONE, 2014), os dados levantados por Ferreira (2018) apontam para cerca de 700 espécies, alcançando valores de 741 quando analisadas as publicações recentes (BELLINI *et al.*, 2018; CIPOLA, MORAES & BELLINI, 2018a; CIPOLA, MORAES & BELLINI, 2018b; NUNES & BELLINI, 2018; OLIVEIRA, CIPOLA & ALMEIDA, 2018; PALACIOS-VARGAS, FERREIRA & ZEPPELINI, 2018; PALACIOS-VARGAS & VÁZQUEZ, 2018; SILVEIRA & MENDONÇA, 2018; ZEPPELINI *et al.*, 2018; ZEPPELINI, BRITO & LIMA, 2018; ZEPPELINI, LOPES & LIMA, 2018; LIMA, MENDONÇA & ZEPPELINI, 2019; LIMA, STIEVANO & ZEPPELINI, 2019; MEDEIROS & BELLINI, 2019; MENDONÇA & SILVEIRA, 2019; NEVES, MENDONÇA & QUEIROZ, 2019; NUNES & BELLINI, 2019; NUNES *et al.*, 2019; PALACIOS-VARGAS, 2019; PALACIOS-VARGAS & CASTANHO-MENEZES, 2019; PAZ, QUEIROZ & BELLINI, 2019; ZEPPELINI *et al.*, 2019).

No Brasil são reconhecidas 408 espécies, incluindo 278 endêmicas, em 113 gêneros (três gêneros endêmicos: *Amazhomidia* Cipola & Bellini, 2016 na Amazônia, *Rhynchocyrtus* Mendonça & Fernandes, 2007 e *Varelasminthurus* Silva, Palacios-Vargas & Bellini, 2015 na Floresta Atlântica). Próximo de completar 130 anos de estudos, iniciado com Dr. Ridley (1890), o Brasil vem aumentando o esforço de coleta, explorando novas áreas e regiões (ZEPPELINI *et al.*, 2013), para trazer à luz da ciência novas espécies de Collembola.

Nos ambientes cavernícolas do Brasil, apenas 28 espécies foram registradas, e 14 estão no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (BRASIL, 2018) (Tabela 1). Em termos de comparação com a Europa, por exemplo, já foram descritas mais de 240 espécies restritas às cavernas e às microcavidades formadas entre rochas no subsolo (CULVER & PIPAN, 2009a). Isso evidencia a dificuldade dos estudos de sistemática da fauna cavernícola de colêmbolos. É necessário ressaltar que estudos da fauna espeleológica no Brasil tem seu desenvolvimento no início da década de 1980 (DESSEN *et al.*, 1980), quando os trabalhos tratavam da composição e caracterização preliminar, principalmente de peixes, na região Sudeste.

Entretanto, este déficit vem sendo suprido devido, principalmente, à mudanças na legislação brasileira a exemplo do Decreto 6640/2008 e a Instrução Normativa 02/2009, que permitiram o avanço de empreendimentos sobre o patrimônio bioespeleológico brasileiro, podendo

ocorrer a supressão de cavidades de alta, média e baixa relevância, sendo protegidas as definidas como de máxima relevância (SIMÕES, 2013), listadas a seguir (somente atributos relacionados à biologia, de um total de onze):

Art. 3º Entende-se por cavidade natural subterrânea com grau de relevância máximo aquela que possui pelo menos um dos atributos listados abaixo:

- (...)
- VI abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais;
- VII habitat essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos;
- VIII habitat de troglóbio raro;
- IX interações ecológicas únicas;
- (...)

(Instrução Normativa 02/2009, MMA – Brasil)

Assim, trabalhos que abordam esta temática são necessários e estão cada vez mais em desenvolvimento, possibilitando a conexão entre setores público-privado, e o entendimento da evolução das espécies, distribuição biogeográfica e processos ecológicos.

1.2 O AMBIENTE SUBTERRÂNEO

As cavidades naturais subterrâneas ocorrem, na sua maioria, em carstes de diversos tipos de litologias. O carste refere-se ao relevo que é modulado devido a alta solubilidade da rocha, desenvolvendo porosidades que originam canalículos, que permitem a passagem da água e organismos, até a formação de condutos de grande dimensão, cujo afloramento e permissibilidade a entrada do homem recebe o nome de caverna (SALLUN-FILHO & KARMANN, 2012).

As cavernas são ecossistemas complexos devido aos diferentes níveis de compartimentalização, caracterizadas pela ausência permanente da incidência de luz nas zonas mais distantes (afótica) até a zona de entrada. A zona afótica é um ambiente com elevada estabilidade ambiental, tem umidade relativa alta, que tende à saturação, temperatura com pouca variação circadiana e circanual (CULVER, 1982; CULVER & PIPAN, 2009a). Toda a extensão da caverna é denominada de meio hipógeo.

Tabela 1. Espécies de colêmbolos cavernícolas do Brasil, organizadas em ordem alfabética. Aquelas avaliadas como ameaçadas estão listadas no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, 2016, de acordo com as categorizações de risco da IUCN (siglas: CR = Criticamente em Perigo, EN = Em Perigo, VU = Vulnerável, NA = Não Avaliado).

01	<i>Acherontides eleonora</i> Palacios-Vargas & Gnaspini-Netto, 1992	E N
02	<i>Acherontides serrasapoensis</i> Lima, Stievano & Zeppelini, 2019	N A
03	<i>Arrhopalites alambariensis</i> Zeppelini, 2006	C R
04	<i>Arrhopalites amorimi</i> Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995	C R
05	<i>Arrhopalites botuveraensis</i> Zeppelini, 2006	C R
06	<i>Arrhopalites glabrofasciatus</i> Zeppelini, Brito & Lima, 2018	N A
07	<i>Arrhopalites gnaspinii</i> Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995	C R
08	<i>Arrhopalites heteroculatus</i> Zeppelini, 2006	C R
09	<i>Arrhopalites lawrencei</i> Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995	C R
10	<i>Arrhopalites paranaensis</i> Zeppelini, 2006	C R
11	<i>Cyphoderus agnotus</i> Börner, 1906	-
12	<i>Cyphoderus arlei</i> Cassagnau, 1963	-
13	<i>Cyphoderus caetetus</i> Zeppelini & Oliveira, 2016	N A
14	<i>Cyphoderus innominatus</i> Mills, 1938	-
15	<i>Cyphoderus mucrominimus</i> Oliveira, Alves & Zeppelini, 2017	N A
16	<i>Cyphoderus mucrostrimenus</i> Oliveira, Alves & Zeppelini, 2017	N A
17	<i>Cyphoderus similis</i> Folsom, 1927	-
18	<i>Pararrhopalites papaveri</i> (Zeppelini & Palacios-Vargas, 1999)	E N
19	<i>Pararrhopalites sideroicus</i> Zeppelini & Brito, 2014	N A
20	<i>Pararrhopalites ubiquum</i> Zeppelini, Lima & Brito, 2018	N A
21	<i>Pararrhopalites wallacei</i> (Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995)	C R
22	<i>Pseudosinella ambigua</i> Zeppelini, Brito & Lima, 2018	N A
23	<i>Pseudosinella guanhaensis</i> Zeppelini, Brito & Lima, 2018	N A
24	<i>Troglobius brasiliensis</i> Palacios-Vargas & Zeppelini, 1995	C R
25	<i>Troglobius ferroicus</i> Zeppelini, Silva & Palacios-Vargas, 2014	C R
26	<i>Trogolaphysa aelleni</i> Yoshii, 1988	V U
27	<i>Trogolaphysa hauseri</i> Yoshii, 1988	V U
28	<i>Trogolaphysa hirtipes</i> (Handschin, 1924)	-

Ainda que existam registros da produção de energia nestes ambientes por quimioautotróficos (SARBU, 2000), o aporte de nutrientes em cavernas tem geralmente origem alóctone, devido à ausência de organismos fotossintetizantes. A entrada direta é através de cursos

d'água, enxurradas, águas que lixiviam as fendas e outras comunicações, e indireta quando carregadas por animais que utilizam as cavernas como abrigo, eliminando seus dejetos, fonte de matéria orgânica, como por exemplo os morcegos (CULVER, 1982; SIMON *et al.*, 2007).

Já a região externa à caverna, por sua vez, é denominada de ambiente epígeo, cuja fitofisionomia depende da região em que a caverna está localizada – geralmente envolta por resquícios de vegetação do bioma predominante.

A principal litologia conhecida na formação cárstica é a rocha carbonática (calcário e dolomita) que compreende a “carste tradicional”, predominante nos espaços subterrâneos existentes em território brasileiro, mas com baixo número de cavernas conhecidas. Outras litologias não tradicionais são formadas por quartzitos, arenitos, granitos, minério de ferro, gelo, dentre outras (PILO & AULER, 2011). Em litologia com expressivo potencial econômico, como o minério de ferro, estudos tornam-se uma ferramenta importante para o monitoramento ambiental, como é o caso das áreas de exploração de minério em Minas Gerais, para cumprimento da legislação vigente (SIMÕES, 2013).

A região Sudeste abriga 40% (3.181) das cavernas registradas no Brasil (7.892), apenas o estado de Minas Gerais corresponde a 75% (2.375) desta distribuição (SBE, 2019). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (BRASIL, 2018), entre os principais vetores de ameaça à fauna a expansão urbana exerce maior pressão que a mineração, devido o zoneamento de áreas com vegetação, em especial de Mata Atlântica, para construção de condomínios, a exemplo da Região Metropolitana de Belo Horizonte e cidades circunvizinhas, que ocasiona a perda e fragmentação do habitat.

Além do ambiente cavernícola ser tratado como um sistema sensível à perturbação antrópica, as espécies que ocupam o meio hipógeo respondem a fatores intrínsecos que limitam sua capacidade de dispersão, resultando em distribuição restrita, taxa reprodutiva e vulnerabilidade à mudanças no ambiente (BRASIL, 2018).

1.2.1 A fauna hipógea

Em cavernas pode-se distinguir quatro zonas ambientais: a zona de entrada formada pelo encontro do ambiente subterrâneo e epígeo; zona de penumbra onde a luz diminui progressivamente; zona de transição que inclui parte da região afótica que sofre influência do meio

epígeo; e a zona profunda, meio hipógeo, onde o ambiente é estável com evaporação negligenciável (TRAJANO, 1987; WHITE & CULVER, 2012).

Por concentrar o maior número de cavernas, o relevo do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais favorece a conexão entre cavidades que estão distribuídas no mesmo afloramento rochoso. Tal conectividade desempenha um papel fundamental no ciclo de vida de algumas espécies adaptadas ao ambiente subterrâneo, principalmente àquelas que são consideradas restritas, como também permitir sua comunicação com cavernas mais distantes (NITZU *et al.*, 2010; NITZU *et al.*, 2014).

Esta conexão entre cavernas ocorre por meio de espaços entre as rochas e foi baseado em uma série de microhabitats – como rachaduras no teto de cavernas perto da superfície, seixos de rocha sobre o regolito, encostas de taludes – onde encontra-se o MSS (Milieu Souterrain Superficiel – Meio Subterrâneo Superficial) (JUBERTHIE *et al.*, 1980, 1984, 2000; UÉNO, 1987; RŮŽIČKA, 1990; GIACHINO & VAILATI, 2005, 2010; ORTUÑO *et al.*, 2013) (Figura 1). Culver e Pipan (2009b) denominaram de HSS (Superficial Subterranean Habitats – Habitat Subterrâneo Superficial) todas as microcavidades que abrangem desde tubos de lava, serapilheira, fontes de infiltração, até as fissuras encontradas nas rochas mais profundas (CULVER & PIPAN, 2008) (Figura 2).

White & Culver (2012) também descrevem o HSS como extensões de rachaduras e fissuras entre as superfícies das rochas do ambiente cavernícola, além do que se conhece dos acessos comuns em cavernas. O HSS, em horizontes superficiais, pode formar um habitat único, com forte variação sazonal e um ciclo diurno discernível (PIPAN *et al.*, 2011), podendo manter uma fauna própria, desempenhar o papel de ecótono entre aqueles restritos à cavernas e demais espécies (ORTUÑO *et al.*, 2013), ou permitir a conectividade entre ambientes cavernícolas e a superfície do solo contribuindo para o aumento do fluxo gênico entre as populações das diferentes unidades cársticas (NITZU, 2000; NITZU *et al.*, 2007).

O HSS possui algumas características únicas quando comparado à caverna: possibilita que a distribuição dos indivíduos seja maior que o esperado (ZEPELLINI, BRITO & LIMA, 2018); o tamanho do espaço habitável é intermediário ($1\text{mm} < \text{“área”} < 50\text{cm}$); a concentração de matéria orgânica pode ser maior que o encontrado em cavernas (é relativo à profundidade do HSS); e tem conexões mais íntimas com a superfície.

Figura 1 – Representações do MSS modificado de Mammola *et al.* 2016: (a) Juberthie (1984); (b) Juberthie (2000) (Top soil layers, MSS, Fissured rock); (c) Uéno (1987); (d) Giachino & Vailati (2005, 2010); (e) Růžicka (1990); e (f) Ortuño *et al.* (2013).

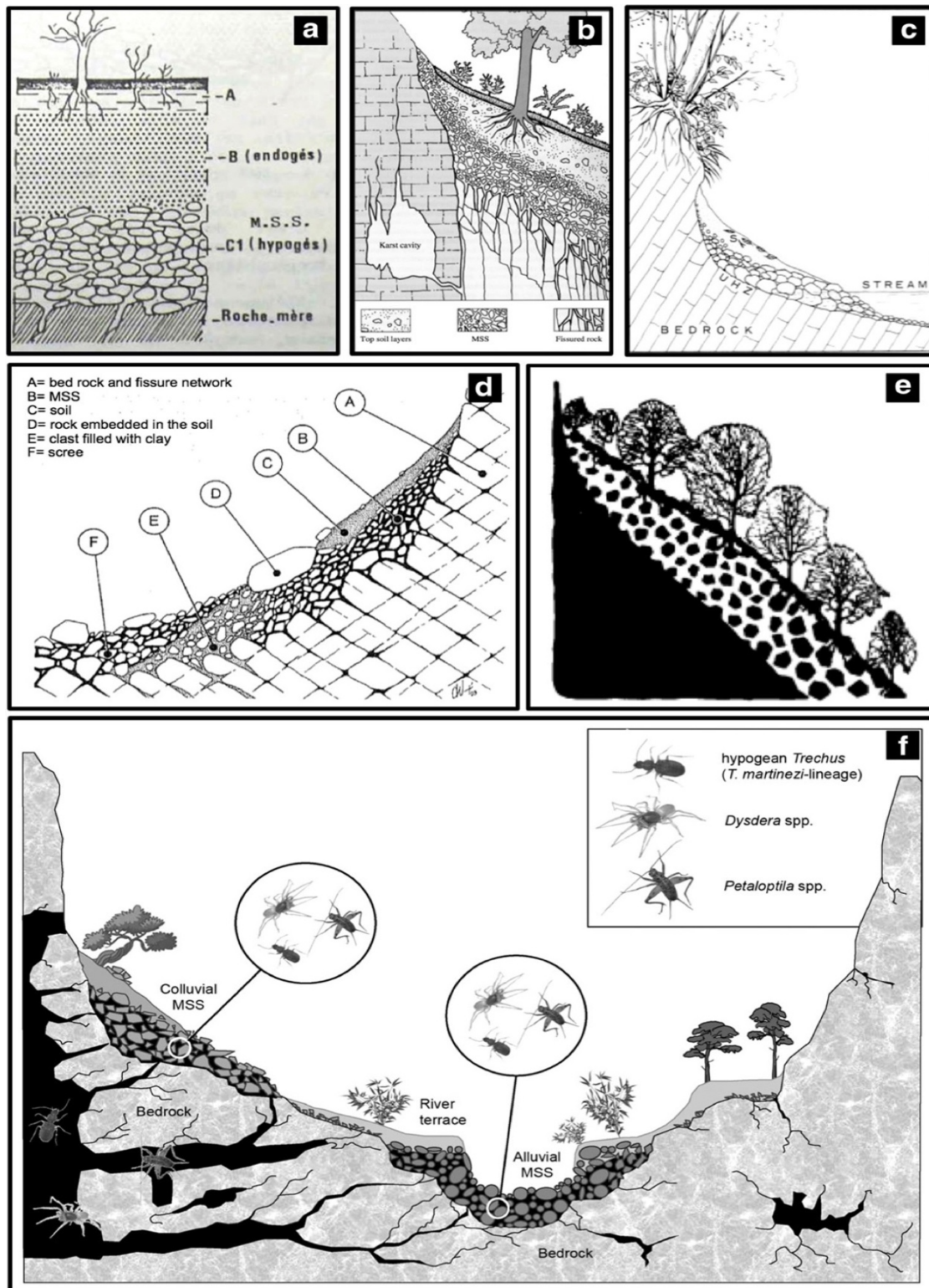


Figura 2 – Testemunhos de furos de sondagem em litologia de minério de ferro, na região de Carajás, Pará. Junto com o Quadrilátero Ferrífero elas centralizam mais de 90% das jazidas e minério de ferro no Brasil. (a) – (d) é possível observar os canalículos do HSS presente na canga entre 0 – 6.7 metros de profundidade, (e) e (f) HSS formado por fissuras nas rocha abaixo do regolito a 37,39 metros e 60 metros de profundidade. Fotos cedidas pela empresa Vale S.A.



Por outro lado, cavernas e HSS compartilham três características importantes: são ambientes afóticos; abrigam uma fauna potencialmente modificada para vida subterrânea; em alguns casos a fauna epígea pode estar presente e abundante (CULVER & PIPAN, 2009b).

A profundidade do HSS surge como característica primordial para estabelecer espécies exclusivas ao sistema de microcavidades. Isto porque as condições de luminosidade, umidade e temperatura são fatores seletivos para a formação e locomoção de espécies restritas ao ambiente afótico. No entanto, o início deste processo ecológico-evolutivo pode não requerer condições extremamente severas, isto porque a presença de espécies sem olhos e pigmentos no HSS, de baixa profundidade, sugere que a ausência de luz é o fator seletivo primário que pode ter originado as espécies em habitats subterrâneos mais profundos, e ocasionalmente capturados em cavernas (RACOVITZA, 1907; CULVER & PIPAN, 2009b).

As espécies, para colonização das zonas mais profundas dos ambientes subterrâneos, sejam no HSS ou cavernas, desenvolvem adaptações evolutivas denominado troglomorfismo como respostas às pressões seletivas do ambiente. São exemplos as convergências morfológicas de estruturas sensoriais, a presença de apêndices alongados, desenvolvimento de sistemas sensoriais não visuais, principalmente quimiorreceptores e mecanorreceptores (VANDEL, 1965; BARR, 1968; CULVER, 1982; HÜPPOP 2000), sistema digestório mais longo para aproveitamento dos recursos e aumento de reservas lipídicas, perda dos olhos e dos pigmentos (CHRISTIANSEN, 1962).

Na definição de Trajano (2012), troglomorfismos seriam autoapomorfias de linhagens restritas à vida subterrânea de estado de caráter regressivo (reduutivo). Para classificar a dependência dessas espécies a este ambiente, Racovitza (1907) definiu três categorias ecológicas:

- (i) troglótenos: animais ocasionais encontrados tanto em cavernas quanto no meio externo, ou seja, em qualquer local onde ocorram condições próprias ao seu estilo de vida, sendo atraídos pela umidade ou recursos;
- (ii) troglófilos: animais que habitam constantemente o meio subterrâneo, nas regiões onde a luz do dia penetra e que podem, excepcionalmente, ser encontrados no meio epígeo;
- (iii) troglóbios: animais dependentes da zona afótica, e do ambiente cavernícola, que não se encontram nas regiões epígeas, exceto no caso de eventos excepcionais, como períodos pós-inundações.

Sket (2008), em um sistema mais recente, reconhece quatro categorias de classificação ecológica:

- (i) troglóxenos são as espécies que ocorrem esporadicamente no substrato cavernícola;
- (ii) subtroglófilos estão voltados definitiva ou temporariamente para habitats subterrâneos, mas ligados ao meio epígeo por algumas funções biológicas;
- (iii) eutroglófilos são essencialmente de domínio epígeo, mas capazes de manter uma população em habitat subterrâneo;
- (iv) troglobiontes são os cavernícolas obrigatórios, sendo considerados endêmicos.

Outra classificação utilizada faz referência ao modelo fonte-sumidouro desenvolvido para habitats periféricos, como poças de maré e lagoas marginais em planícies de inundação de grandes rios, mas aplicando-se igualmente à habitats subterrâneos. Compreende-se como população-fonte aquelas que são autossuficientes, em contraposto a população-sumidouro, formado por aquelas que, uma vez isoladas da fonte de migrantes, extinguir-se-ão (FONG, 2004). Desta forma, a proposta de Trajano & Bessi (2017) redefine as categorias anteriores, sendo:

- (i) troglóxenos são aqueles que ocorrem nas cavernas para utilização de recursos, mas que mantêm uma população-fonte no meio epígeo;
- (ii) troglófilos mantêm populações-fonte tanto no meio hipógeo quanto no meio epígeo, com indivíduos deslocando-se regularmente entre os habitats, promovendo o fluxo genético;
- (iii) troglóbios correspondem a populações-fonte exclusivamente subterrâneas; populações-sumidouro podem ser encontradas na superfície epígea.

1.2.2 Ecologia e diversidade da fauna cavernícola

As populações troglóbias, em geral, apresentam baixa densidade populacional devido à escassez de nutrientes e energia típica do meio subterrâneo, o que, associado à restrição geográfica, observada em alguns casos (Tabela 1, espécies ameaçadas), resultam em populações reduzidas (CORDEIRO, 2014; TRAJANO, 2001; 2003). Os filtros ecológicos no ambiente subterrâneo restringem efetivamente sua colonização, estabelecendo aquelas cujo organismo está hábil a

realizar seu ciclo de vida permanentemente na zona afótica. Por isto, a riqueza, até em cavernas mais ricas, é menor quando comparada à áreas epígeas adjacentes (TRAJANO, GALLÃO & BICHUETTE, 2016).

Quando se discute sobre a fauna troglóbia relativamente menos conhecida no Brasil, em comparação com outros países, os argumentos são fundamentados na quantidade de áreas cársticas em relação ao tamanho territorial, ou nas flutuações climáticas mais brandas durante as glaciações do Pleistoceno nos trópicos (MOORE, 1964; BARR, 1973, GALLÃO, 2012), as quais são consideradas condutoras na origem da fauna subterrânea no Hemisfério Norte (BARR, 1968; PECK, 1980).

Ao analisar a diversidade em ambientes cavernícolas é esperada uma perda da diversidade alfa (local), e um aumento da diversidade beta (local vs local) em áreas com distribuição fragmentada de cavernas. Esse conjunto individual de espécie, por unidade amostrada, contribui para a diversidade regional e global. Por isso, descrever os elementos que compõem a fauna é fundamental para estabelecer políticas de conservação eficazes, incluindo a priorização de áreas para proteção, principalmente quando tratamos de áreas com alto valor econômico para o Brasil (TRAJANO *et al.*, 2016). Apesar de alguns autores utilizarem o conceito de *hotspots* para determinar áreas de alta biodiversidade subterrânea (CULVER & SKET, 2000; DEHARVENG, 2005), Trajano e colaboradores (2016) rejeitam tal metodologia e nomenclatura, e utilizam a riqueza de troglóbios para estabelecer pontos de alta diversidade subterrânea, para com isto, buscar políticas de conservação eficientes e preservar o potencial bioespeleológico brasileiro.

Do ponto de vista temporal, a sazonalidade mostra efeito similar na comunidade de Collembola nos ambientes epígeo e hipógeo. No primeiro, a diminuição da precipitação no ambiente leva a redução da riqueza e abundância de espécies (FERREIRA *et al.*, 2013; 2018), eventos contrários foram observados em regiões temperadas, em que a ciclagem de energia que ocorre na serapilheira é mais lenta que o observado na região tropical, a exemplo da Floresta Boreal (RICKLEFS, 2010).

Por outro lado, no ambiente hipógeo, a distribuição temporal da fauna é influenciada por vários fatores, cujo padrão de sazonalidade, que poderia definir esta distribuição, é incerto, pois não há evidências que suportem esta hipótese, ou se pode ser apenas um processo estocástico. Por exemplo, em períodos chuvosos, a matéria orgânica vegetal epígea pode ser carreada para a zona de entrada e de penumbra (disfótica), pode haver também um aumento no guano de morcegos e

dejetos de pequenos animais que dependem do ambiente epígeo para alimentação, e usam a caverna como abrigo sazonal, além do carregamento de matéria orgânica advinda das inundações que entram por lixiviação, a depender da porosidade da rocha subjacente (SIMÕES, 2013). Por outro lado, há registros de cavernas cujas maiores riquezas e abundâncias foram registradas em estações secas, e as mais baixas na estação chuvosa, devido as inundações que influenciam, transportam e levam a fauna até outras zonas cavernícolas e até mesmo ao ambiente epígeo (BICHUETTE *et al.*, 2017)

Quando se considera os registros de colêmbolos em cavernas, um trabalho já realizado na Tailândia indica que a principal população encontrada pertence ao gênero *Cyphoderus* Nicolet, 1942 (JANTARIT *et al.*, 2014). Sua ocorrência está potencialmente relacionada à condição morfo-ecológica e evolutiva, por tratar-se de espécies mimercófilas e termitófilas, associadas a formigueiro e cupinzeiros, portanto, a habitats afóticos.

Em algumas espécies de colêmbolos que são potencialmente troglóbias amplamente distribuídos, com populações em diferentes localidades de Minas Gerais, a exemplo de *Pseudosinella ambigua*, é frequente observar variação interpopulacional na morfologia refletindo certo grau de divergência (com maior frequência em *Pseudosinella* Schäffer, 1897 e *Trogolaphysa* Mills, 1938), que pode ser por isolamento geográfico em maior ou menor grau (REIS *et al.*, 2006; KLINGENBERG, 2011). A genética molecular, integrada com o conjunto de dados morfológicos e ecológicos, pode construir uma abordagem mais robusta e confiável, produzindo informações completas sobre a dinâmica das espécies no relevo cárstico, decifrando os modelos biogeográficos na construção da história evolutiva, e contribuindo para o monitoramento de áreas sensíveis à exploração ambiental (NUNES *et al.*, 2018; CORDEIRO, 2014).

Utilizando a fauna de Collembola, que constitui uma das faunas mais conspícuas em cavernas e fora dela, relacionada as áreas subterrâneas de forte impacto econômico no Brasil, este trabalho buscou compreender a composição de espécies e como ela está distribuída entre as cavernas do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, e quais as espécies troglóbias capazes de se locomoverem através do HSS, construindo mosaicos de dispersão subterrânea e seu impacto para conservação dessas áreas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar e caracterizar a fauna de Collembola em ambientes subterrâneos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, verificando a distribuição espaço-temporal das espécies no relevo cárstico de rochas ferruginosas, e sua distribuição através do habitat subterrâneo superficial (HSS).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Inventariar a fauna de Collembola subterrânea em áreas com litologia ferrífera em Minas Gerais;
- Definir o grau de relação da fauna encontrada na zona afótica com o ambiente subterrâneo;
- Analisar a conectividade das espécies no ambiente cavernícola de acordo com sua distribuição;
- Descrever a variabilidade espacial e temporal dos colêmbolos nos ambientes cavernícolas;
- Caracterizar o papel desempenhado pelo HSS na estruturação da comunidade de Collembola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Serra da Moeda e Serra do Gandarela, localizadas no Quadrilátero Ferrífero (QF), Minas Gerais, onde encontram-se importantes jazidas de minério de ferro. O QF é composto por formações ferríferas metamórficas como itabiritos, dolomitos ferruginosos e filitos hematíticos. A principal formação litológica nas áreas é o itabirito, definido por Eschwege (1833) como formações ferríferas metamórficas e fortemente oxidadas apresentando descontinuamente corpos de minério de alto teor ($>64\%$ de Ferro), desde alguns decímetros até centenas de metros. O processo de intemperismo na superfície da rocha exposta é responsável também pela oxidação e hidratação do minério de ferro formando uma crosta denominada canga (Figura 3) (ROSIÈRE & CHEMALE JR, 2000).

A profundidade da canga é variável e protege as formações ferríferas adjacentes da oxidação e hidratação, contribuindo para manutenção do relevo na região. Os perfis de intemperismo podem ser idealizados da seguinte forma (seguindo da rocha matriz ao horizonte superficial do solo): itabirito duro $\rightarrow$ itabirito friável $\rightarrow$ itabirito brando $\rightarrow$ hematita friável $\rightarrow$ canga. Nesse contexto, a espeleogênese da maioria das cavernas está entre a canga e o itabirito friável (ROSIÈRE & CHEMALE JR, 2000).

O clima na Serra da Moeda e do Gandarela é tropical semiúmido, afetado pela altitude, com verões úmidos, e os invernos secos (SILVA & SALGADO, 2009). As localidades de coleta, de acordo com o sistema de Köppen (KÖPPEN, 1936; SHEAR, 1966; SÁ JUNIOR *et al.*, 2012), seguem o padrão 'Cwa', clima temperado úmido com temperaturas abaixo de 18°C no inverno.

Com a geolocalização entre o Cerrado e a Mata Atlântica, a vegetação varia desde a presença de campos rupestres associados as áreas de canga (vegetação de canga), até a influência de elementos florísticos do bioma Atlântico em áreas de drenagem (CARMO & JACOBI, 2012). Enquanto o campo rupestre constitui um ambiente caracteristicamente adverso ao estabelecimento de plantas (VINCENT & MEGURO, 2008), devido a fatores limitantes, como alta incidência solar, pouca matéria orgânica disponível e solo com altas concentrações de metais pesados (TEIXEIRA & LEMOS-FILHO 2002, VINCENT & MEGURO, 2008), as áreas de Mata Atlântica oferece temperatura amena e condições favoráveis para comunidades vegetais de maior porte,

especialmente nas altitudes acima de 1.200 metros (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2005; GARCIA *et al.*, 2009).

Figura 3 – Serra do Gandarela, localizada a Nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Verifica-se a presença da Canga (área descampada) e da vegetação presente nas drenagens de água.



Foto: Brito, R.A. 2018.

3.2 COLETA EM CAVERNA

Foram selecionadas nove cavernas distribuídas entre a Serra da Moeda (Serrinha – SERR, e Capitão do Mato – CPMT) e do Gandarela (Apolo – AP), nas cidades de Nova Lima (19° 59' 09" S 43° 50' 49" O) e Rio Acima (20° 05' 16" S 43° 47' 20" O), respectivamente (Tabela 2) (Figuras 4–7).

As coletas foram efetuadas nos períodos de 20/05-02/06/2016 (coleta 1), de 07-21/09/2016 (coleta 2), de 05-17/12/2016 (coleta 3), e de 05-18/03/2017 (coleta 4), padronizadas e realizadas em todas as unidades cavernícolas, conforme descrição (Figuras 8–17):

Tabela 2. Distribuição dos pontos de coleta nas cavernas da Serra da Moeda e do Gandarela. As cavidades da Serra da Moeda estão divididas entre Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT). As cavernas da Serra do Gandarela são abreviadas com AP.

Cavernas			
Localidade	Cavidade	Altitude (m)	Coordenada Geográfica
Serra da Moeda	SERR02	1.553	20°10'46.50"S 43°58'54.70"O
Serra da Moeda	SERR09	1.476	20°11'9.40"S 43°58'28.00"O
Serra da Moeda	SERR14	1.027	20°10'60.00"S 43°58'19.00"O
Serra da Moeda	CPMT08	1.414	20° 7'25.20"S 43°54'5.20"O
Serra da Moeda	CPMT15	1.452	20° 7'1.50"S 43°53'55.40"O
Serra da Moeda	CPMT16	1.459	20° 7'0.40"S 43°53'57.00"O
Serra do Gandarela	AP09	1.432	20° 1'34.70"S 43°40'55.40"O
Serra do Gandarela	AP38	1.537	20° 1'51.30"S 43°40'45.40"O
Serra do Gandarela	AP47	1.468	20° 1'41.00"S 43°40'52.90"O

- Coletas no ambiente epígeo (externa) foram realizadas dentro de um raio de 20m, na serapilheira e sob rochas adjacentes, à entrada principal das cavernas (Figura 6A).
- Com o uso de um luxímetro digital profissional, da marca Incoterm PLUX1000, foram definidas as zonas cavernícolas: entrada, disfótica e afótica.
 - Zona de entrada – ambiente que compreende da entrada da caverna até 50% da luminosidade em direção à zona mais profundas (Figura 6B);
 - Zona disfótica – ambiente que compreende entre 50% de luminosidade até o valor de 0 lux (Figura 6C);
 - Zona afótica – ambiente que compreende o início de 0 lux até o limite profundo da caverna (Figura 6D).
- Tanto para o ambiente epígeo quanto o hipógeo foi cronometrado o tempo de 01h para realização da coleta ativa, com uso de aspirador entomológico em recipiente contendo álcool 70% (Figura 6E).
- Foi utilizado durante as coletas um termohigrômetro, da marca HOBO U23 Pro v2, para medida, por minuto, da temperatura e umidade.

Os colêmbolos capturados foram acondicionados e transportados para o Laboratório de Sistemática de Collembola e Conservação, da Universidade Estadual da Paraíba (LSCC/UEPB), onde foram triados, diafanizados em solução de Nesbitt e montados em lâminas semipermanentes com líquido de Hoyer para identificação em microscópio óptico (JORDANA *et al.*, 1997). As espécies foram pareadas com as identificações da Coleção de Referência de Fauna de Solo, da Universidade Estadual da Paraíba (CRFS/UEPB), campus V, que realiza através do estudo morfológico e quetotático, com o auxílio de chaves dicotômicas, a identificação em nível família, gênero e espécie (CHRISTIANSEN & BELLINGER, 1980; ZEPPELINI & BELLINI, 2004; BELLINGER *et al.*, 1996-2019) (ver APENDICE A).

Figura 4 – Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 1 – Serra da Moeda (Serrinha); 2 – Serra da Moeda (Capitão do Mato); 3 – Serra do Gandarela (Apolo).

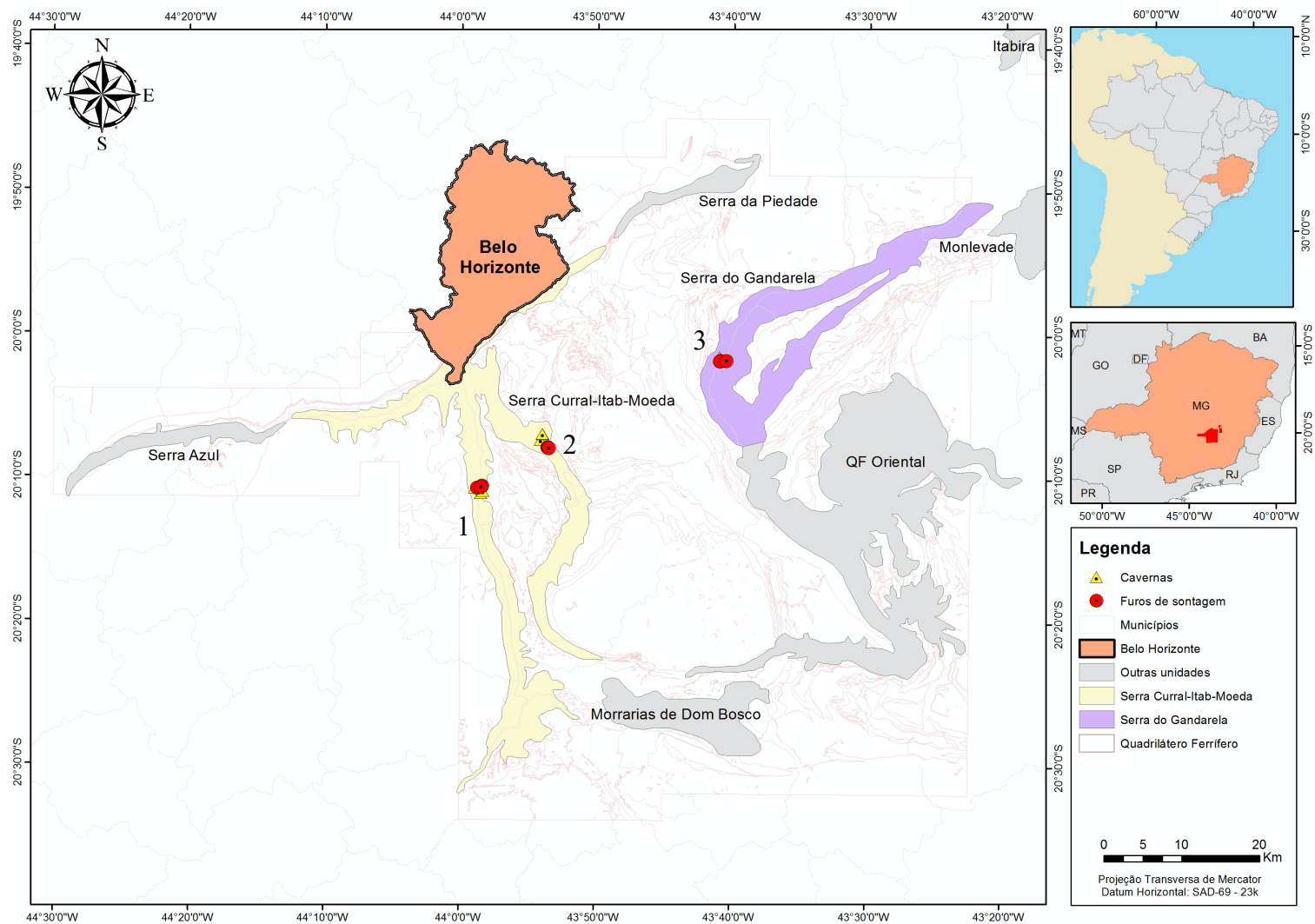


Figura 5 – Serra da Moeda, Serrinha: cavernas (SERR) e furos de sondagem (FSD).

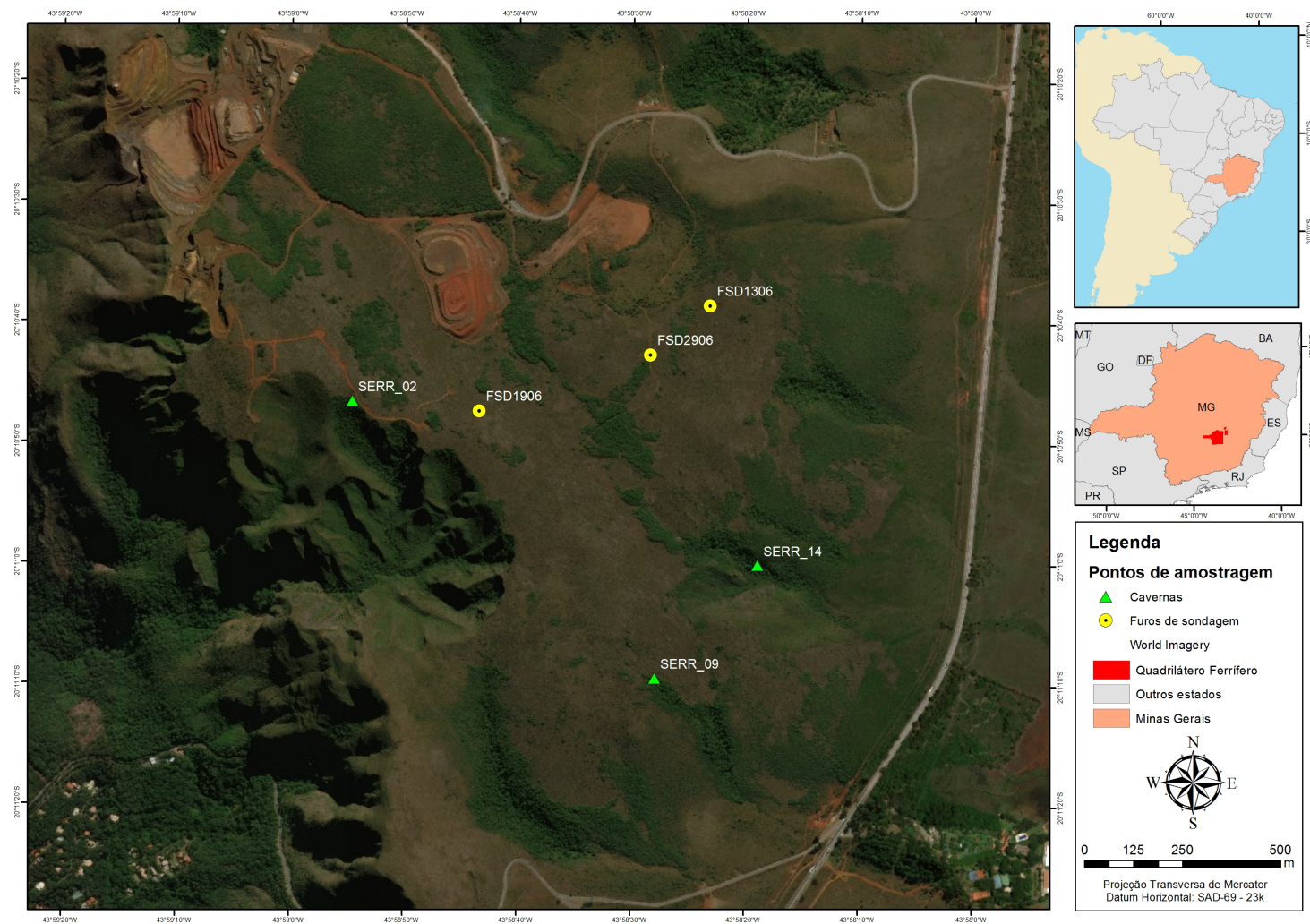


Figura 6 – Serra da Moeda, Capitão do Mato: cavernas (CPMT) e furos de sondagem (FSD).

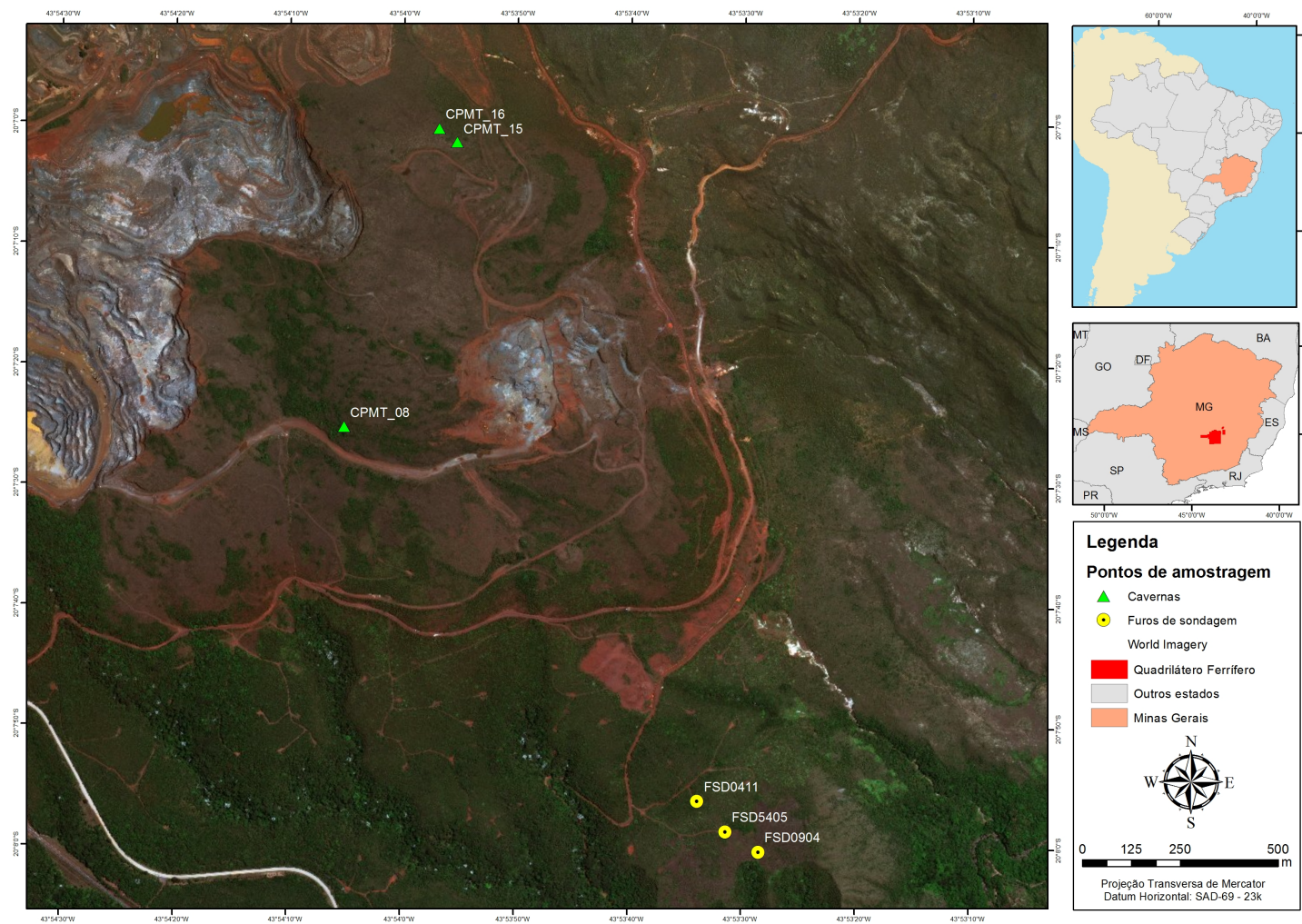


Figura 7 – Serra do Gandarela, Apolo: cavernas (AP) e furos de sondagem (FDMQ).

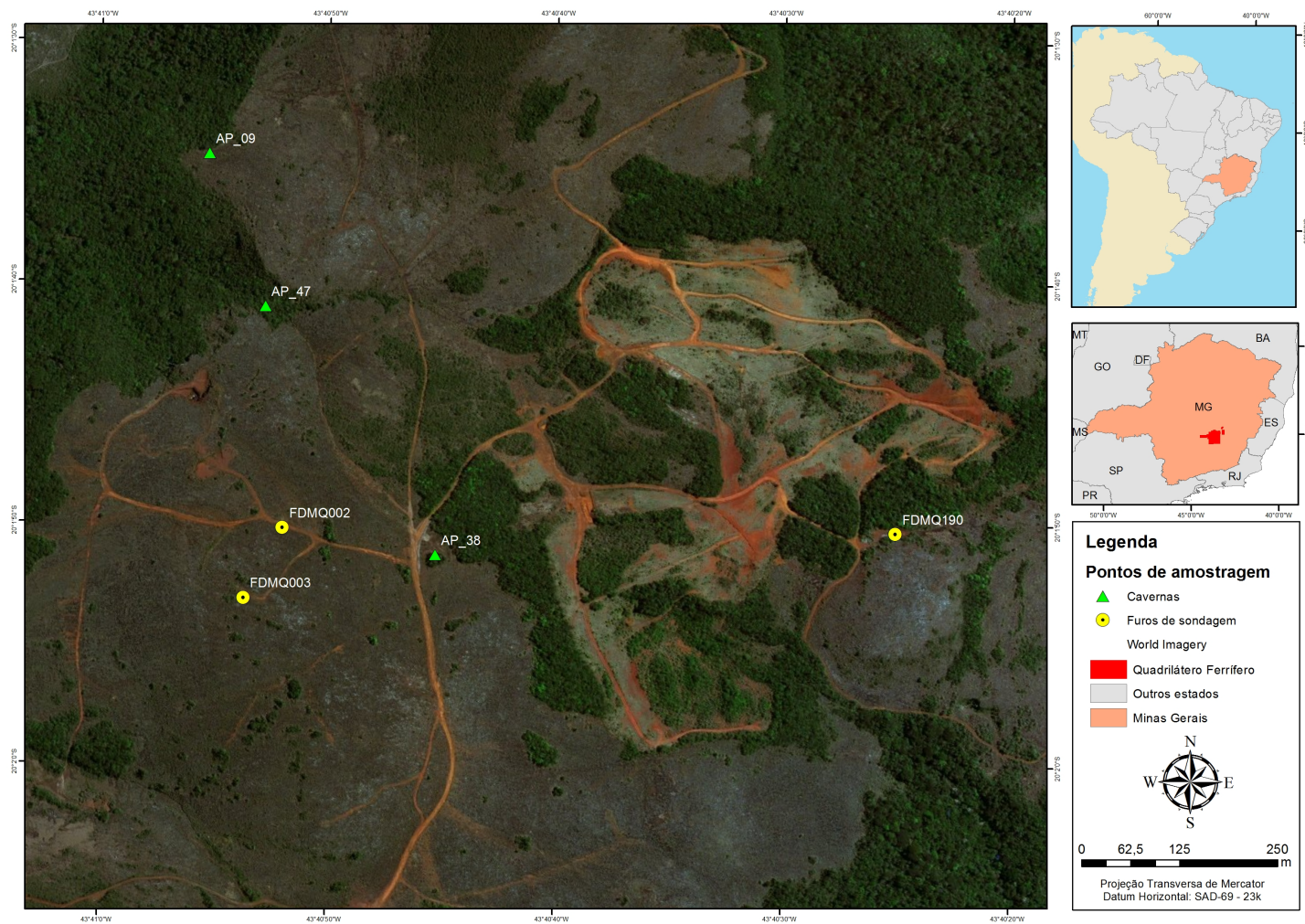


Figura 8 – Coleta em caverna. A – ambiente epígeo - externa; B – zona de entrada; C – zona disfótica; D – zona afótica; E – recipiente de vidro para aspirador entomológico.

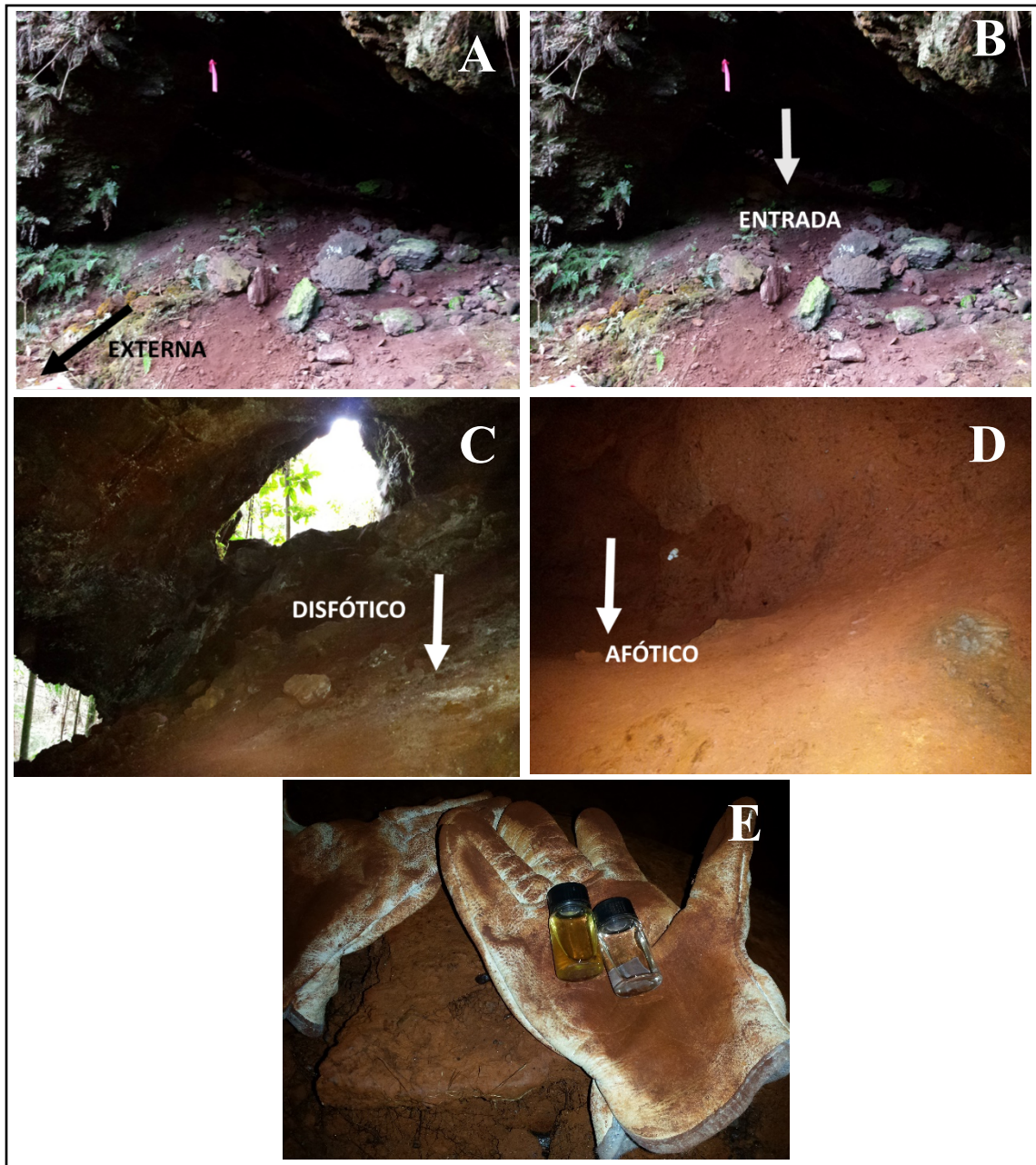


Figura 9 – Mapa topográfico da caverna SERR 02 – Serrinha, Serra da Moeda, MG.

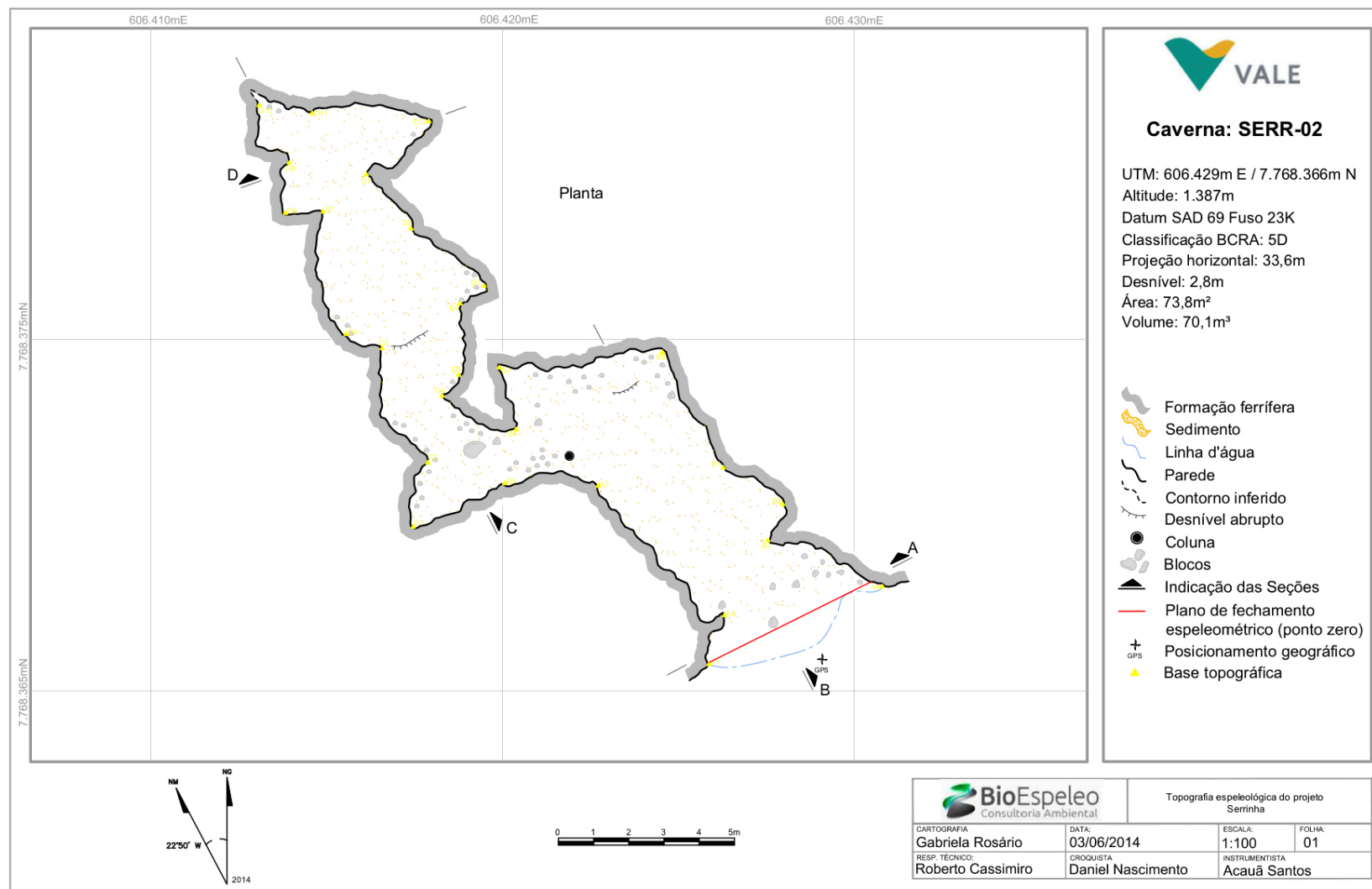


Figura 10 – Mapa topográfico da caverna SERR 09 – Serrinha, Serra da Moeda, MG.

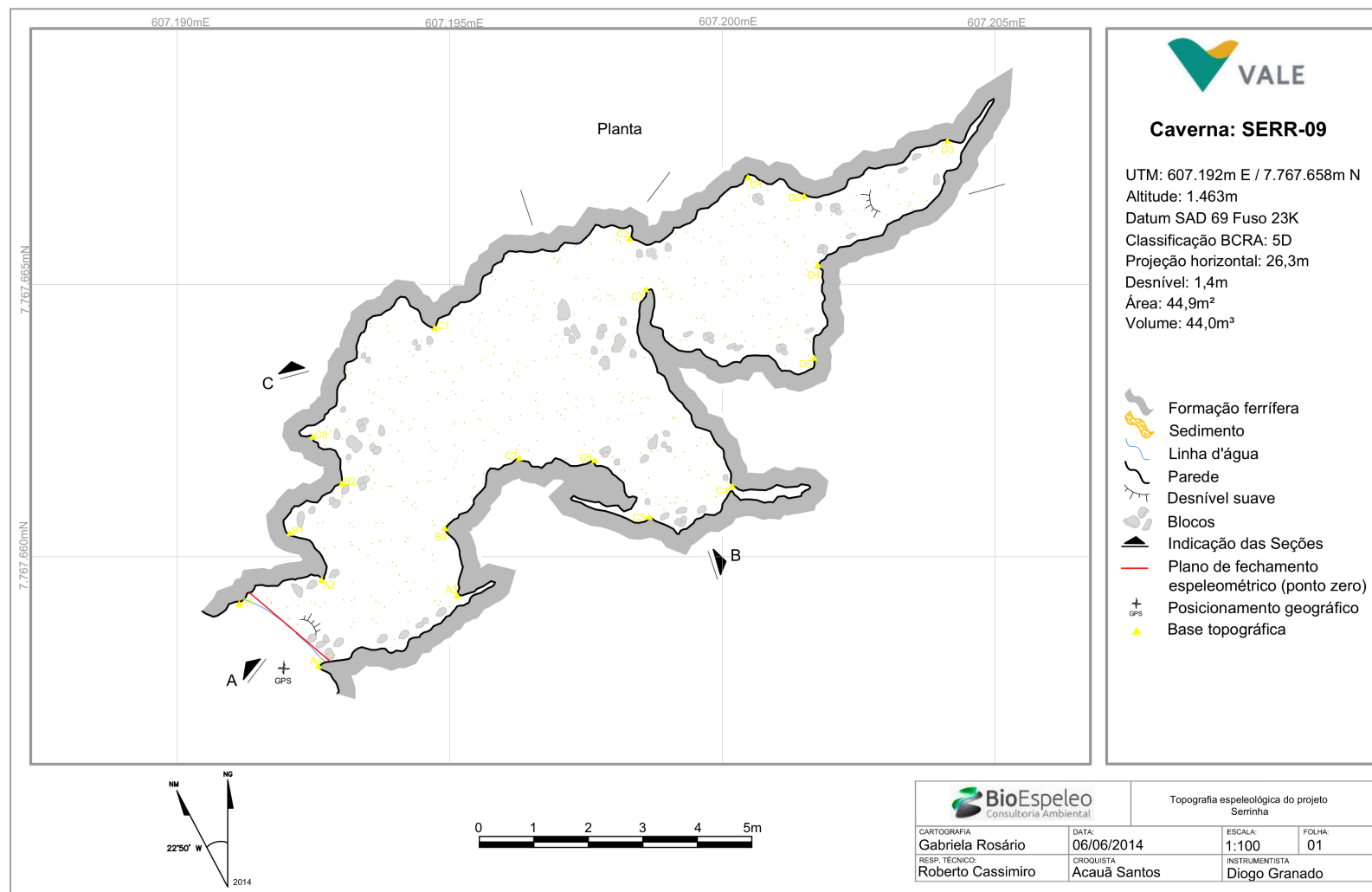


Figura 11 – Mapa topográfico da caverna SERR 14 – Serrinha, Serra da Moeda, MG.

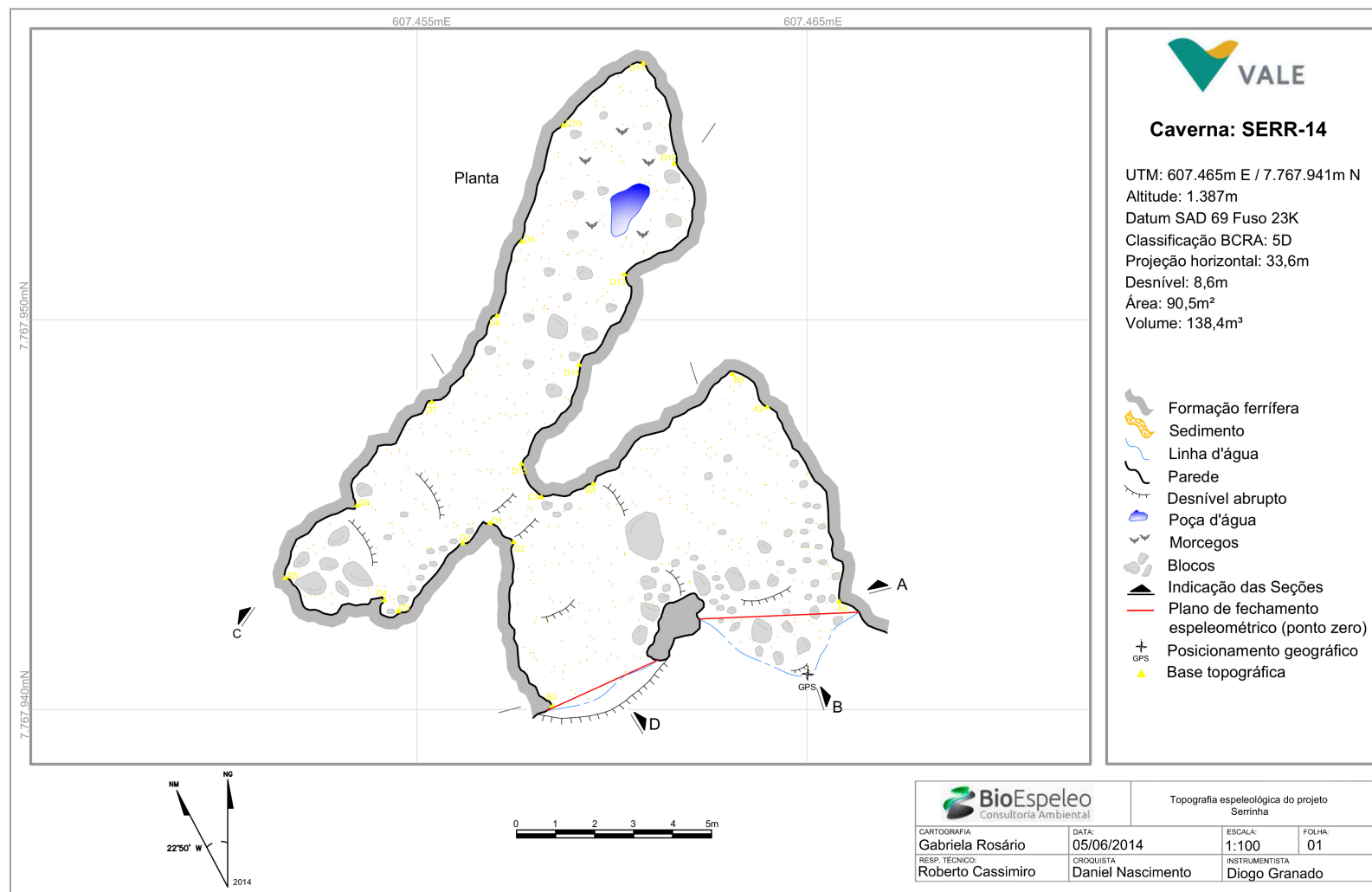


Figura 12. Mapa topográfico da caverna CPMT 08 – Capitão do Mato, Serra da Moeda, MG.

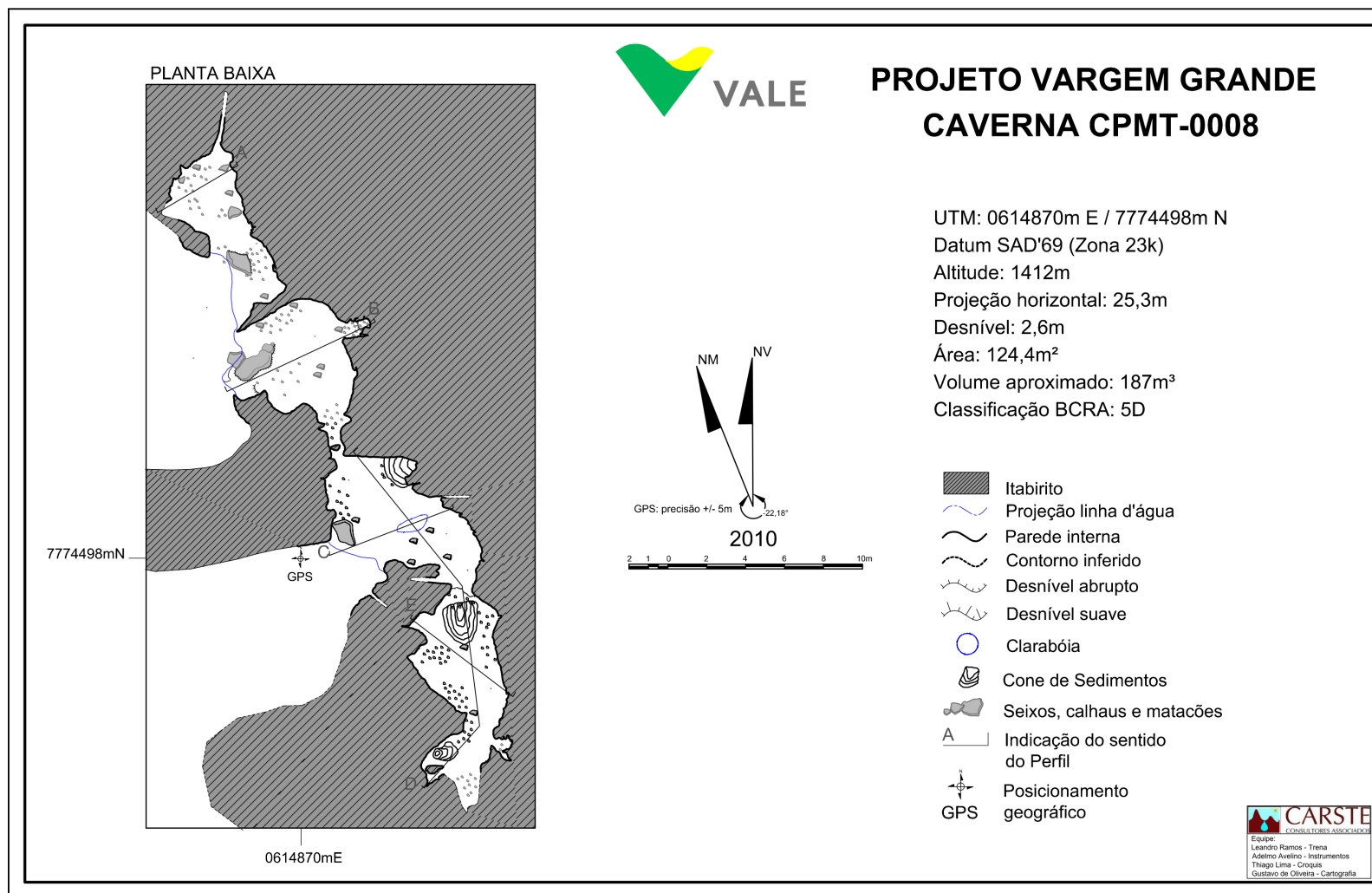


Figura 13 – Mapa topográfico da caverna CPMT 15 – Capitão do Mato, Serra da Moeda, MG.

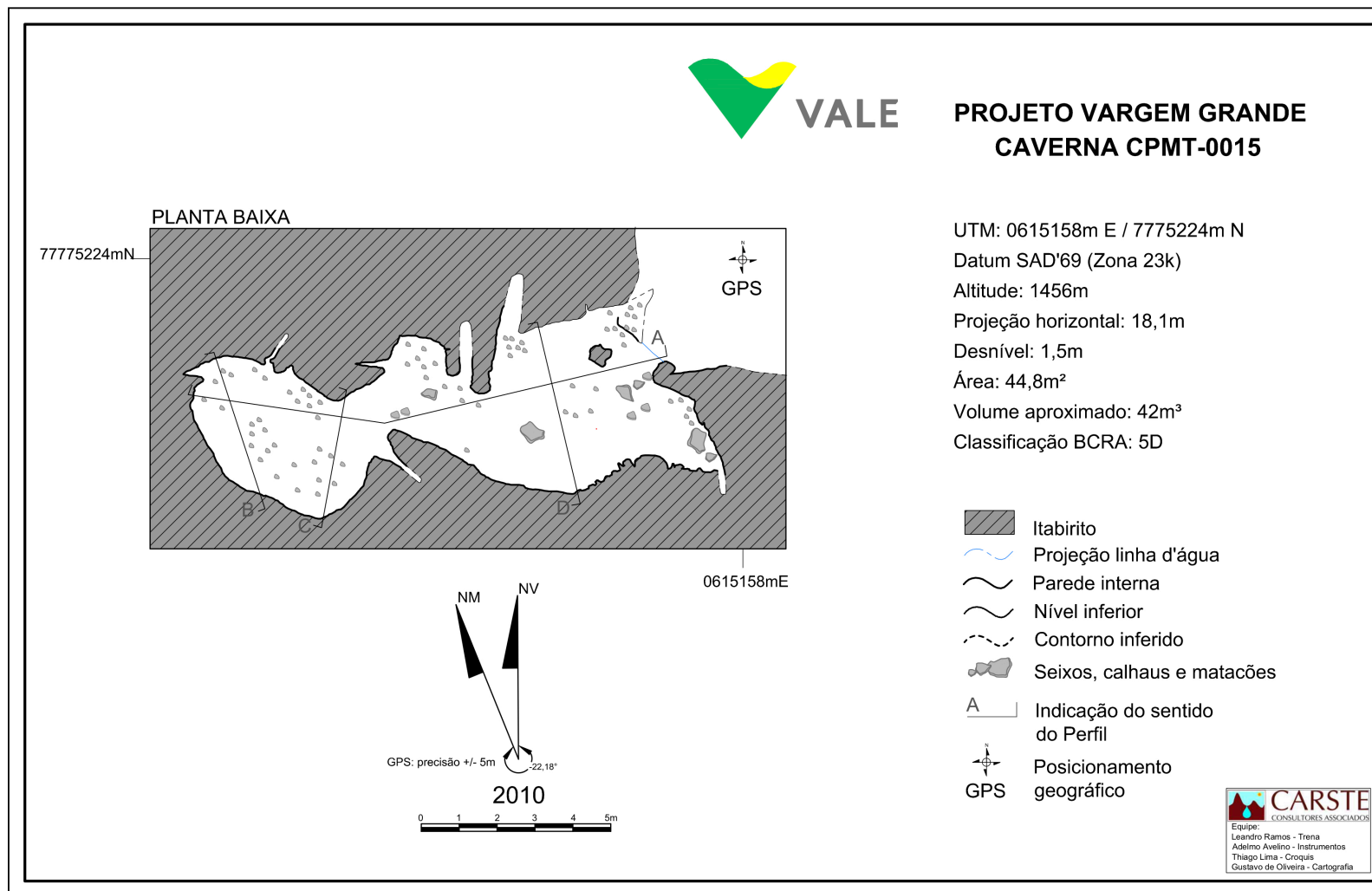


Figura 14 – Mapa topográfico da caverna CPMT 16 – Capitão do Mato, Serra da Moeda, MG.

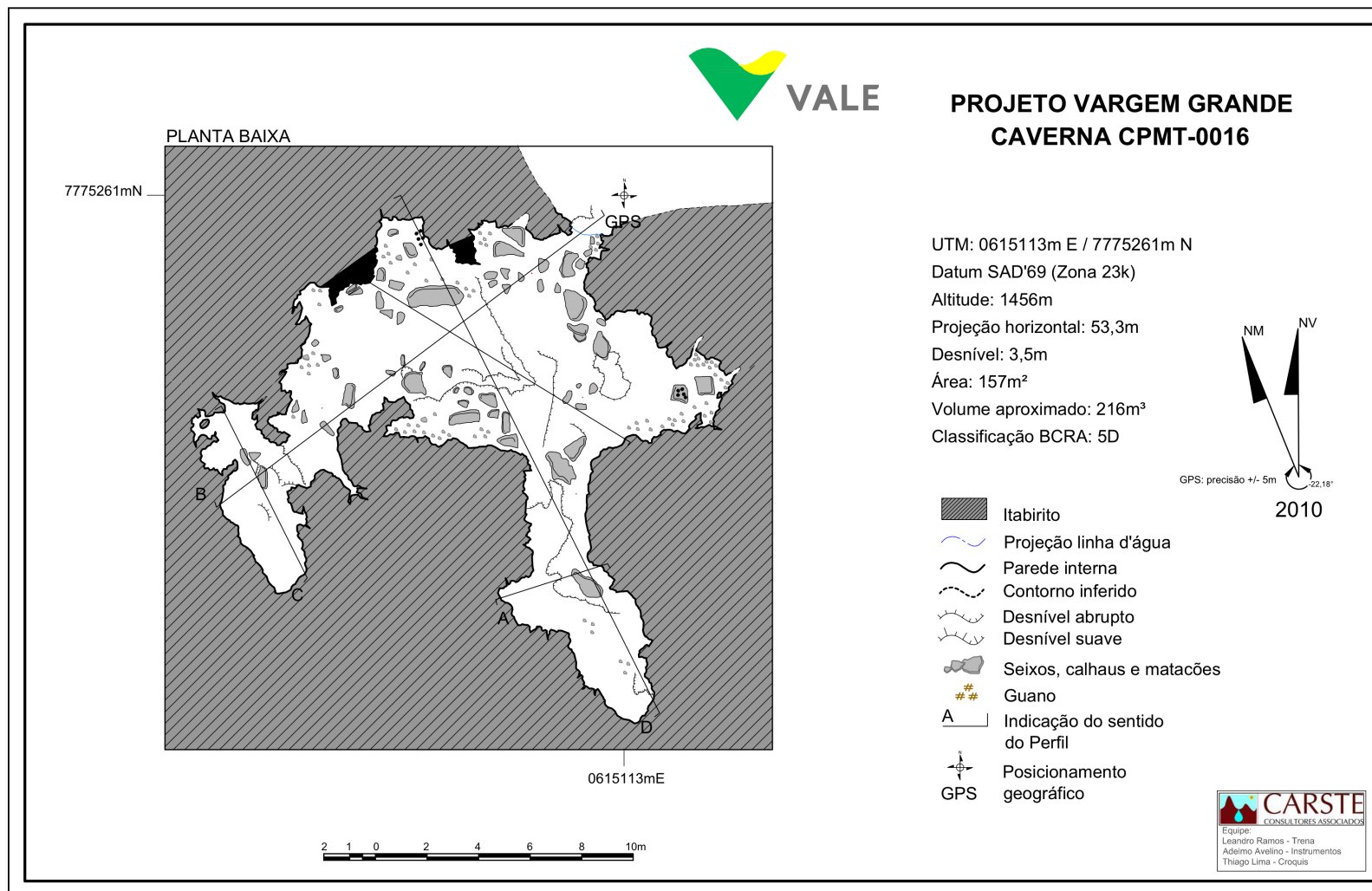


Figura 15 – Mapa topográfico da caverna AP 09 – Apolo, Serra do Gandarela, MG.

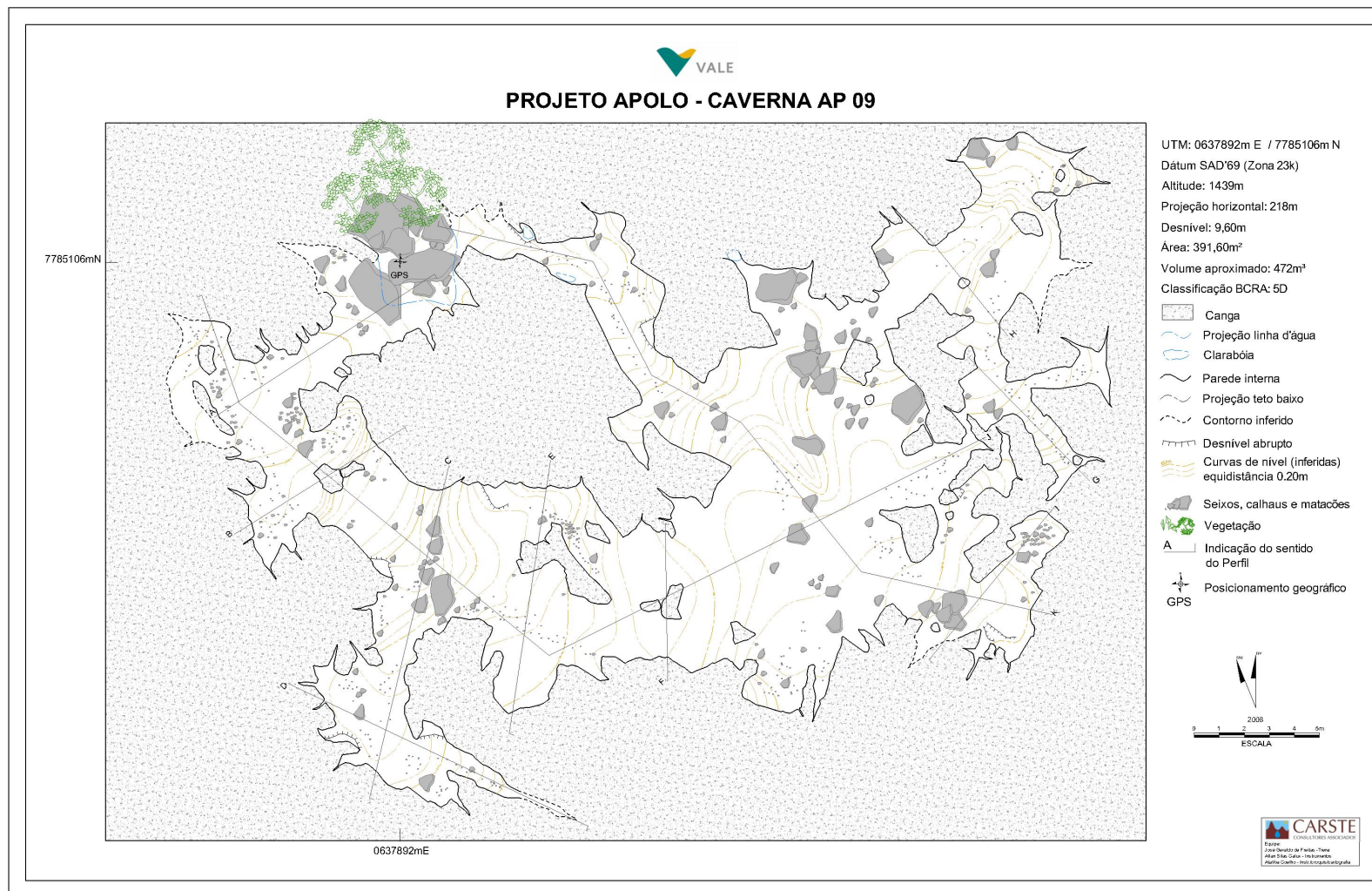


Figura 16 – Mapa topográfico da caverna AP 38 – Apolo, Serra do Gandarela, MG.

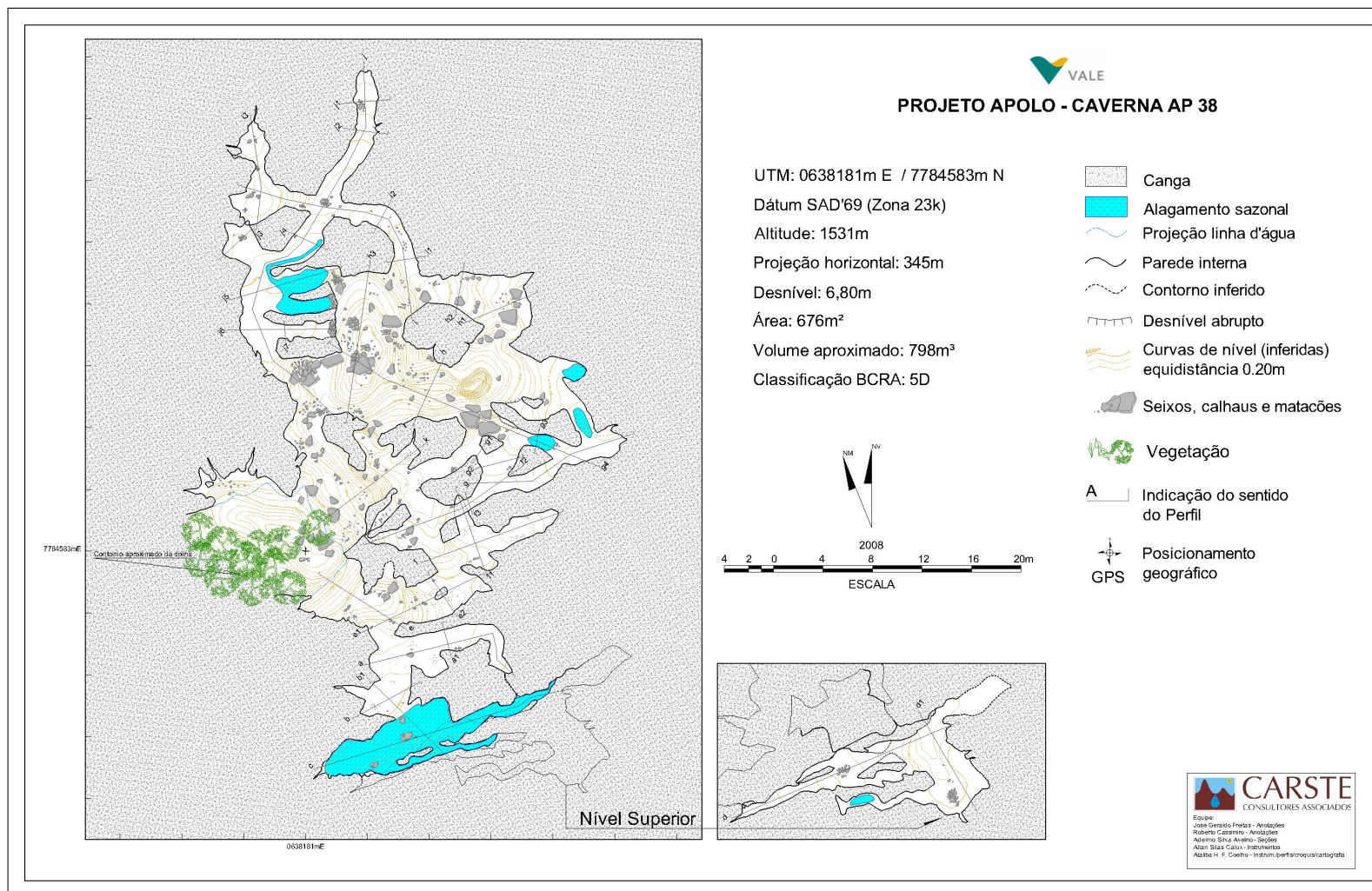
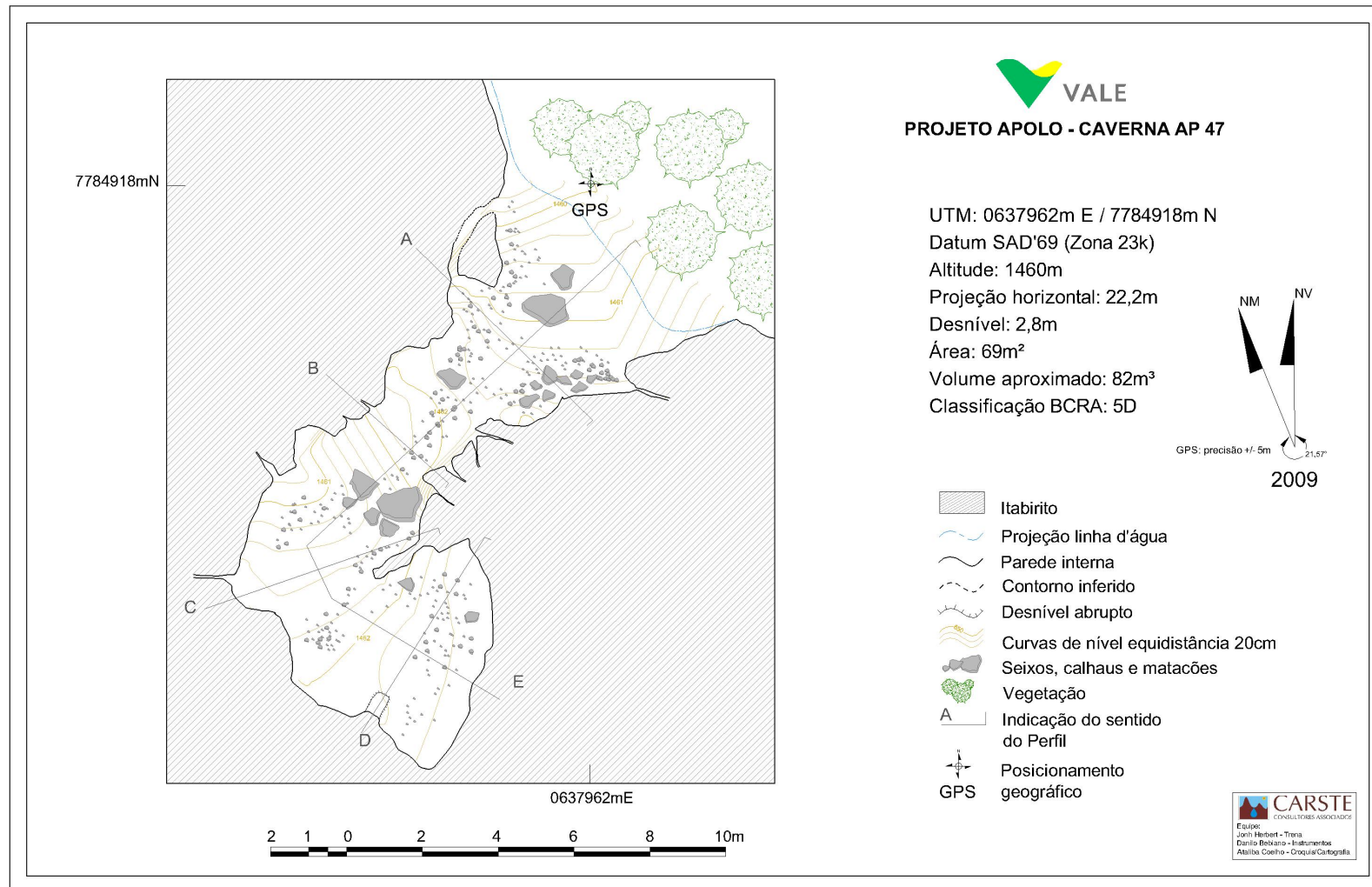


Figura 17 – Mapa topográfico da caverna AP 47 – Apolo, Serra do Gandarela, MG.



3.3 COLETA NO HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL

Foram utilizados nove furos pré-existentes próximos às cavernas (Figuras 5–7). A posição geográfica é apresentada na Tabela 3.

Foram priorizados os furos com maior profundidade e que possibilitassem a entrada e saída dos equipamentos de coleta. As armadilhas foram produzidas pelo grupo de pesquisa do LSCC/UEPB, modificada e aperfeiçoada a partir de armadilhas de coleta de artrópodes no HSS empregada por Ortuño e colaboradores (2013) e seguindo a metodologia de Nitzu e colaboradores (2010; 2014). Para posicionar as armadilhas na profundidade desejada foi utilizada a metodologia desenvolvida por Juberthie (1983), melhorada por Gers (1992) para coletas em HSS e Camacho (1992) para coleta da fauna intersticial, e adaptada por Nitzu & Decu (1998) e Nitzu (2000).

As armadilhas foram instaladas considerando o perfil litológico de cada furo de sondagem, afim de otimizar a coleta da fauna que se desloca através do HSS, isto também possibilitou a estratificação das amostras, e a identificação das espécies de colêmbolos que ocupam os perfis superficiais até os profundos do solo (Tabelas 4 e 5) (Figuras 18 e 19).

Tabela 3 – Distribuição dos pontos de coleta no HSS nas Serras da Moeda e Gandarela.

Habitat Subterrâneo Superficial - HSS			
Localidade	Furo	Alt. (m)	Coordenada Geográfica
Serra da Moeda - SERR	FSD1906	1.534	20°10'47.30"S 43°58'43.50"O
Serra da Moeda - SERR	FSD 1306	1.492	20°10'38.50"S 43°58'23.30"O
Serra da Moeda - SERR	FSD 2906	1.499	20°10'42.60"S 43°58'28.50"O
Serra da Moeda - CPMT	FSD 0411	1.195	20°07'56.10"S 43°53'34.00"O
Serra da Moeda - CPMT	FSD 5405	1.207	20°07'58.60"S 43°53'31.50"O
Serra da Moeda - CPMT	FSD 0904	1.200	20°08'00.30"S 43°53'28.60"O
Serra do Gandarela - AP	FDMQ 002	1.520	20°01'50.20"S 43°40'52.10"O
Serra do Gandarela - AP	FDMQ 003	1.524	20°01'53.10"S 43°40'53.80"O
Serra do Gandarela - AP	FDMQ 190	1.485	20°01'50.30"S 43°40'25.20"O

Cada armadilha era formada por um cano de PVC com 0.8m de comprimento, com seis cortes longitudinais, contendo na porção superior uma malha com perfurações de 0.2mm, onde era alojado o termohigrômetro, e fechado com recipiente plástico que permitia o escape do ar

retido na porção superior, excluindo a possibilidade de erro na temperatura pelo acúmulo de calor.

Tabela 4 – Profundidade dos furos de sondagem, para coletas no HSS, e armadilhas instaladas na Serra da Moeda e Serra do Gandarela.

Localidade	Furo	PFS	PA
Serra da Moeda	FSD 1906	3m	3m
Serra da Moeda	FSD 1306	9.35m	3m; 4.1m; 9m (*)
Serra da Moeda	FSD 2906	4m	4m
Serra da Moeda	FSD 0411	20m	5m; 10m; 15m; 20m
Serra da Moeda	FSD 5405	3.5m	3m
Serra da Moeda	FSD 0904	14.4m	3.7m; 9.0m; 15.0m (*)
Serra do Gandarela	FDMQ 002	46.5m	4.5m; 9.3m; 25.4m; 41.9m (*)
Serra do Gandarela	FDMQ 003	14m	4.0m; 9m; 14m
Serra do Gandarela	FDMQ 190	22m	3.5m; 10m; 15m; 21m

(*) simboliza as armadilhas que possuem termohigrômetro; FSD e FDMQ são nomenclaturas da Vale para identificação dos furos de sondagens; PFS = Profundidade do furo de sondagem, PA = Profundidade da armadilha, m = metros.

Na porção inferior foi colocado um suporte plástico, que por sua vez, trazia dois *litterbags*, contendo substrato de gramíneas coletadas na área (parte superior da gramínea, sem solo ou raízes, limpas para evitar contaminação) e queijo gorgonzola como isca. A ligação entre as armadilhas até a superfície ocorria através de cabos de aço.

Para as áreas de amostragens de Serrinha (SERR), Capitão do Mato (CPMT) e Apolo (AP) foram colocados dois termohigrômetros (*dataloggers*), idênticos aos utilizados nas cavernas, em duas armadilhas de um dos furos de sondagens de cada área, na menor e maior profundidade (Tabela 4). Uma vez instaladas, todos os furos de sondagem foram selados utilizando material de IVA para diminuir a influencia externa na temperatura e umidade. Foram mantidas em campo e recolhidas após intervalos de 90 dias. Este período foi definido como suficiente para colonização dos *litterbags*, contendo o substrato e a isca. As instalações foram realizadas durante as coletas em cavernas e as retiradas em cada coleta subsequente. Além deste período foram realizadas amostragens em 14-19/12/2017 e 20-26/06/2018.

Decorrido o prazo, as amostras foram acondicionadas e transferidas para funis de Berlese-Tullgren, no laboratório da capital (Belo Horizonte, MG), durante o período de sete

dias, sob lâmpada de 100W incandescente (três dias sem e quatro dias com luz) para forçar a migração da fauna através do gradiente de temperatura até o recipiente coletor com álcool 70%.

Tabela 5 – Perfis litológicos dos furos de sondagem no HSS, na Serra da Moeda e Serra do Gandarela.

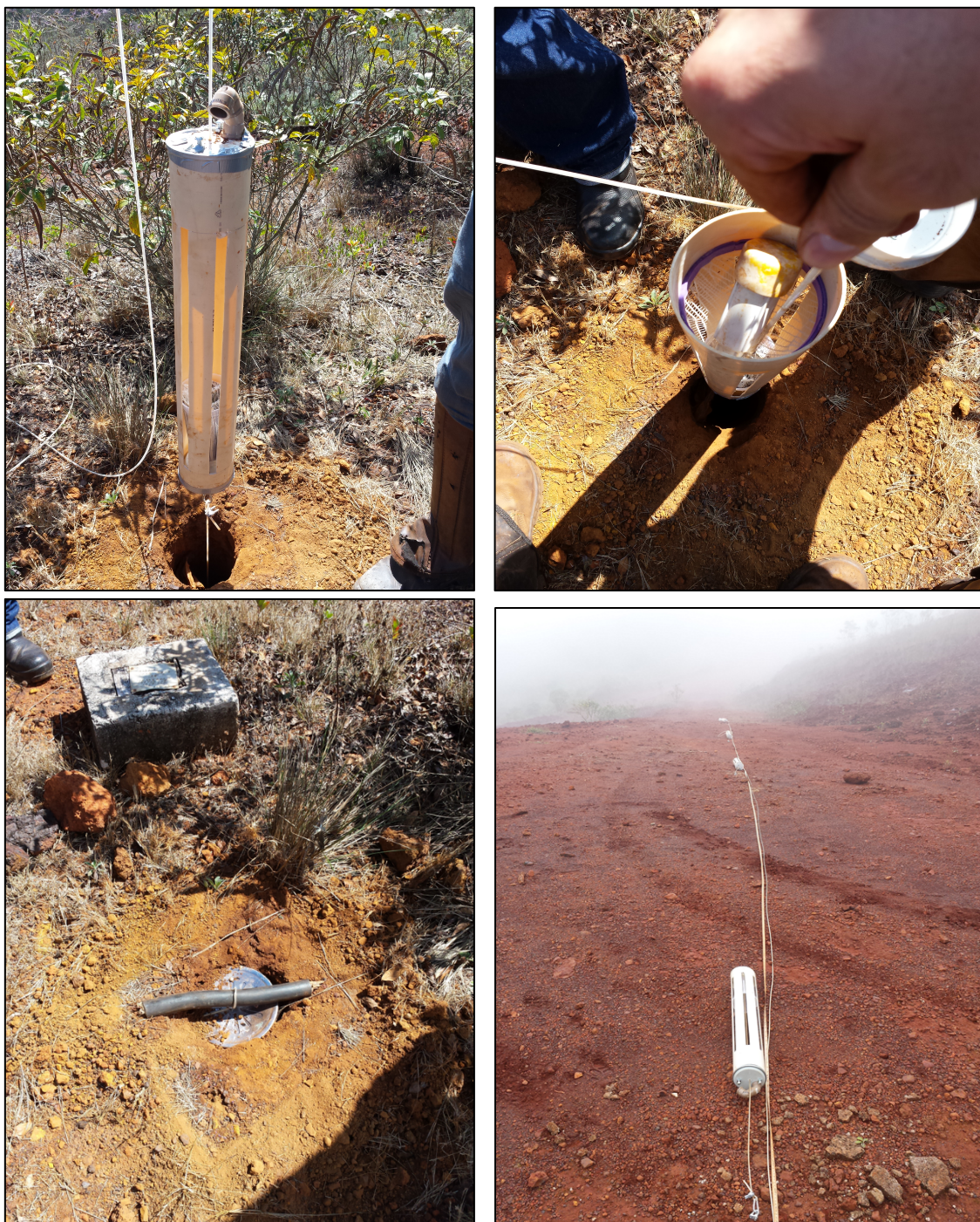
Furo	De	Até	Litologia
FSD1906	0	6.25m	Canga fragmentada
FSD 1306	0	3m	Canga dura fragmentada
	3m	4.1m	Hematita friável
	4.1m	4.7m	Canga/laterita médio fragmentada
	4.7m	9.35m	Hematita média fragmentada
FSD 2906	0	3.4m	Canga dura porosa
	3.4m	4.85m	Laterita fragmentada
FSD 0411	0	10.3m	Fragmentos decimétricos de hematita
	10.3m	19m	Fragmentos de 2.5x1.0x0.5cm; hidratado
	19m	22.5m	Itabirito silicoso com fragmentos coesos
FSD 5405	0	5.5m	Laterita (material fragmentado)
FSD 0904	0	3.6m	Canga com Hematita dura
	3.6m	12m	Hematita dura; especularita entre 8.3-10.7m
	12m	26.7m	Argiloso com canga e laterita
FDMQ 002	0	9.3m	Canga
	9.3m	16.9m	Canga; itabirito decomposto em blocos/placas
	16.9m	25.4m	Itabirito mole; decomposto em bloco/placas
	25.4m	33.4m	Itabirito duro; menor porosidade
	33.4m	41.9m	Itabirito duro
FDMQ 003	0	9.4m	Itabirito friável com aspecto desagregado
	9.4m	11.4m	Sem recuperação
	11.4m	17.4m	Itabirito friável com aspecto desagregado
FDMQ 190	0	8.7m	Canga com alta porosidade
FDMQ 190	8.7m	22.6m	Itabirito friável com alta porosidade; fratura de 50cm a 19m.

Nota: Dados geológicos obtidos da mineradora Vale S.A.

Figura 18 – Armadilha para coleta no HSS, através dos furos de sondagem, no Quadrilátero Ferrífero, MG.



Figura 19 – As armadilhas inseridas nos furos de sondagem dispostas entre os perfis da canga e itabirito, abrangendo as fissuras e rachaduras nas rochas subjacentes.



Depois o material foi transferido para falcons e transportado para o LSCC/UEPB. A contagem dos indivíduos foi a partir do cálculo por estimativa: os colêmbolos foram distribuídos de forma linear, sem sobreposição, em placa de Petri com álcool e papel

milimetrado no fundo (externo), com contagem aleatória de 50% da área da placa. O procedimento de identificação seguiu o padrão das coletas em cavernas.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Foi realizada uma estatística descritiva para cada ambiente/zona de coleta, evidenciando as principais espécies de ocorrência, sua abundância absoluta e relativa. Na elaboração da curva de acumulação de espécies foram utilizados os estimadores de abundância (Chao 1) e de incidência (Chao 2, Jackknife 1, Jackknife 2 e Bootstrap), com 999 randomizações e sem reposição. O limite de riqueza também foi estimado por permutações. A suficiência amostral foi estabelecida comparando a riqueza observada e a estimada: para as zonas cavernícolas afótica e disfótica o estimador foi Chao 1, porque trata-se de um ambiente reconhecidamente oligotrófico, de riqueza reduzida; para a zona de entrada e o ambiente externo o estimador foi Jackknife 1, o mais acurado para as análises ecológicas (PALMER, 1990).

Para as estatísticas descritas a seguir, *a priori* os dados bióticos foram padronizados pelo valor total de cada amostra e a matriz de similaridade construída utilizando o índice de Bray-Curtis, enquanto que para os dados abióticos não houve a necessidade de padronização, e, tanto para temperatura quanto para umidade, a matriz de similaridade foi construída utilizando a distância Euclidiana.

As análises de similaridade (ANOSIM) foram realizadas para as composições bióticas e os dados abióticos, e com a significância expressa através do p-valor. O procedimento de Bootstrap, que é uma técnica de reamostragem a partir do conjunto de dados original, foi realizado para avaliar a estimativa de distribuição.

O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para medir a dependência entre variáveis. A análise de variância (ANOVA), da riqueza (F_s , p-valor) e abundância (F_n , p-valor), visa mostrar se existe diferença significativa entre áreas do QF – o Teste-t foi executado apenas para análises de amostras pareadas. Para avaliar as relações da riqueza e abundância com as variáveis temperatura e umidade foram utilizadas regressões múltiplas.

As análises foram executadas no programa PRIMER-E v7 (estimadores, ANOSIM e Bootstrap) (CLARKE & GORLEY, 2015), Statistica v8 (correlação, ANOVA e teste-t) (STATSOFT, 2007) e programa R (estimativa de riqueza por permutação e a regressão múltipla) (R CODE TEAM, 2019), utilizando os pacotes Vegan (OKSANEN *et al.*, 2019) e MASS (VENABLES & RIPLEY, 2002).

4 RESULTADOS

4.1 O AMBIENTE HIPÓGEO

4.1.1 A zona afótica

Foram coletados 1.421 indivíduos nas zonas afóticas, pertencentes a 23 espécies, 13 gêneros e 9 famílias de colêmbolos. A espécie com maior abundância e ocorrência em todas as cavernas foi *Pseudosinella* sp1 com 550 exemplares o que representa 38,7% do total amostrado, e cuja contribuição foi de 17,9% em Serrinha, 50,9% em Capitão do Mato e 54,4% em Apolo. A segunda espécie mais comum foi *Cyphoderus agnotus* com 310 exemplares (21,8%), sua maior contribuição foi em Serrinha (29,2%). Em seguida, as espécies *Trogolaphysa* sp2, *Novakatianna* sp2 e *Cyphoderus similis* representam o maior numero de indivíduos (Tabela 6). Três espécies foram restritas à zona afótica: *Pseudosinella* sp4 (n = 10), *Cyphoderus* sp9 (n = 1) e *Arrhopalites caecus* (n = 1) (possivelmente *A. ca. caecus*). A composição é apresentada na Figura 20. A curva de acumulação de espécies baseado nos estimadores de riqueza e em permutações de amostragens são apresentados nas Figuras 21 e 22. A suficiência amostral, dado pelo estimador Chao 1, foi de 96.8%.

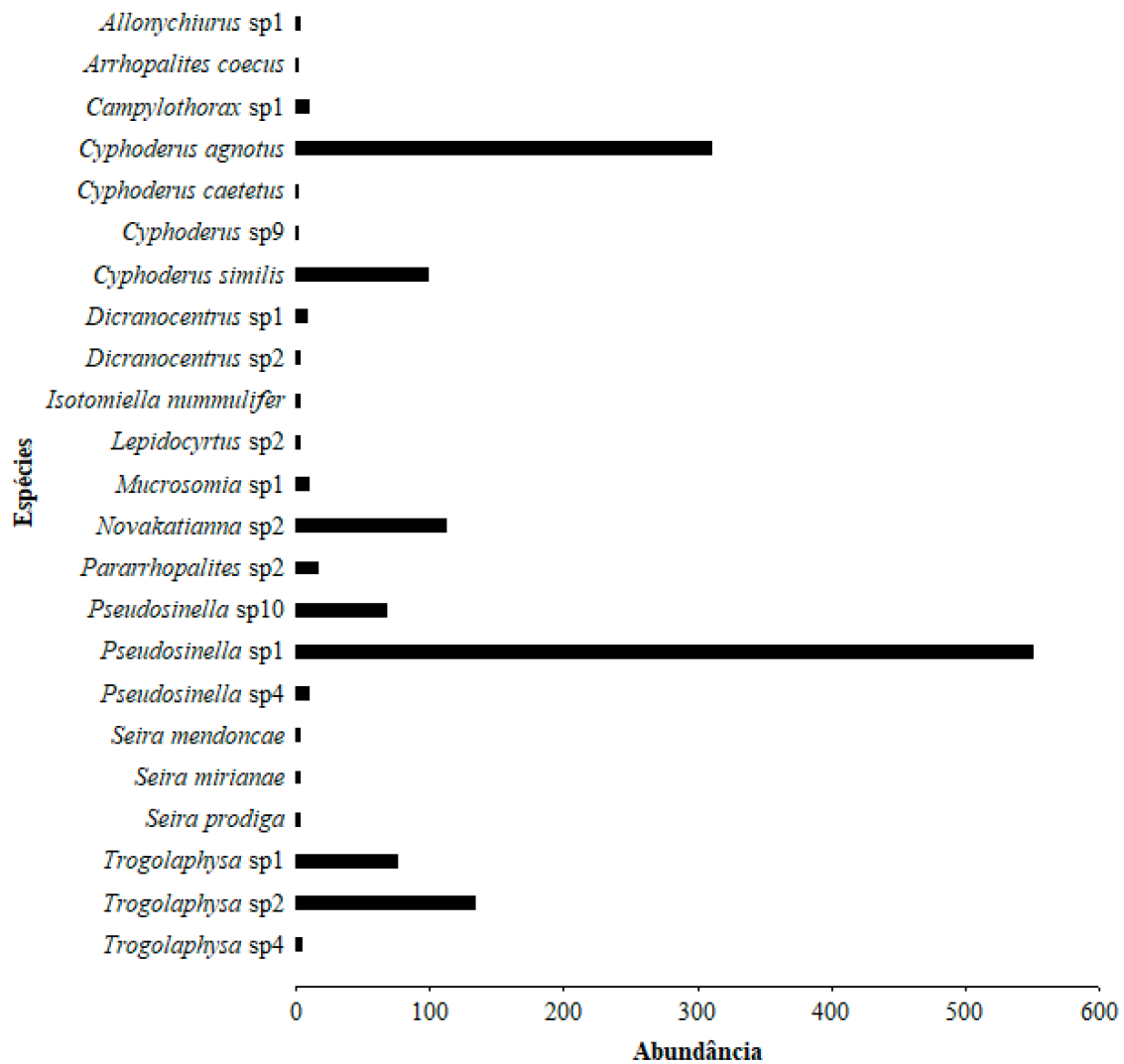
Tabela 6 – Espécies mais abundantes que compõem a zona afótica.

Espécies	Serrinha	Capitão do Mato	Apolo	Total
<i>Cyphoderus agnotus</i>	173	16	121	310
<i>Cyphoderus similis</i>	66	0	32	98
<i>Novakatianna</i> sp2	68	7	37	112
<i>Pseudosinella</i> sp1	106	91	353	550
<i>Trogolaphysa</i> sp2	129	5	0	134
Outras espécies	51	60	106	217
Total	593	179	649	1.421

Ao longo do ano, os períodos de seca e chuva mostraram diferença na similaridade da composição de colêmbolos ($p = 0.008$), o mesmo não foi observado entre os meses que os compõem, ou seja, entre junho/2016 e setembro/2016 ($p = 0.31$), e entre dezembro/2016 e março/2017 ($p = 0.73$) (Figura 23). As cavernas de Serrinha e Capitão do Mato mostraram-se

mais dissimilares entre si ($p = 0.007$) que a relação delas com as cavernas de Apolo ($p > 0.05$) (Figura 24).

Figura 20 – Composição das espécies de colêmbolos da zona afótica para as cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).



A riqueza e abundância da taxocenose afótica mostra uma moderada correlação de dependência ($r = 0.48$, $p < 0.05$). A análise de variância aponta que não há diferença no número de espécies e na abundância da fauna coletada entre os meses do ano ($F_s = 2.59$, $p = 0.07$; $F_n = 1.50$, $p = 0.23$), o mesmo foi observado entre as áreas ($F_s = 0.65$, $p = 0.52$; $F_n = 1.91$, $p = 0.16$) e entre as cavernas ($F_s = 0.64$, $p = 0.73$; $F_n = 1.73$, $p = 0.14$).

Figura 21 – Curva de acumulação de espécies de Collembola na zona afótica. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.

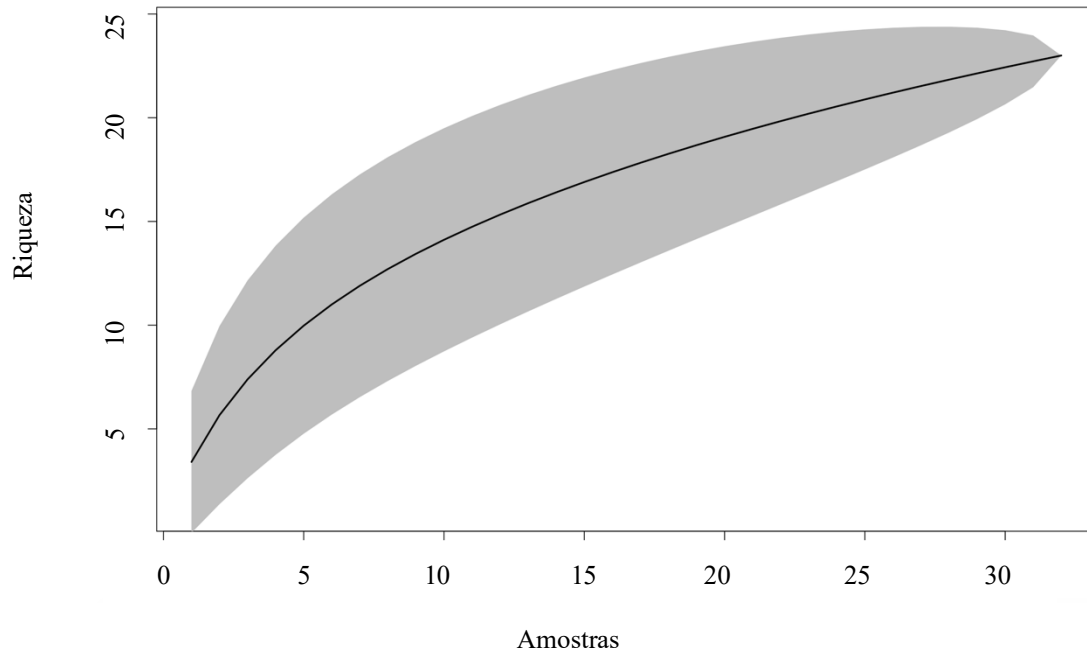


Figura 22 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola na zona afótica a partir de estimadores de diversidade.

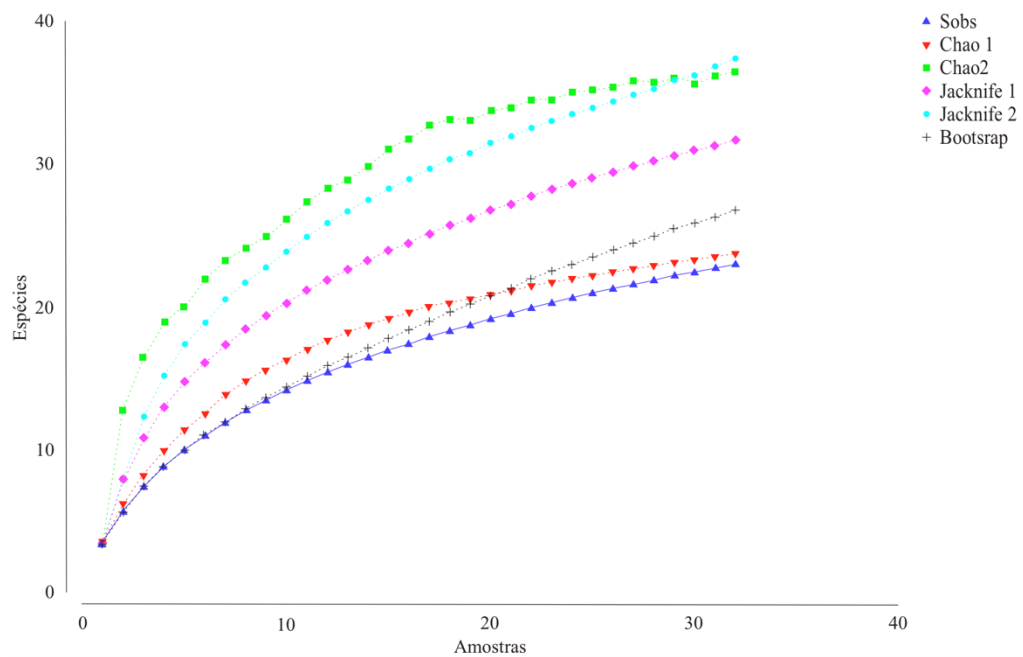


Figura 23 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona afótica, entre os meses de coleta.

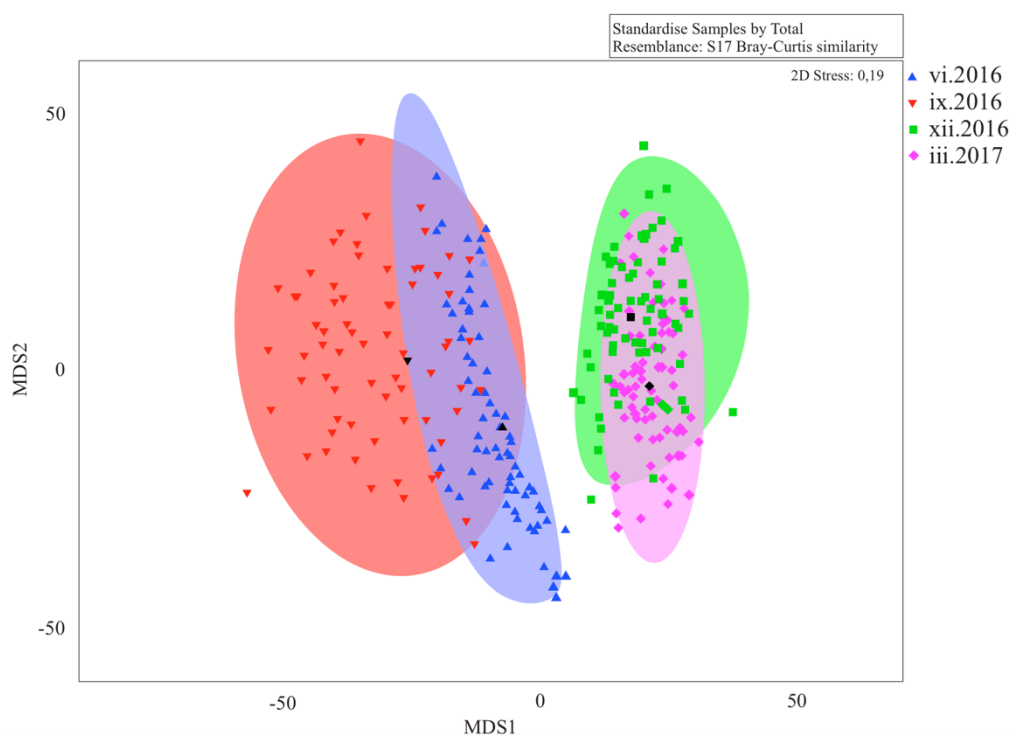
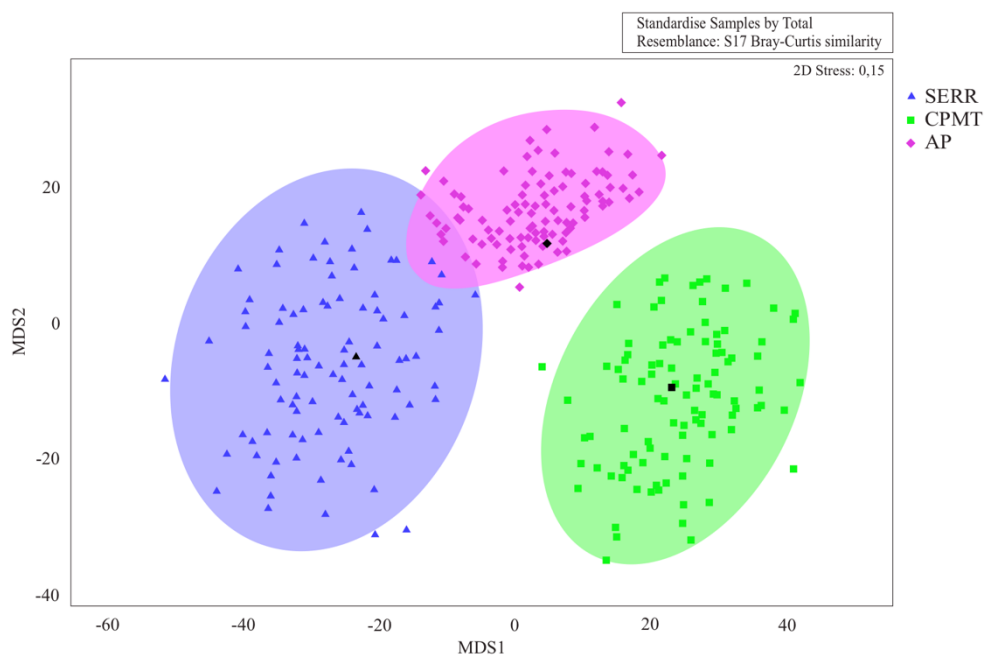


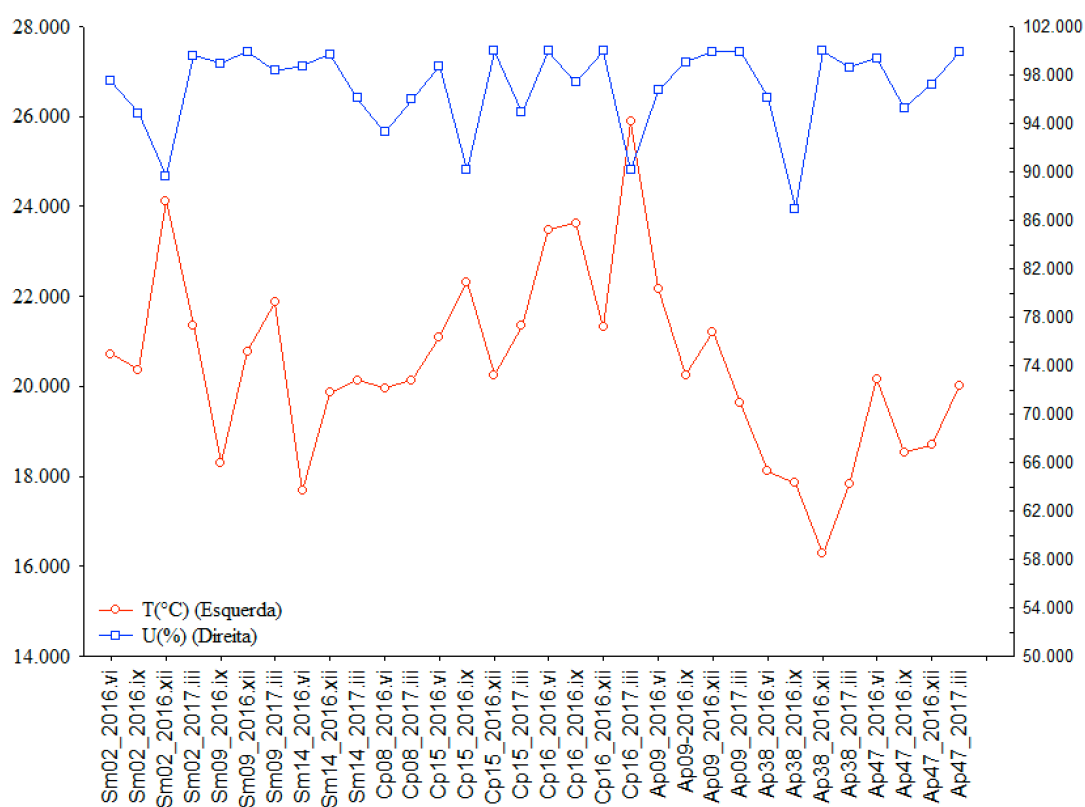
Figura 24 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona afótica, entre as cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e a Serra do Gandarela (AP).



A temperatura média registrada na zona afótica foi de 20.5°C (DP = 2.1°C). A mínima registrada foi de 16.3°C no mês de dezembro/2016 na cavidade AP38, e máxima de 25.9°C em março/2017 na cavidade CPMT16, no final do período chuvoso. Apesar desta variação anual, as temperaturas são similares entre os períodos de seca e chuva ($p = 0.39$) e entre os meses de coleta ($p = 0.75$). No entanto, foi observada dissimilaridade entre as temperaturas das cavidades de Capitão do Mato e Apolo ($p = 0.03$).

A umidade média foi de 96.97% (DP = 3.5%). A mínima foi de 86.9% em setembro/2016 na cavidade AP38 e a máxima alcança a saturação de 100% em dezembro/2016 nas cavidades CPMT15-16 e AP38. A análise de similaridade mostra que esta variação ao longo do ano, entre os períodos de seca e chuva, e os meses de coleta, não é significativa ($p > 0.16$) (Figura 25).

Figura 25 – Valores médios de temperatura e umidade na zona afótica das cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).



A composição não mostrou correlação com as temperaturas registrada (riqueza: $r = -0.08$; abundância: $r = -0.04$; $p < 0.05$), e foi negativa também para a umidade (riqueza; abundância: $r = 0.24$, $p < 0.05$).

A análise de regressão múltipla indicou que nenhuma das variáveis preditoras possui efeitos sobre a riqueza e abundância de colêmbolos na zona afótica das cavernas, (riqueza: $R^2 = 0.057$, $R^2_{adj} = -0.008$, $p = 0.47$, Figura 26; abundância: $R^2 = 0.06$, $R^2_{adj} = -0.004$, $p = 0.31$, Figura 27).

Figura 26 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.057$, $R^2_{adj} = -0.008$, $p = 0.47$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.

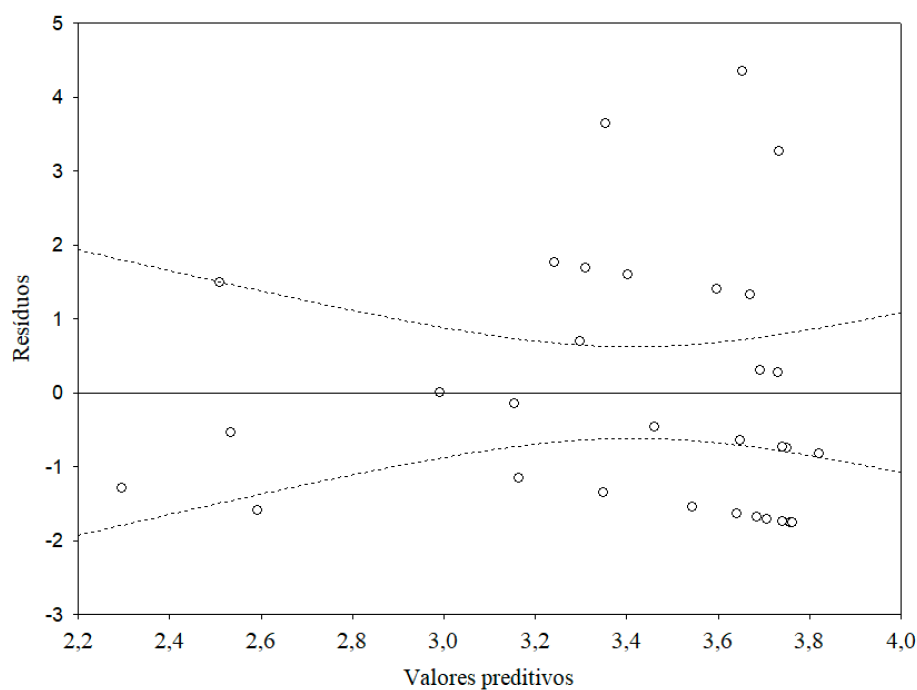
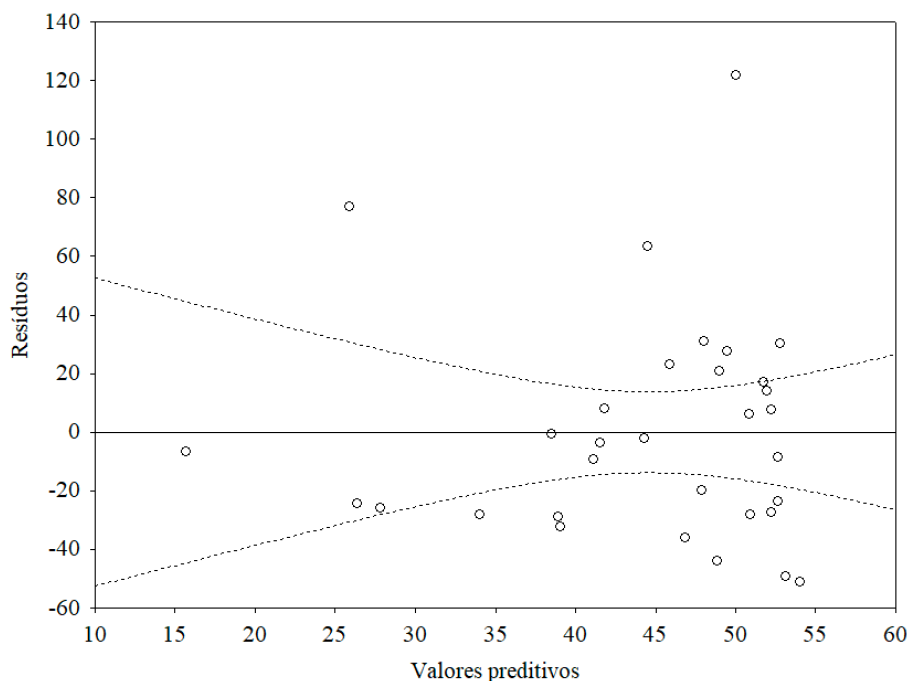


Figura 27 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a abundância de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.06$, $R^2_{adj} = -0.004$, $p = 0.31$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.



4.1.2 A zona disfótica

Foram coletados 951 indivíduos nas zonas disfóticas, pertencentes a 28 espécies, 18 gêneros e 9 famílias de colêmbolos. A espécie com maior abundância foi *Trogolaphysa* sp1 com 174 exemplares (18.3%), seguido de *Dicranocentrus* sp1 com 154 (16,2%), *Pseudosinella* sp1 com 143 (15,0%) e *Cyphoderus agnotus* com 113 (11,9%). Essas espécies representam 61.4% da abundancia total (Tabela 7). Observa-se que nesta zona, apesar da quantidade de indivíduos ser menor, há uma maior riqueza que o ambiente afótico. Duas espécies foram restritas à zona disfótica: *Folsomia* sp3 ($n = 2$) e *Yosiia* sp1 ($n = 1$), ambas registradas no mês de setembro, no período seco, em cavernas distintas (CPMT16 e AP47, respectivamente). A composição da fauna disfótica é apresentada na Figura 28. A curva de acumulação de espécies baseado nos estimadores de riqueza e em permutações de amostragens são apresentados nas Figuras 29 e 30. A suficiência amostral, dado pelo estimador Chao 1, foi de 94.6%.

Tabela 7 – Espécies mais abundantes que compõem a zona disfótica.

Espécies	Serrinha	Capitão do Mato	Apolo	Total
<i>Cyphoderus agnotus</i>	29	45	39	113
<i>Dicranocentrus</i> sp1	22	54	78	154
<i>Pseudosinella</i> sp1	39	44	60	143
<i>Trogolaphysa</i> sp1	97	48	29	174
Outras espécies	173	84	110	367
Total	360	275	316	951

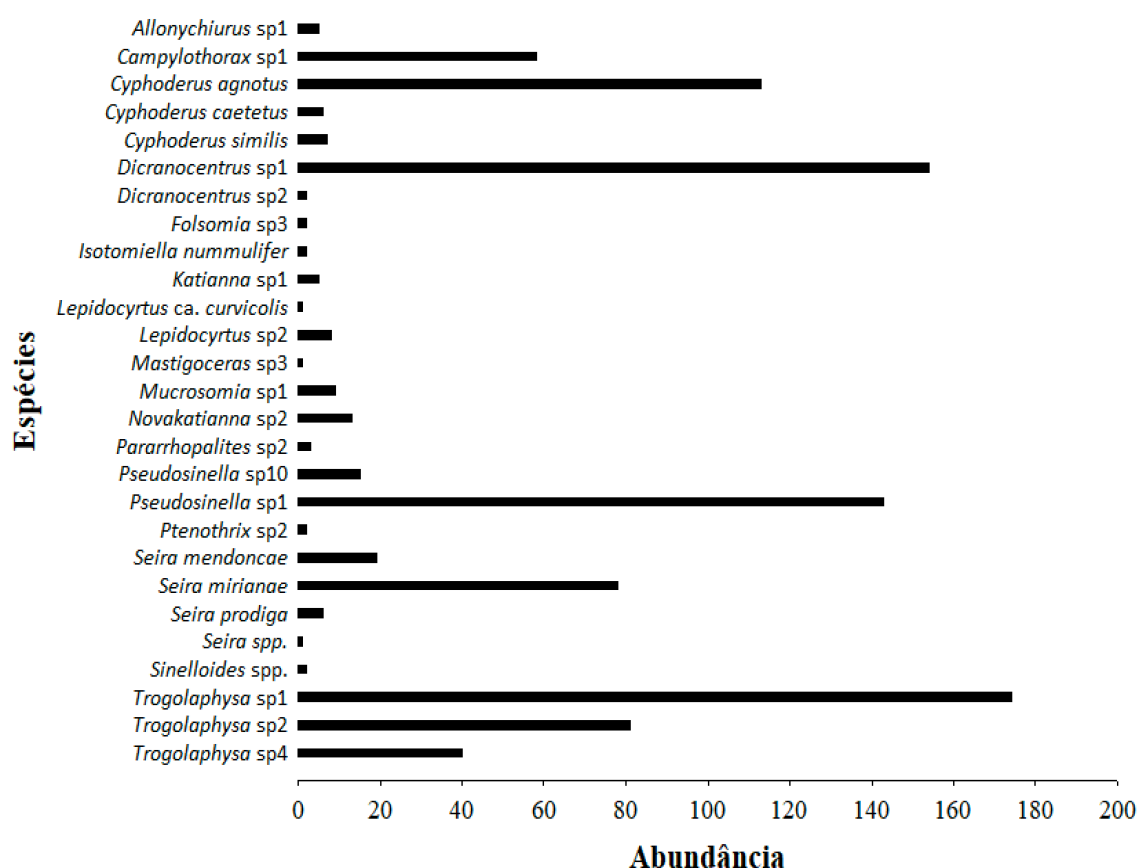
Figura 28 – Composição das espécies de colêmbolos da zona disfótica para as cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).

Figura 29 – Curva de acumulação de espécies de Collembola na zona disfótica. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.

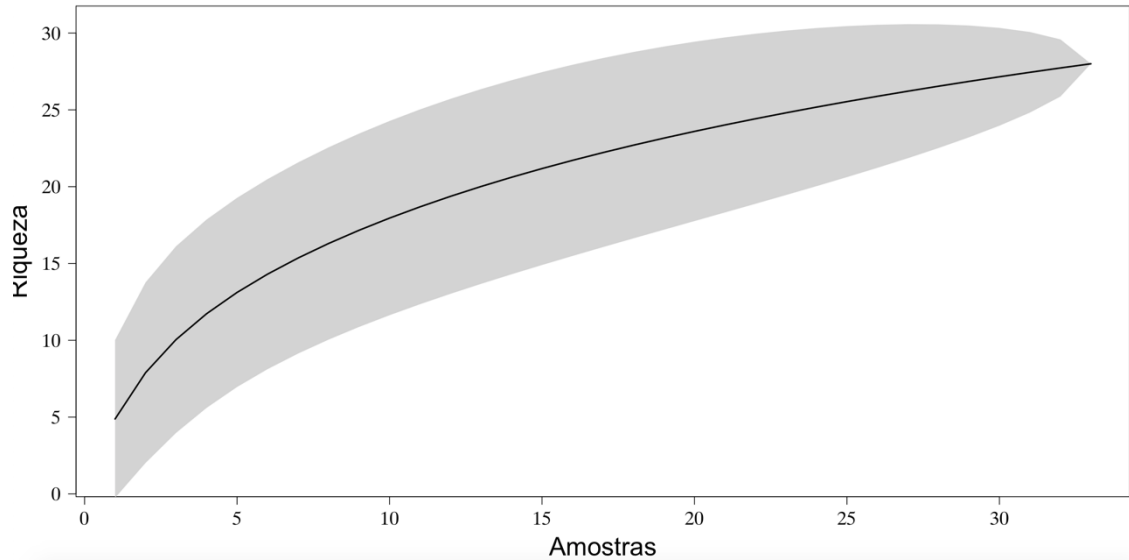
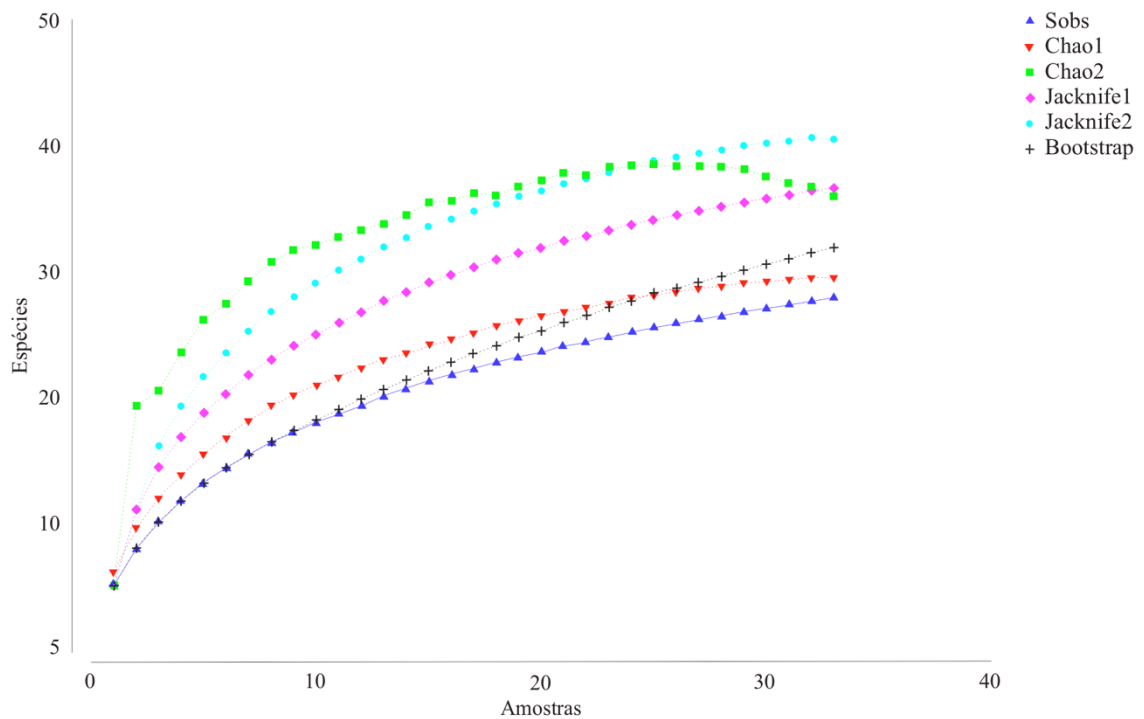
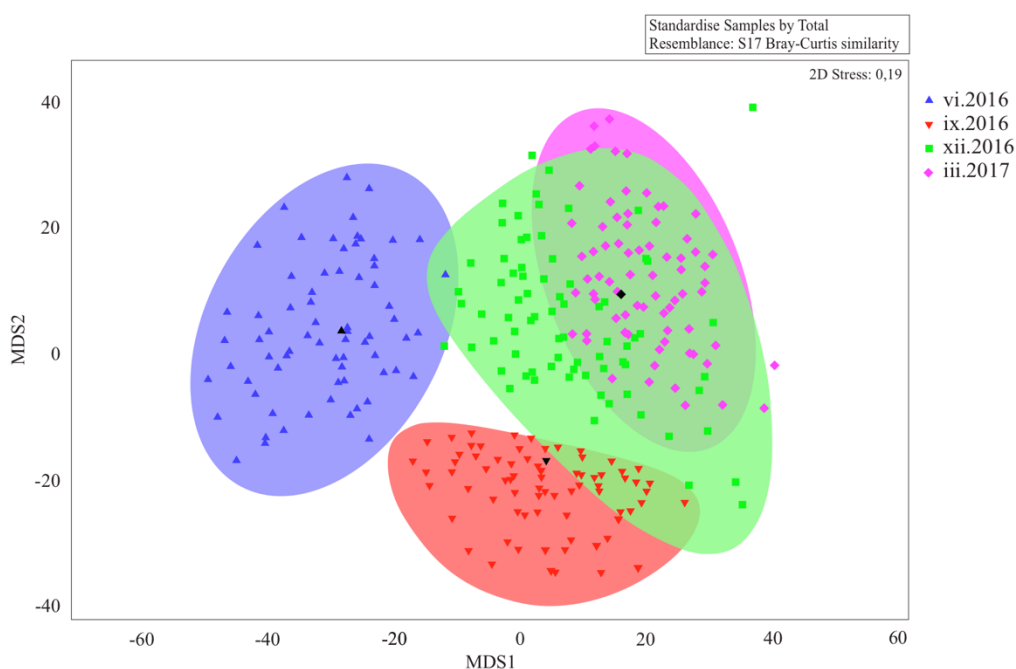


Figura 30 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola na zona disfótica a partir de estimadores de diversidade.



A análise de similaridade entre os períodos de seca e chuva não mostrou diferença significativa ($p = 0.06$), o mesmo foi observado nos meses de coleta, entre junho/2016 e setembro/2016 ($p = 0.08$), e entre dezembro/2016 e março/2017 ($p = 0.94$) (Figura 31). Quando a análise de similaridade foi refinada para a composição entre as cavernas, também não foi observada diferença significativa ($p > 0.07$) (Figura 32).

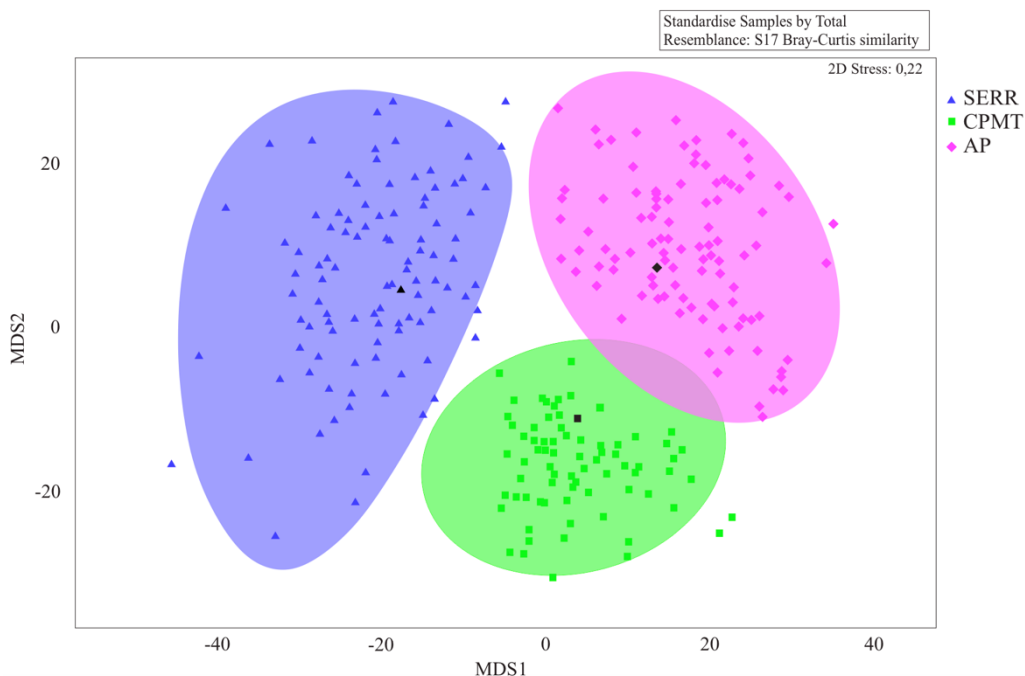
Figura 31 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona disfótica entre os meses de coleta.



A riqueza e abundância da taxocenose disfótica mostra uma moderada correlação de dependência ($r = 0.60$, $p < 0.05$). A análise de variância aponta que há diferença no número de espécies coletada entre os meses do ano ($F_s = 3.43$, $p = 0.03$; $F_n = 0.70$, $p = 0.55$), o mesmo foi observado entre as cavernas ($F_s = 2.51$, $p = 0.04$; $F_n = 2.10$, $p = 0.07$).

A temperatura média registrada na zona disfótica foi de 19.7°C ($DP = 2.5^{\circ}\text{C}$). A mínima registrada foi de 15.6°C no mês de dezembro/2016 na cavidade AP38, e máxima de 24.7°C em março/2017 na cavidade CPMT16, no final do período chuvoso. As temperaturas são dissimilares entre os períodos de seca e chuva ($p = 0.01$), mas não há diferença quando analisada a similaridade mês a mês ($p = 0.07$). Além disso, foi observada dissimilaridade entre as temperaturas das cavidades de Capitão do Mato e Apolo ($p = 0.01$).

Figura 32 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona disfótica, entre as cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e a Serra do Gandarela (AP).



A média dos valores de umidade foi de 92.38% (DP = 7.2%). A mínima foi de 73.5% em março/2017 na cavidade CPMT15 e a máxima alcança a saturação de 100% em dezembro/2016 nas cavidades CPMT15, AP09-38. A análise de similaridade mostra que não há variação da umidade entre os locais de coleta ($p > 0.09$) (Figura 33).

A composição não mostrou correlação com as temperaturas registrada (riqueza: $r = -0.01$; abundância: $r = 0.05$; $p < 0.05$), e foi negativa também para a umidade (riqueza: $r = 0.01$, abundância: $r = 0.21$, $p < 0.05$).

A análise de regressão múltipla indicou que nenhuma das variáveis preditoras possuem efeitos sobre a riqueza e abundância de colêmbolos na zona disfótica das cavernas, (riqueza: $R^2 = 0.000$, $R^2_{adj} = -0.066$, $p = 0.99$, Figura 34; abundância: $R^2 = 0.058$, $R^2_{adj} = -0.004$, $p = 0.40$, Figura 35).

Figura 33 – Valores médios de temperatura e umidade na zona disfótica das cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).

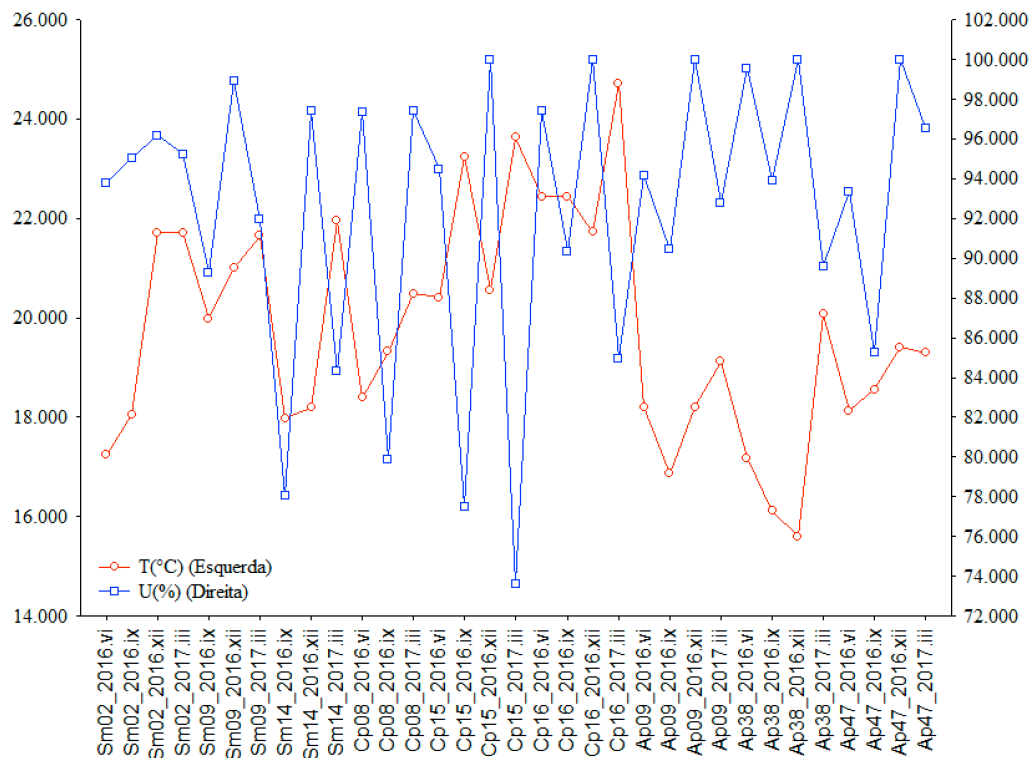


Figura 34 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.000$, $R^2_{adj} = -0.066$, $p = 0.99$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.

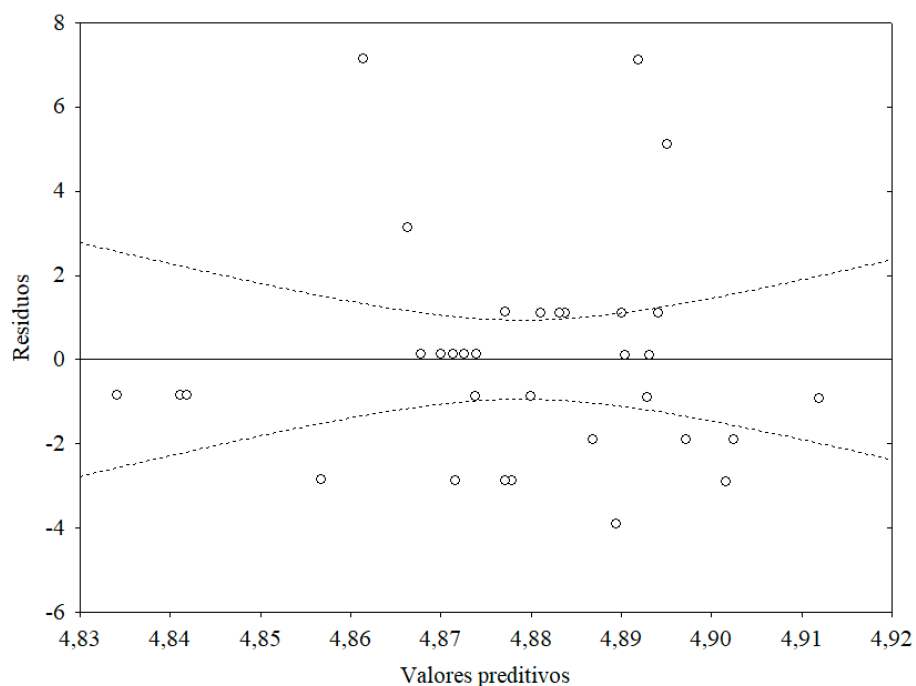
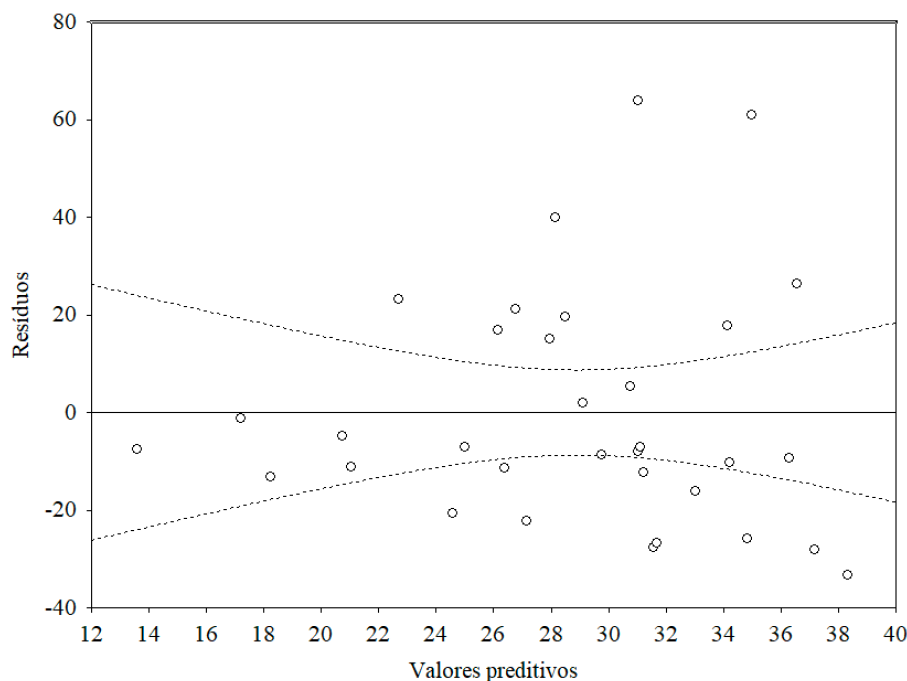


Figura 35 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a abundância de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.058$, $R^2_{adj} = -0.004$, $p = 0.40$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.

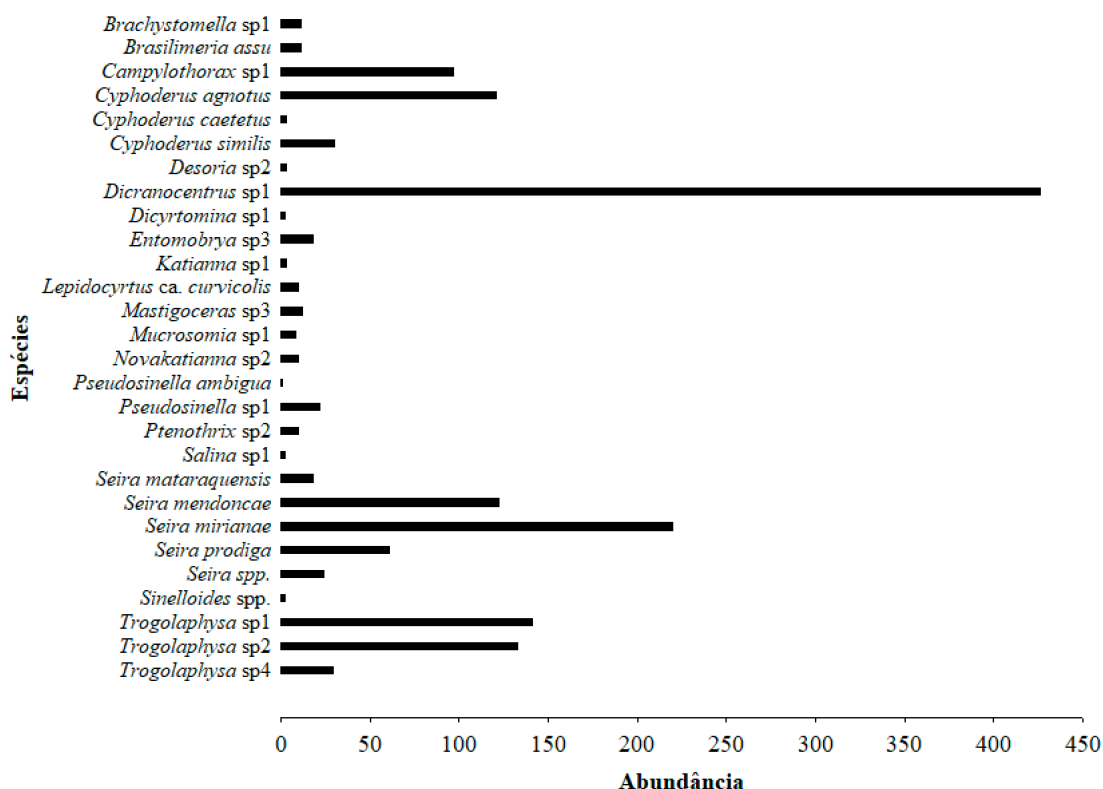


4.1.3 A zona de entrada

Foram coletados 1.550 indivíduos nas zonas de entrada, pertencentes a 28 espécies, 19 gêneros e 10 famílias de colêmbolos. A espécie com maior abundância foi *Dicranocentrus* sp1 com 426 exemplares o que representa 27,5% do total amostrado. A espécie, em alguns meses do ano, não possui registro, principalmente nas áreas de SERR14 e AP47. Ela contribui com 31,2% da abundância em Serrinha, 29,9% em Capitão do Mato e 23,6% em Apolo. A segunda espécie mais comum foi *Seira mirianae* com 220 exemplares (14,2%), a maior abundância está em Apolo (13,8%) e Serrinha (14,1%). Em seguida, as espécies *Trogolaphysa* sp1 e *T. sp2*, *Seira mendoncae* e *Cyphoderus agnotus* representam o maior número de indivíduos (Tabela 8). Duas espécies foram restritas à zona de entrada: *Desoria* sp2 ($n = 3$), e *Salina* sp1 ($n = 2$). A composição é apresentada na Figura 36 A curva de acumulação de espécies baseado nos estimadores de riqueza e em permutações de amostragens são apresentados nas Figuras 37 e 38. A suficiência amostral, dado pelo estimador Jackknife 1, foi de 90.6%.

Tabela 8 – Espécies mais abundantes que compõem a zona de entrada.

Espécies	Serrinha	Capitão do Mato	Apolo	Total
<i>Cyphoderus agnotus</i>	10	31	80	121
<i>Dicranocentrus</i> sp1	166	92	168	426
<i>Seira mendoncae</i>	28	17	77	122
<i>Seira mirianae</i>	75	47	98	220
<i>Trogolaphysa</i> sp1	58	13	70	141
<i>Trogolaphysa</i> sp2	39	16	78	133
Outras espécies	155	92	140	387
Total	531	308	711	1.550

Figura 36 – Composição das espécies de colêmbolos da zona de entrada para as cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).

Os períodos de seca e chuva não mostraram diferença na similaridade ($p = 0.05$) e também não foi observado entre dezembro/2016 e março/2017 ($p = 0.01$), de forma oposta, entre os meses de junho/2016 e setembro/2016 ($p = 0.08$), foi observada diferença (Figura 39).

As cavernas de Serrinha, Capitão do Mato e Apolo possuem igual similaridade na taxocenose de colêmbolos ($p > 0.39$) (Figura 40).

Figura 37 – Curva de acumulação de espécies de Collembola na zona de entrada. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.

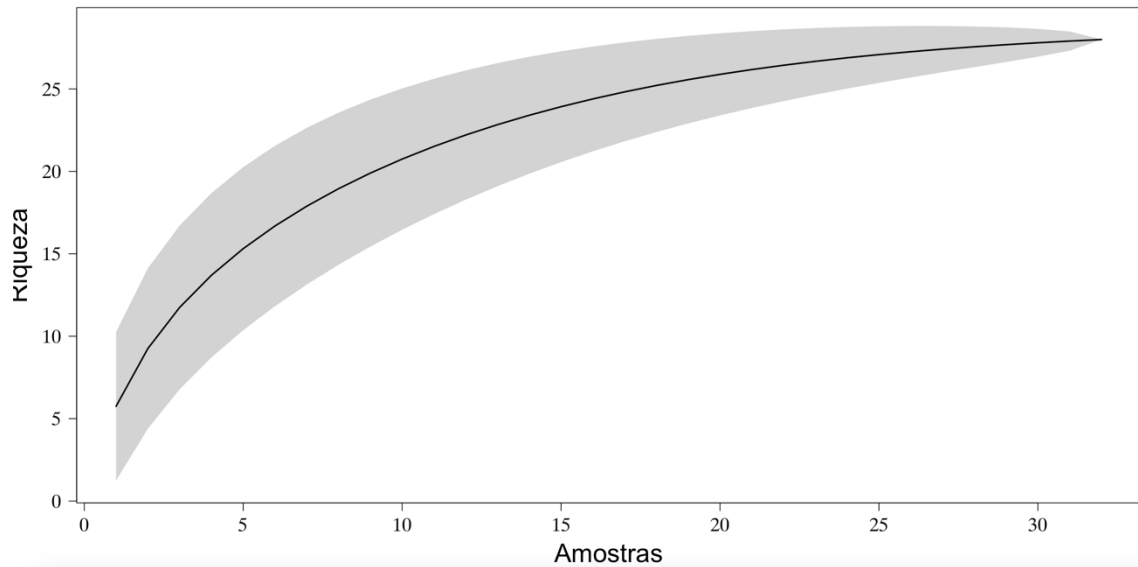


Figura 38 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola na zona de entrada a partir de estimadores de diversidade.

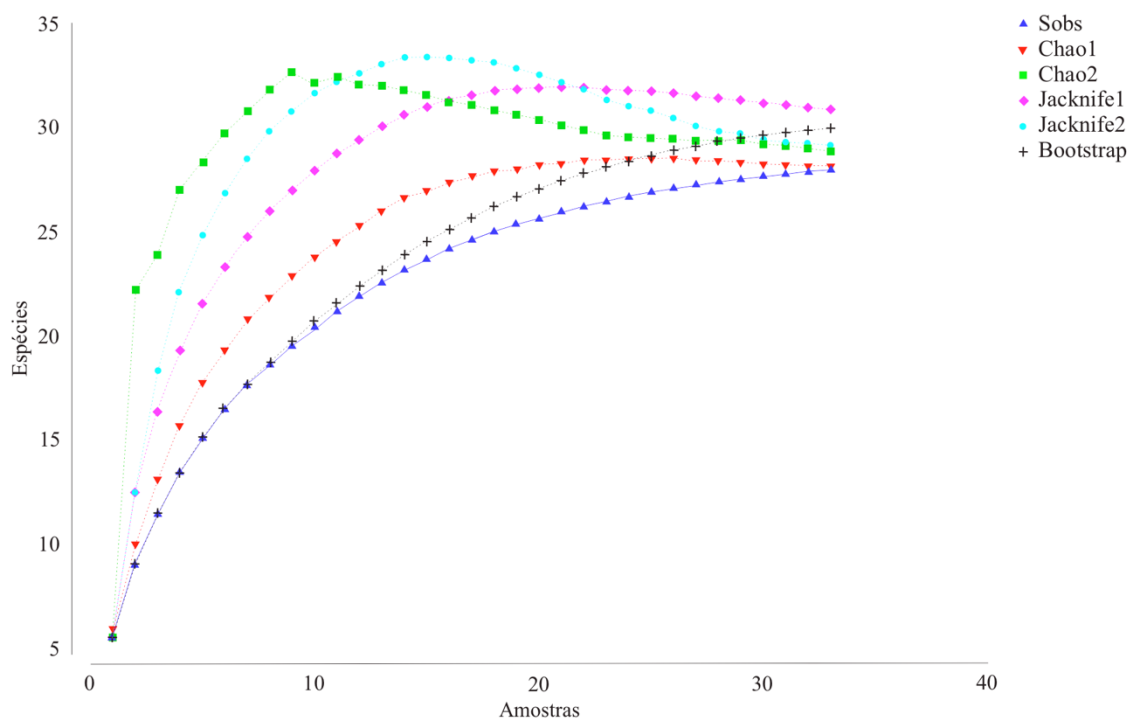
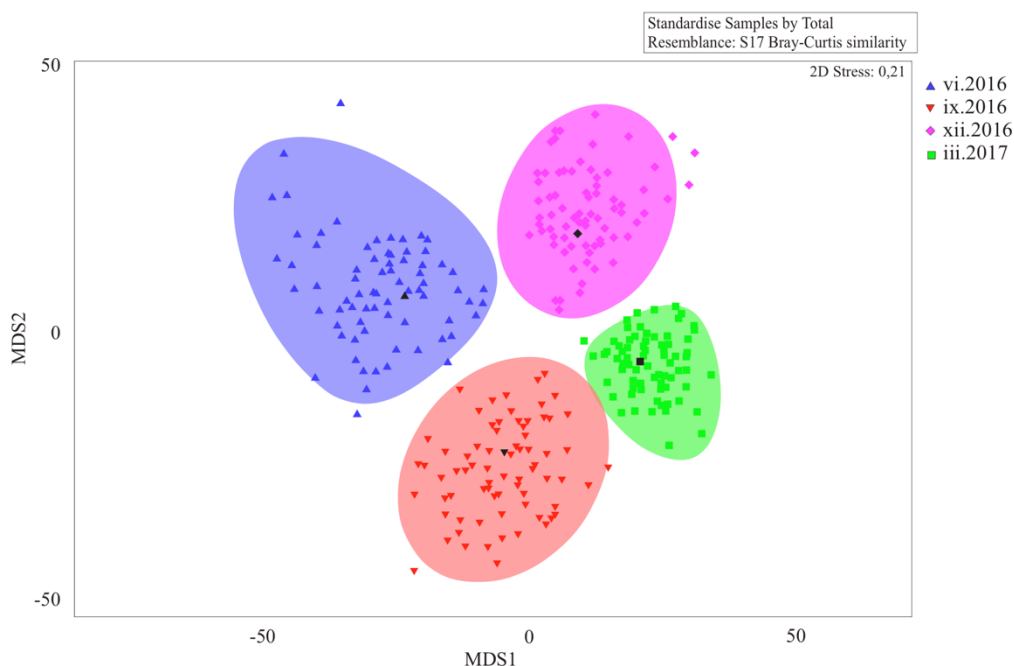


Figura 39 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona de entrada entre os meses de coleta.



A riqueza e abundância da zona de entrada mostra uma moderada correlação de dependência ($r = 0.55$, $p < 0.05$). A análise de variância aponta que não há diferença no número de espécies e na abundância da fauna coletada entre os meses do ano ($F_s = 2.82$, $p = 0.06$; $F_n = 0.57$, $p = 0.63$), o mesmo foi observado entre as áreas ($F_s = 1.10$, $p = 0.34$; $F_n = 2.28$, $p = 0.11$) e entre as cavernas ($F_s = 1.96$, $p = 0.10$; $F_n = 1.60$, $p = 0.17$).

A temperatura média registrada na zona de entrada foi de 20.7°C ($DP = 3.8^{\circ}\text{C}$). A mínima registrada foi de 14.1°C no mês de dezembro/2016 na cavidade AP38, e máxima de 31.8°C em dezembro/2016 na cavidade SERR02, no período chuvoso. O teste de similaridade indicou diferença entre os períodos de seca e chuva ($p = 0.03$), e entre março/2017 com todos os outros meses ($p < 0.04$). Não foi observada diferença entre junho/2016 e setembro/2016 ($p = 0.53$).

A média dos valores de umidade foi de 87.5% ($DP = 11.8\%$). A mínima foi de 57.4% em dezembro/2016 na cavidade SERR02 e a máxima alcança a saturação de 100% em dezembro/2016 nas cavidades CPMT15-16 e AP38-47. A análise de similaridade mostra que não há variação da umidade entre os locais de coleta ($p > 0.29$) (Figura 41).

Figura 40 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos na zona de entrada entre as cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e a Serra do Gandarela (AP).

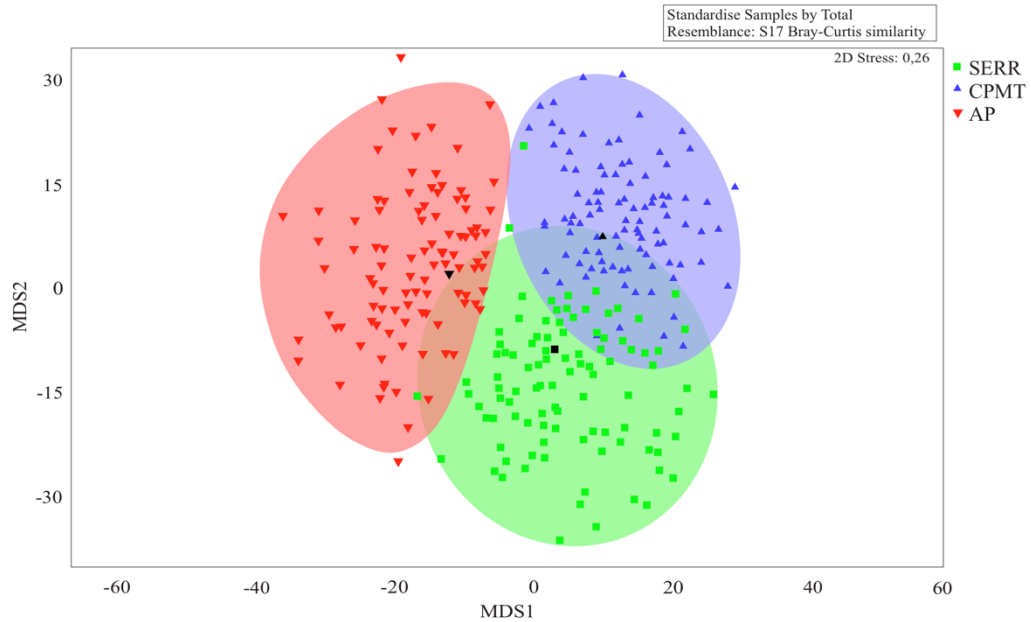
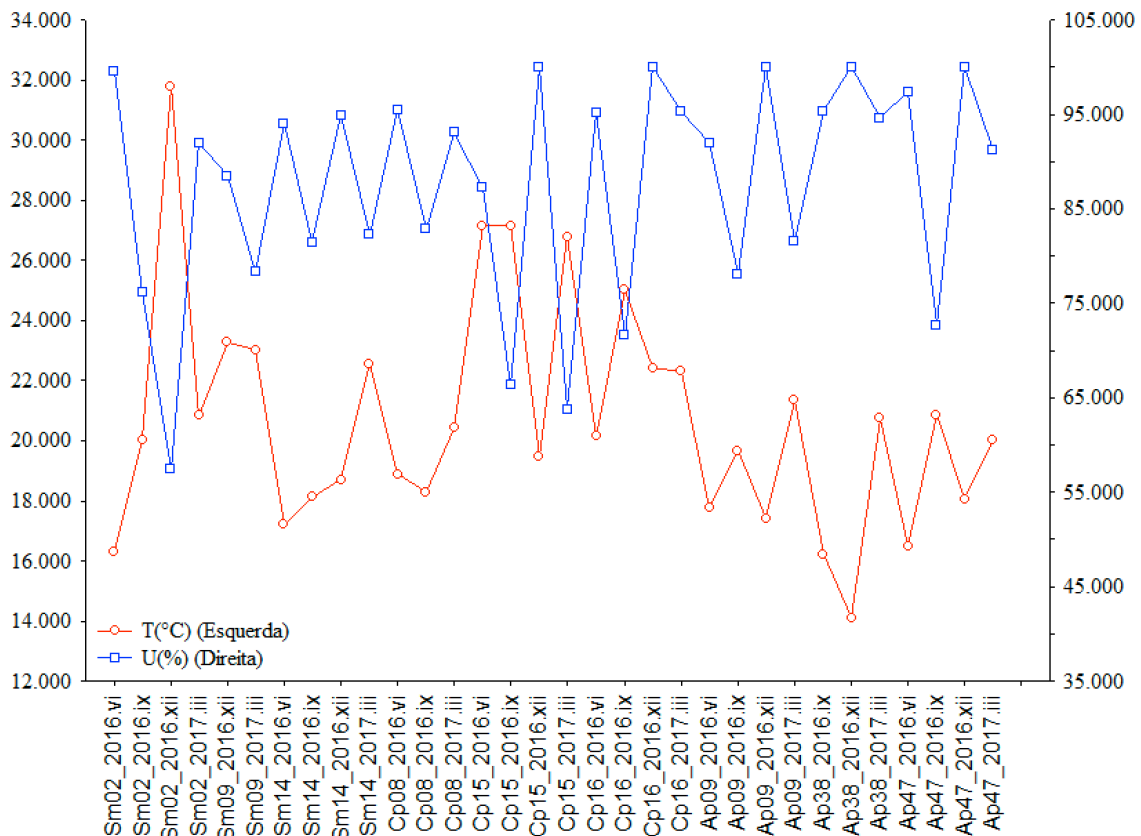


Figura 41 – Valores médios de temperatura na zona de entrada das cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).



A composição não mostrou correlação com as temperaturas registrada (riqueza: $r = -0.03$; abundância: $r = 0.10$; $p < 0.05$), e foi negativa também para a umidade (riqueza: $r = -0.16$, abundância: $r = -0.05$, $p < 0.05$).

A análise de regressão múltipla indicou que nenhuma das variáveis preditoras possuem efeitos sobre a riqueza e abundância de colêmbolos na zona de entrada das cavernas, (riqueza: $R^2 = 0.072$, $R^2_{adj} = 0.008$, $p = 0.33$, Figura 42; abundância: $R^2 = 0.012$, $R^2_{adj} = -0.055$, $p = 0.83$, Figura 43).

Figura 42 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.072$, $R^2_{adj} = 0.008$, $p = 0.33$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.

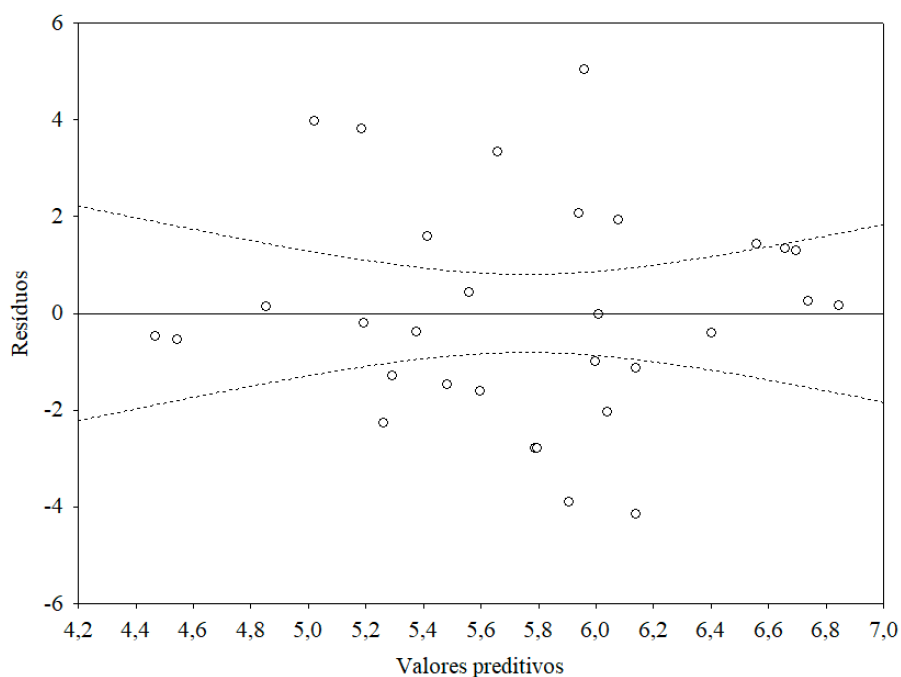
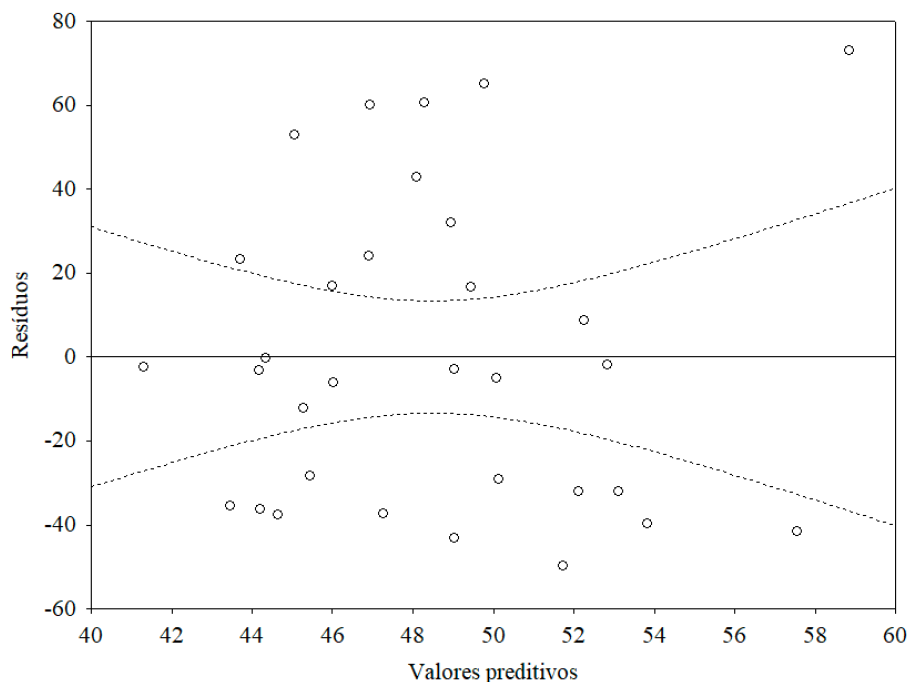


Figura 43 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a abundância de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.012$, $R^2_{\text{adj}} = -0.055$, $p = 0.83$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.



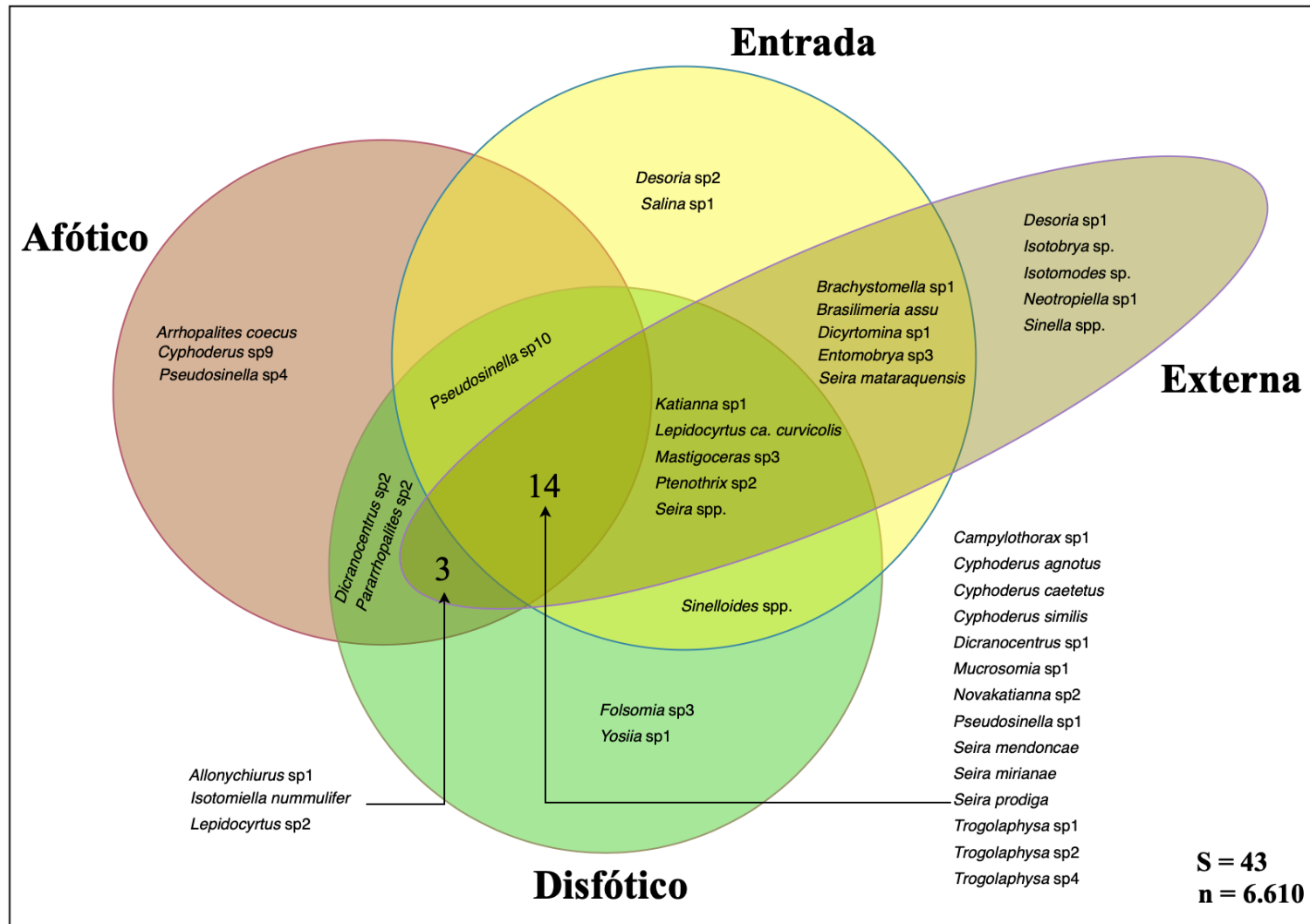
4.2 O AMBIENTE EPÍGEO

Nas áreas externas às cavernas foram coletados 2.688 indivíduos, pertencentes a 32 espécies, 23 gêneros e 11 famílias de colêmbolos. As espécies do gênero *Seira* representam 26.4% ($n = 709$) da abundância total, com destaque para *Seira mirianae* e *S. mendoncae*, com número de indivíduos em 293 e 243, respectivamente. No entanto, *Dicranocentrus* sp1 foi a principal espécie frequente nas áreas e, concomitantemente, a de maior abundância, isto é, esteve presente em 85.7% das amostras e totalizou 657 indivíduos. Outras espécies também foram representativas, como *Trogolaphysa* sp1 ($n = 321$) e *Campylothorax* sp1 ($n = 227$).

Cinco espécies foram registradas exclusivamente no meio epígeo, como *Desoria* sp1, *Isotobrya* sp., *Isotomodes* sp. *Neotropiella* sp1 e *Sinella* sp., todas com apenas um único registro, no período seco (vi-ix.2016), nas áreas adjacentes às cavernas AP38 (*Desoria* e *Isotobrya*), CPMT15 (*Isotomodes* e *Sinella*) e SERR02 (*Neotropiella*).

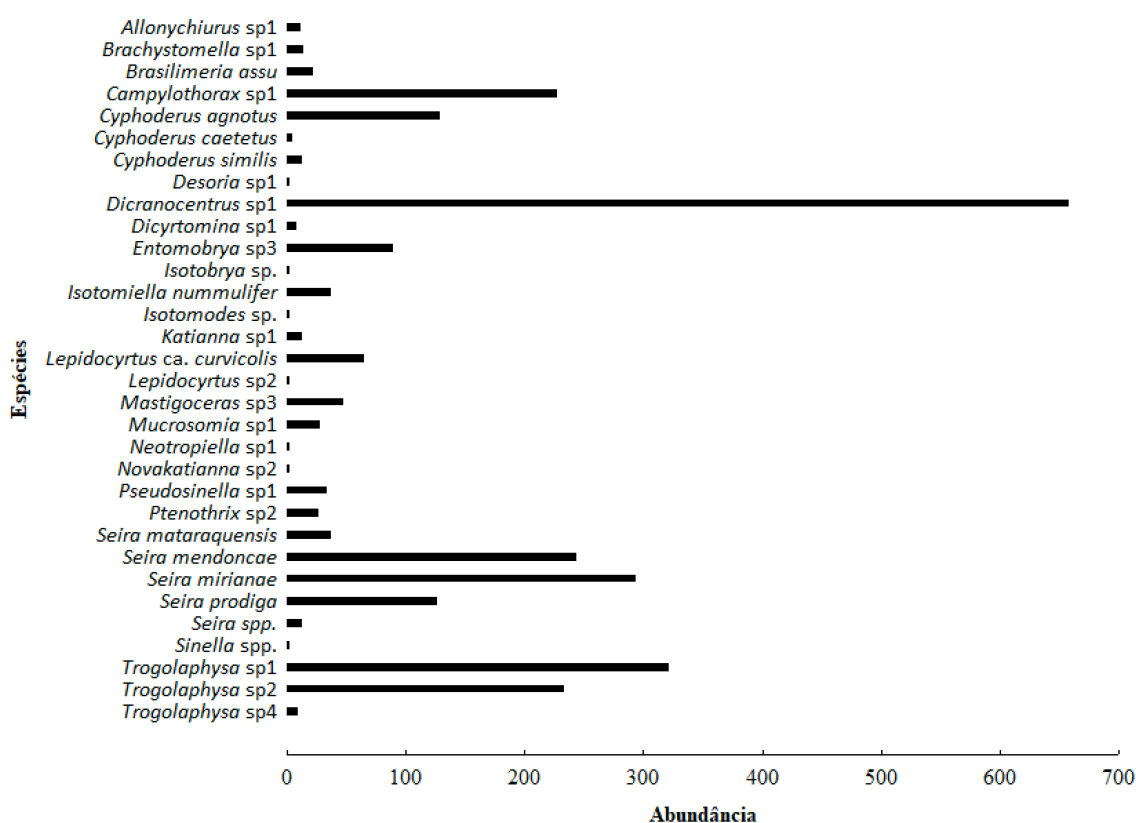
Como pode ser observado no Diagrama de Venn (Figura 44), 11 espécies não foram registradas no ambiente epígeo, mas apenas nas cavernas amostradas: *Arrhopalites caecus*, *Cyphoderus* sp9, *Desoria* sp2, *Dicranocentrus* sp2, *Folsomia* sp3, *Pararrhopalites* sp2, *Pseu-*

Figura 44 – Diagrama de Venn com a distribuição das espécies nos ambientes hipógeo (Entrada – Disfótico – Afótico) e epígeo (Externa). A riqueza total é representada pela letra “S”, abundância por “n”. Nota: onde se lê *Arrhopalites coecus* leia-se *Arrhopalites caecus*.



dosinella sp10, *Pseudosinella* sp4, *Salina* sp1, *Sinelloides* spp. e *Yosiia* sp1. A composição de espécies é apresentada na Figura 45. A curva de acumulação de espécies baseado nos estimadores de riqueza e em permutações de amostragens são apresentados nas Figuras 46 e 47. A suficiência amostral, dado pelo estimador Jackknife 1, foi de 78.7%.

Figura 45 – Composição das espécies de colêmbolos no ambiente epígeo adjacente às cavernas da Serra da Moeda (Serrinha e Capitão do Mato) e Serra do Gandarela (Apolo).



A análise de similaridade da taxocenose de colêmbolos mostrou diferença significativa entre os períodos de seca e chuva ($p = 0.001$) (Figura 48), e entre os meses de coleta de dezembro/2016 e março/2017 ($p < 0.003$), não houve diferença entre junho/2016 e setembro/2016 ($p = 0.43$) (Figura 49). Também não houve diferença entre as áreas externas adjacentes à caverna. ($p > 0.27$) (Figura 50).

A riqueza e abundância possuem uma fraca correlação ($r = 0.39$, $p < 0.05$), assumem, portanto, um baixo grau de dependência. A análise de variância da taxocenose mostrou que a alternância dos meses de coleta não influencia a riqueza ($F = 2.08$, $p = 0.13$) e abundância ($F = 2.92$, $p = 0.054$).

Figura 46 – Curva de acumulação de espécies de Collembola no ambiente epígeo. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.

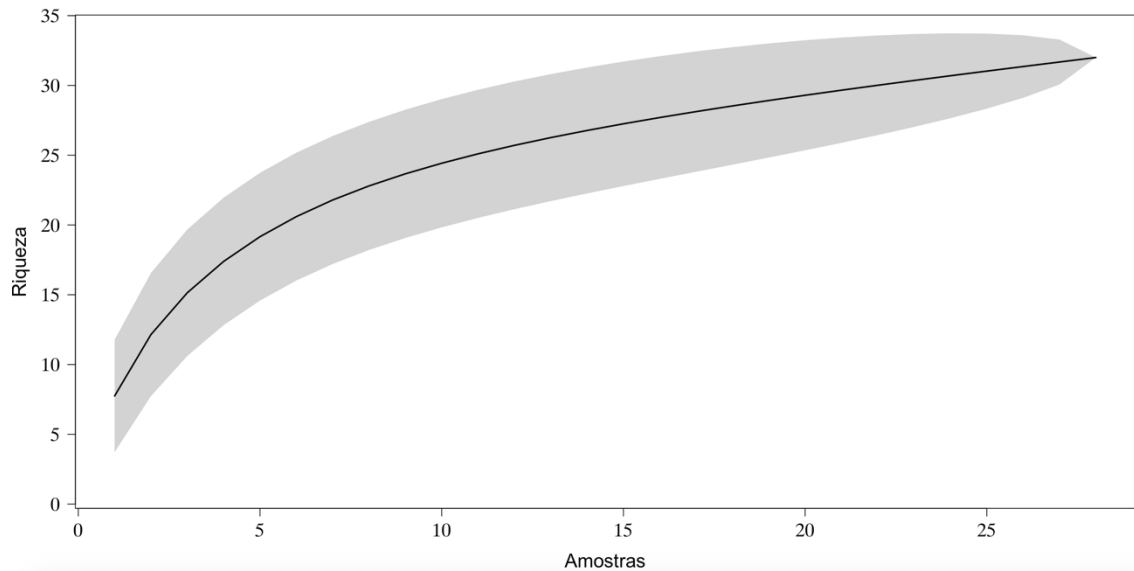


Figura 47 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola no ambiente epígeo a partir de estimadores de diversidade.

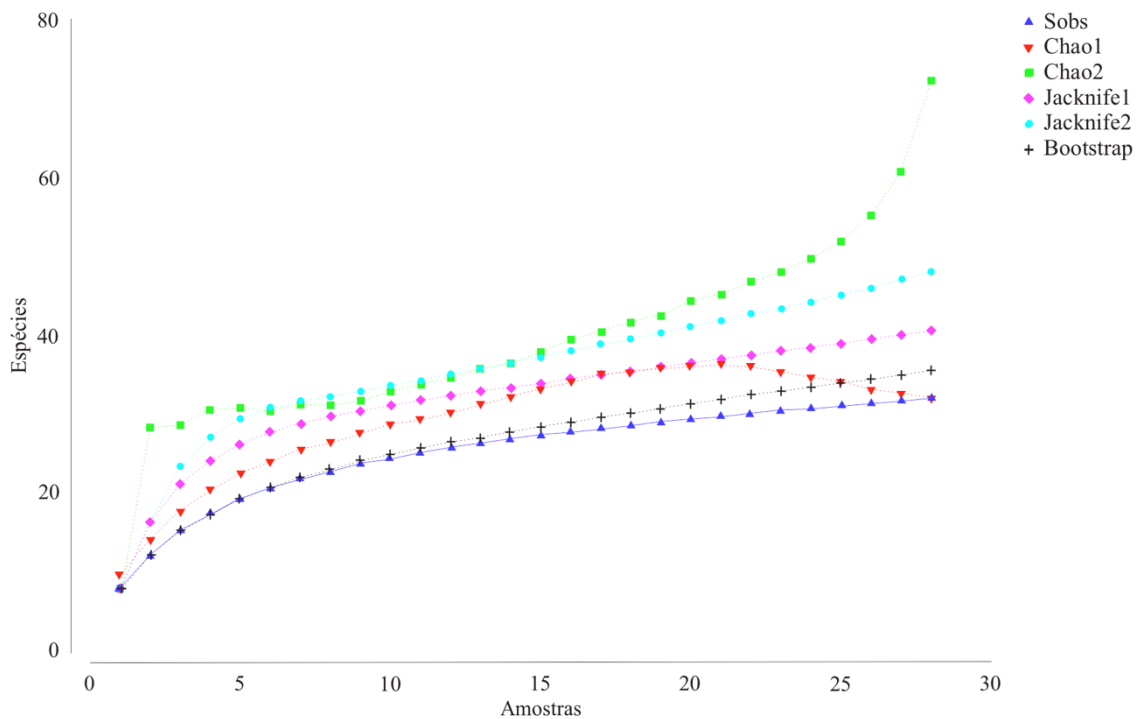


Figura 48 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no ambiente epígeo entre os períodos de seca e chuva.

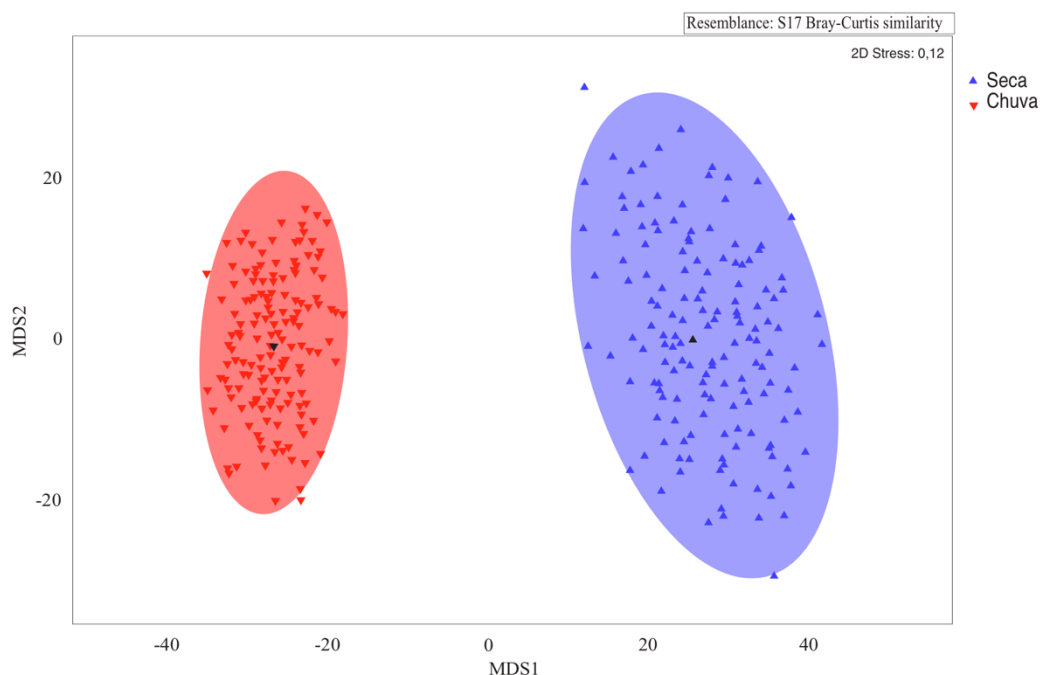


Figura 49 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no ambiente epígeo entre os meses de coleta.

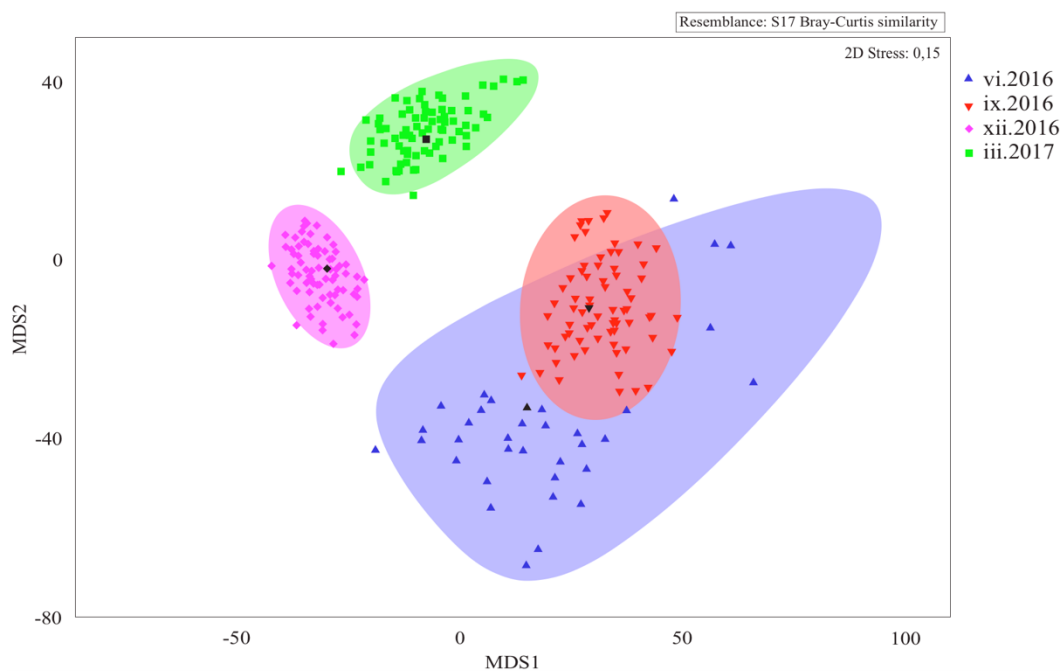
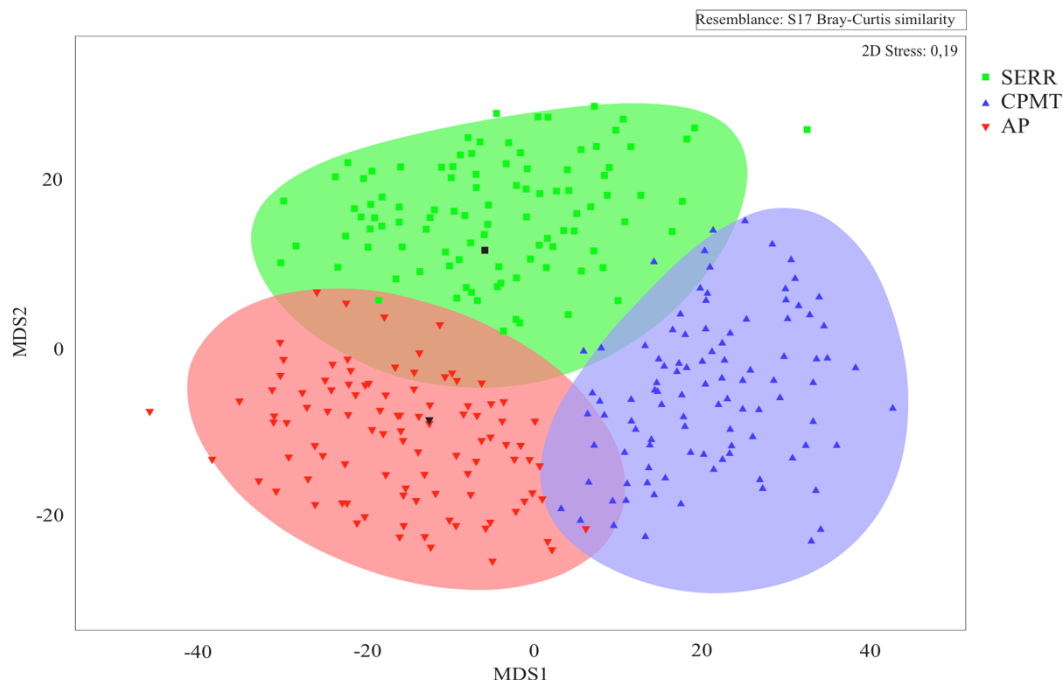


Figura 50 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no ambiente epígeo adjacentes às cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e da Serra do Gandarela (AP).

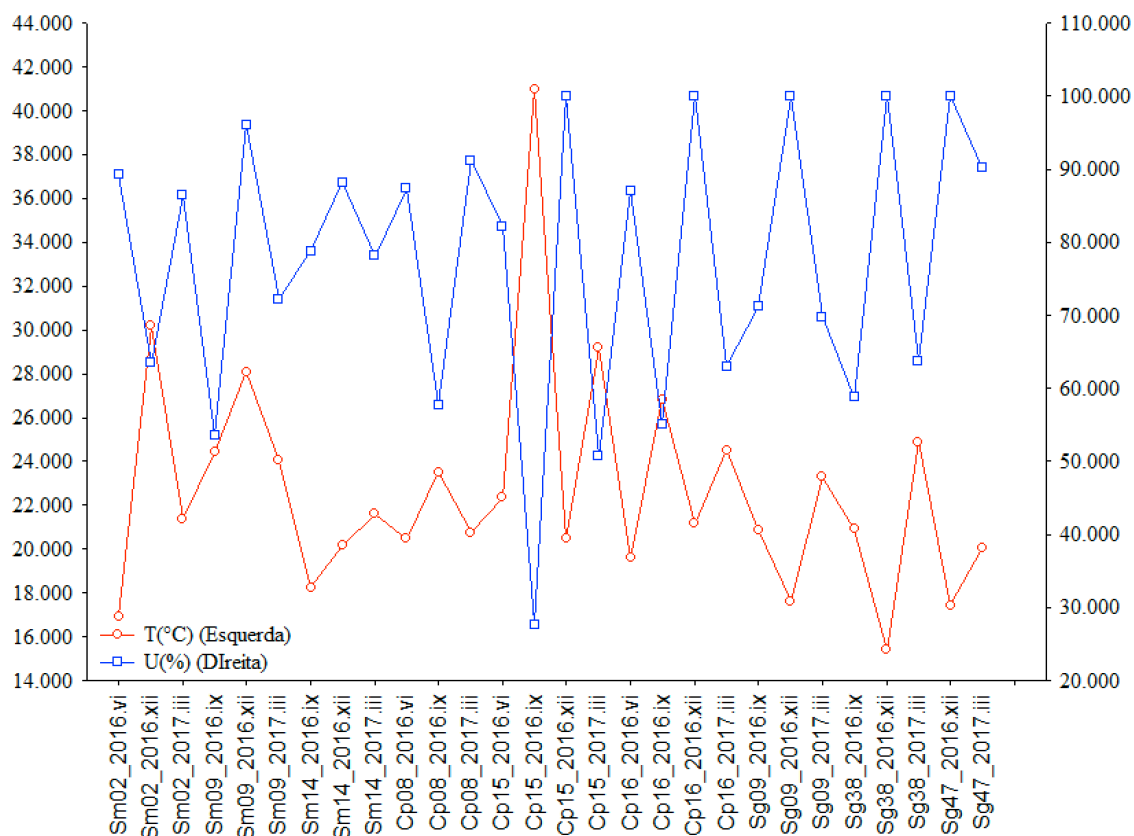


Foi observada diferença significativa na riqueza entre os ambientes externos a cada caverna que compõem Serrinha, Capitão do Mato e Apolo ($F = 4.04$, $p = 0.006$), mas essa diferença é perdida quando as áreas amostrais são agrupadas em regiões, Serra da Moeda e do Gandarela, por exemplo. Entretanto, é a partir desse agrupamento que se pode observar diferença significativa na abundância ($F = 3.63$, $p = 0.04$).

A temperatura média registrada foi de 22.4°C ($DP = 4.3^{\circ}\text{C}$) em Serrinha; de 24.6°C ($DP = 6.1^{\circ}\text{C}$) em Capitão do Mato; e 20.4°C ($DP = 3.1^{\circ}\text{C}$) em Apolo. A máxima alcançou 43.9°C em CPMT15 no mês de setembro/2016. A mínima foi de 14.6°C em AP38 no mês de dezembro. Por tratar-se de um ambiente externo, não houve diferença significativa na similaridade da temperatura entre os locais amostrados ($p > 0.05$).

A média dos valores de umidade foi de 77.2% ($DP = 18.7\%$). A mínima foi de 27.6% em setembro/2016 na cavidade CPMT15 e a máxima alcança a saturação de 100% em dezembro/2016 nas cavidades CPMT16 e AP38-47. A análise de similaridade mostra que não existe diferença na variação entre os locais de coleta ($p = 0.79$) (Figura 51).

Figura 51 – Valores médios de temperatura no ambiente epígeo adjacentes às cavernas da Serra da Moeda – Serrinha (S) e Capitão do Mato (C) – e da Serra do Gandarela (G).



A composição não mostrou correlação com as temperaturas registrada (riqueza: $r = 0.12$; abundância: $r = 0.07$; $p < 0.05$), e foi negativa também para a umidade (riqueza: $r = 0.02$, abundância: $r = 0.26$, $p < 0.05$).

A análise de regressão múltipla indicou que nenhuma das variáveis preditoras possuem efeitos sobre a riqueza e abundância de colêmbolos na zona de entrada das cavernas, (riqueza: $R^2 = 0.040$, $R^2_{adj} = -0.036$, $p = 0.58$, Figura 52; abundância: $R^2 = 0.23$, $R^2_{adj} = 0.17$, $p = 0.05$, Figura 53).

Figura 52 – Valores preditivos vs residuais da regressão múltipla entre a riqueza de espécies de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.072$, $R^2_{adj} = 0.008$, $p = 0.33$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.

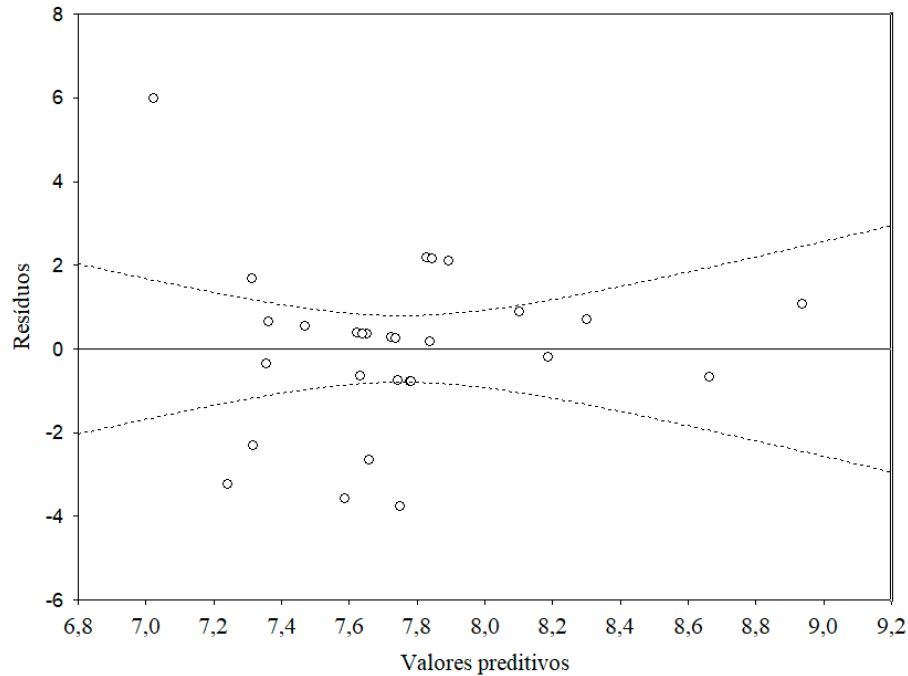
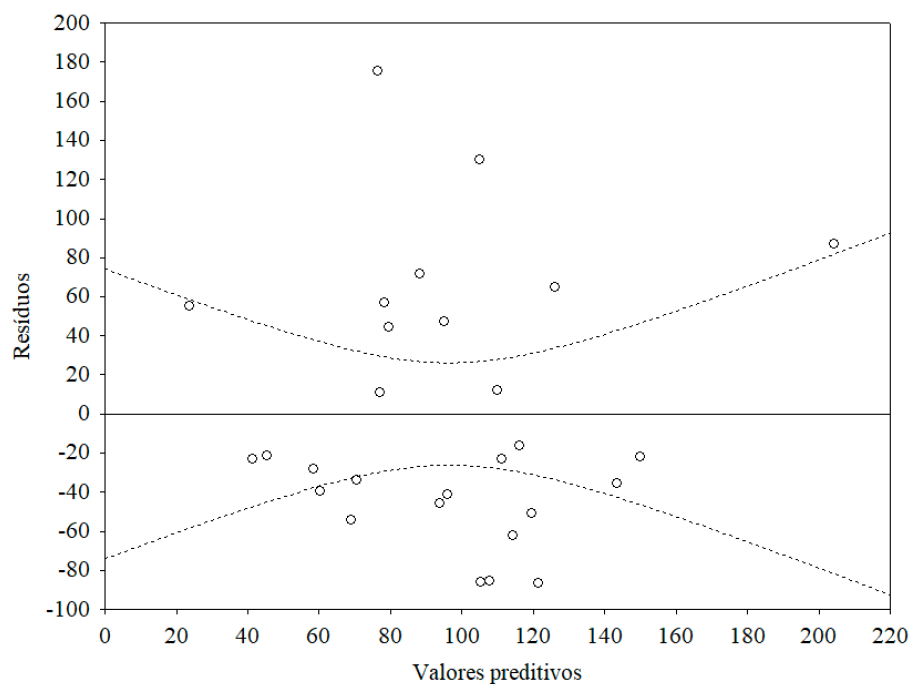


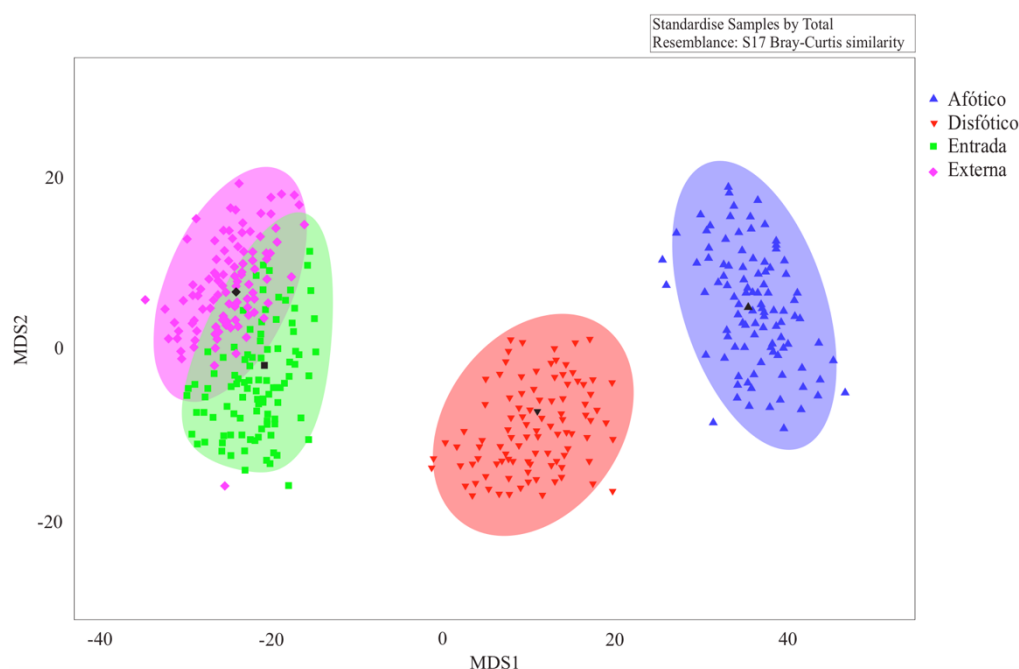
Figura 53 – Regressão Linear Simples entre a abundancia de Collembola com a temperatura e umidade ($R^2 = 0.005$, $R^2_{adj} = -0.032$, $p = 0.71$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.



4.3 A CAVERNA VS O AMBIENTE EXTERNO

Foram coletados no total 6.610 indivíduos, pertencentes a 43 espécies, 29 gêneros e 12 famílias de colêmbolos (APÊNDICES A–C). A riqueza e abundância entre as áreas nos períodos de seca e chuva é apresentada na tabela 9 (ver também APENDICE B). Confrontadas as informações da composição entre os ambientes hipógeo e epígeo (Tabelas 10), a análise de similaridade aponta diferença significativa entre eles ($p = 0.001$), exceto na relação do ambiente epígeo e a zona de entrada ($p = 0.73$) (Figura 54). A análise de variância mostra que a riqueza está distribuída de forma homogênea e por consequência não apresenta diferença significativa ($F = 1.12$, $p = 0.34$), enquanto que a abundância, temperatura e umidade alteram entre os ambientes, em nível de evidenciá-las (abundância: $F = 11.52$, $p = 0.0001$, temperatura: $F = 5.07$, $p = 0.0024$, umidade: $F = 35.27$, $p = 0.0001$). Apesar da zona de entrada e o meio externo comungarem de muitas espécies, o teste-t de variância indica que o ambiente epígeo é distinto do ambiente hipógeo.

Figura 54 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos entre os ambientes hipógeo (afótico, disfótico e entrada) e epígeo (externa) adjacente à caverna, nas regiões da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e da Serra do Gandarela (AP).



Na regressão múltipla linear, quando os dados foram completamente generalizados, excluindo as diferenças de habitat hipógeo e epígeo, foi verificada a existência de uma relação funcional entre a abundância e temperatura ($R^2 = 0.039$; $R^2_{adj} = 0.023$, $p = 0.046$), e entre riqueza e umidade ($R^2 = 0.11$; $R^2_{adj} = 0.099$, $p = 0.0006$) (Figuras 55 e 56).

Tabela 9 – Riqueza (S) e abundância (n) de colêmbolos de acordo com a estratificação de coleta.

Ambiente	Período de coleta	n	S	Hipógeo	Período de coleta	n	S
	vi – ix.2016	1.967	41	Afótica	vi – ix.2016	743	22
	xii.2016 – iii.2017	4.643	25		xii.2016 – iii.2017	678	11
	Total	6.610	43		Total	1.421	23
Epígeo	vi – ix.2016	406	25	Disfótica	vi – ix.2016	407	25
	xii.2016 – iii.2017	2.282	22		xii.2016 – iii.2017	544	16
	Total	2.688	32		Total	951	28
Hipógeo	vi – ix.2016	1.561	34	Entrada	vi – ix.2016	411	22
	xii.2016 – iii.2017	2.361	23		xii.2016 – iii.2017	1.139	22
	Total	3.922	38		Total	1.550	28

Tabela 10 – Análises de similaridade da composição de colêmbolos, entre as zonas cavernícolas e o ambiente externo, e variância do ambiente epígeo e hipógeo.

Zonas	Teste de Similaridade – ANOSIM	
	R-statistic	p-valor
Afótico – Disfótico	0.138	0.001
Afótico – Entrada	0.560	0.001
Afótico – Externa	0.612	0.001
Disfótico – Entrada	0.199	0.001
Disfótico – Externa	0.249	0.001
Entrada – Externa	0.016	0.739

Ambiente	Teste - t		
	S	n	T
Hipógeo x Epígeo	0.000001	0.000000	0.001682

Nota: S = riqueza, n = abundância, T = temperatura.

Figura 55 – Relação entre o perfil térmico e a abundância de colêmbolos no gradiente espacial que se estende da zona afótica ao meio externo à caverna.

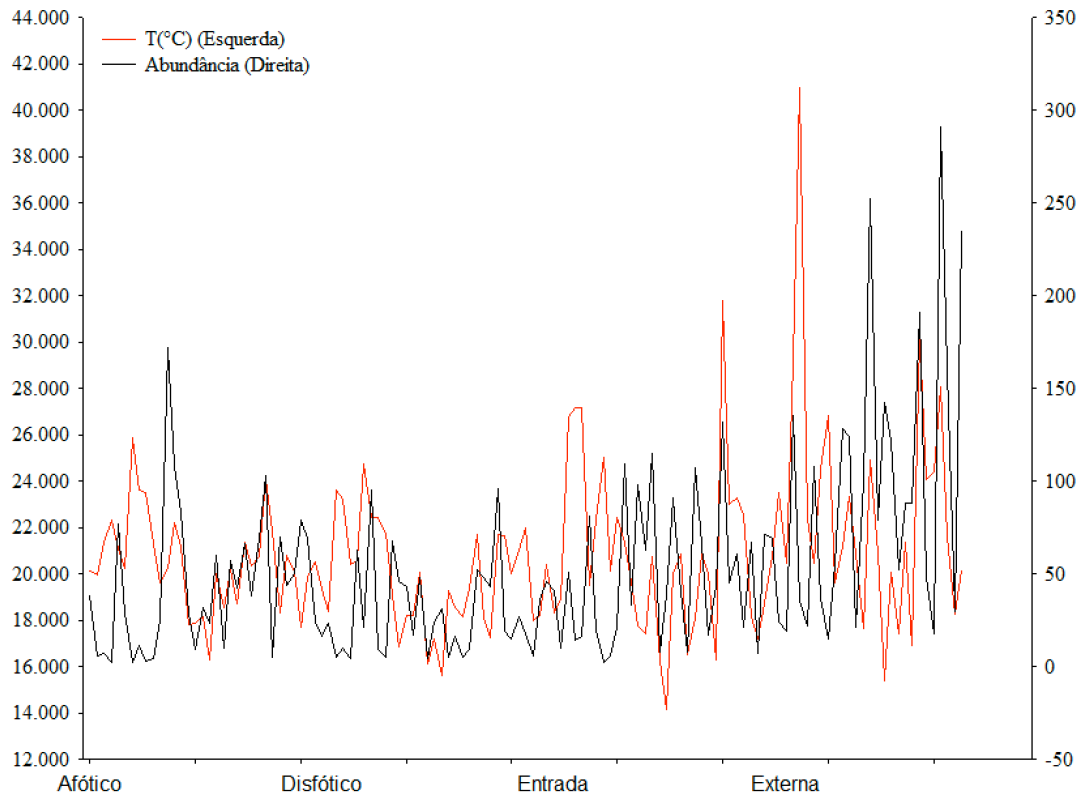
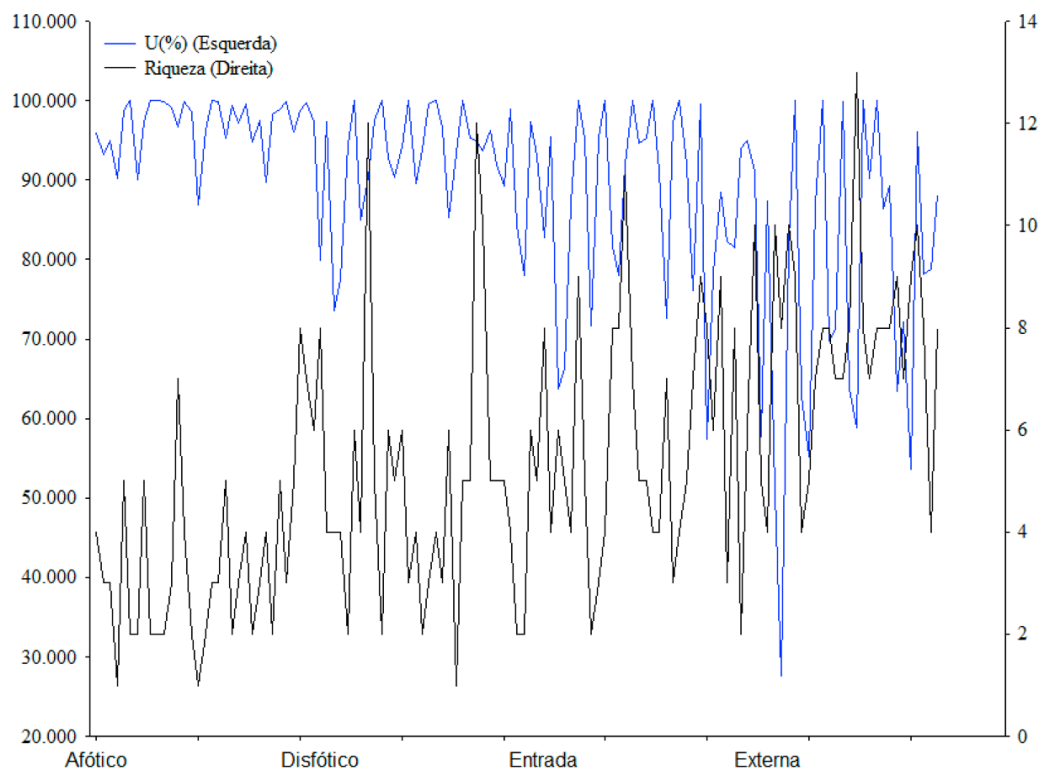


Figura 56 – Relação entre a umidade e a riqueza de colêmbolos no gradiente espacial que se estende da zona afótica ao meio externo à caverna.



4.4 O HABITAT SUBTERRÂNEO SUPERFICIAL

Foram coletados, aproximadamente, 68.430 indivíduos no habitat superficial subterrâneo, pertencentes a 22 espécies, 15 gêneros e 9 famílias de colêmbolos (Tabela 11). A canga representou 38% enquanto que o itabirito 62% da abundância total. As espécies que apresentaram maior abundância foram *Folsomia* sp3 e *Desoria* sp1 de forma inversa em cada profundidade (13.3% e 7.3% na canga, 15.8% e 19.6% no itabirito, respectivamente). *Entomobrya* sp3 e *Allonychiurus* sp1 foram exclusivas dos perfis superficiais entre 4 e 9 metros. A única espécie exclusiva do itabirito, encontrada a 21 metros de profundidade foi *Isotomodes* spp. com uma população estruturada ($n = 1920$). Outras espécies encontradas na maior profundidade coletada, 41.9 metros foram: *Brachystomella* sp1, *B. grootaerti*, *Folsomia* sp3, *Pseudosinella* sp1, *P.* sp4 e *P.* sp8.

A espécie que apresentou maior frequência entre as profundidades foi *Cyphoderus agnotus*, ocorrendo desde os 3 aos 25.4 metros de profundidade, apenas. A suficiência amostral das coletas realizadas no HSS foi de 92% (Figuras 57 e 58). A composição de colêmbolos em cada perfil é apresentada nas figuras 59 e 60. Os perfis térmicos dos furos de sondagem, de acordo com as áreas de coleta, são apresentados nas figuras 61–63.

A estratificação dos furos de acordo com a profundidade, em canga e itabirito, não apresentou diferença significativa na similaridade da taxocenose ($p = 0.47$) (Figura 64), o mesmo ocorreu no intervalo entre cada armadilha dos furos de sondagem ($p = 0.07$). A distribuição das espécies no HSS ao longo das três áreas amostradas não apresentou diferença ($p = 0.45$) (Figura 65). Quando foram associadas as variáveis profundidade e áreas de coleta em um único teste, não foi observada diferença na estrutura da taxocenose ($p = 0.69$). Na comparação entre os meses de amostragem, a variação temporal mostrou efeito significativo na dissimilaridade das espécies ($p = 0.001$), a riqueza foi o principal componente modificado ($F = 10.89$, $p < 0.001$).

A riqueza e abundância mostraram uma alta correlação ($r = 0.79$, $p < 0.05$), o que não foi observada para as variáveis temperatura e umidade. Da análise de variância dos dados bióticos em relação aos perfis canga e itabirito, a abundância mostrou diferença significativa ($t\text{-value} = -2.71$, $p = 0.01$) (riqueza: $t\text{-value} = 0.34$, $p = 0.73$), e entre SERR, CPMT e AP foi também a abundância que se mostrou distinta ($F_n = 3.49$, $p = 0.046$) ($F_s = 0.47$, $p = 0.626$). Dos fatores abióticos apenas a umidade mostrou ser significativamente diferente entre os perfis ($t\text{-value} = -4.34$, $p = 0.0002$) (temperatura: $t\text{-value} = 0.723$, $p = 0.47$).

Figura 57 – Curva de acumulação de espécies de Collembola no HSS. A linha central representa a riqueza observada, a faixa cinza os limites da riqueza estimada por permutações.

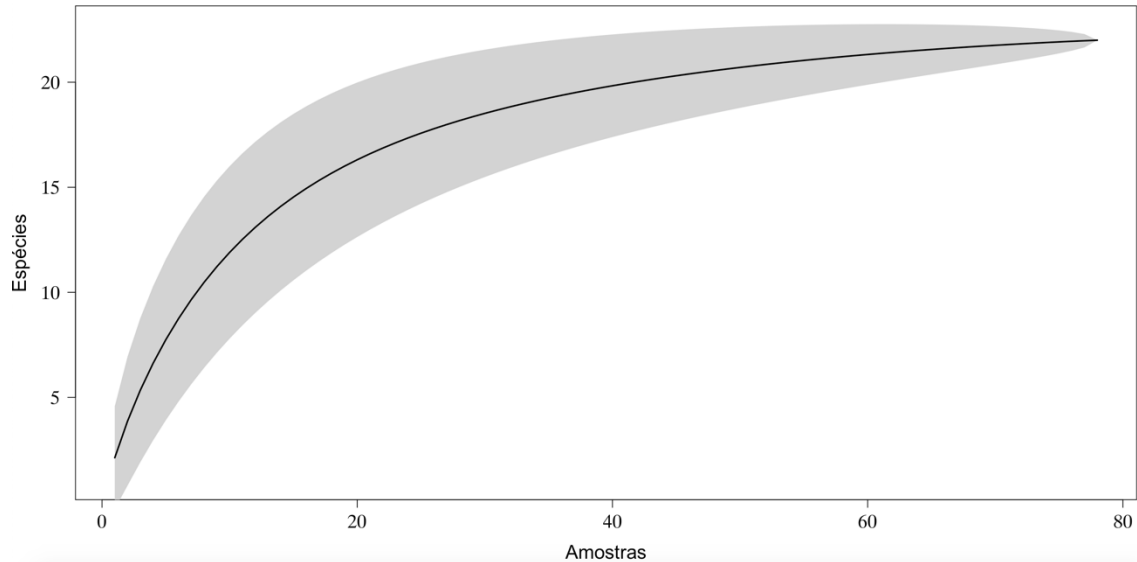


Figura 58 – Riqueza observada e estimada das espécies de Collembola no HSS a partir de estimadores de diversidade.

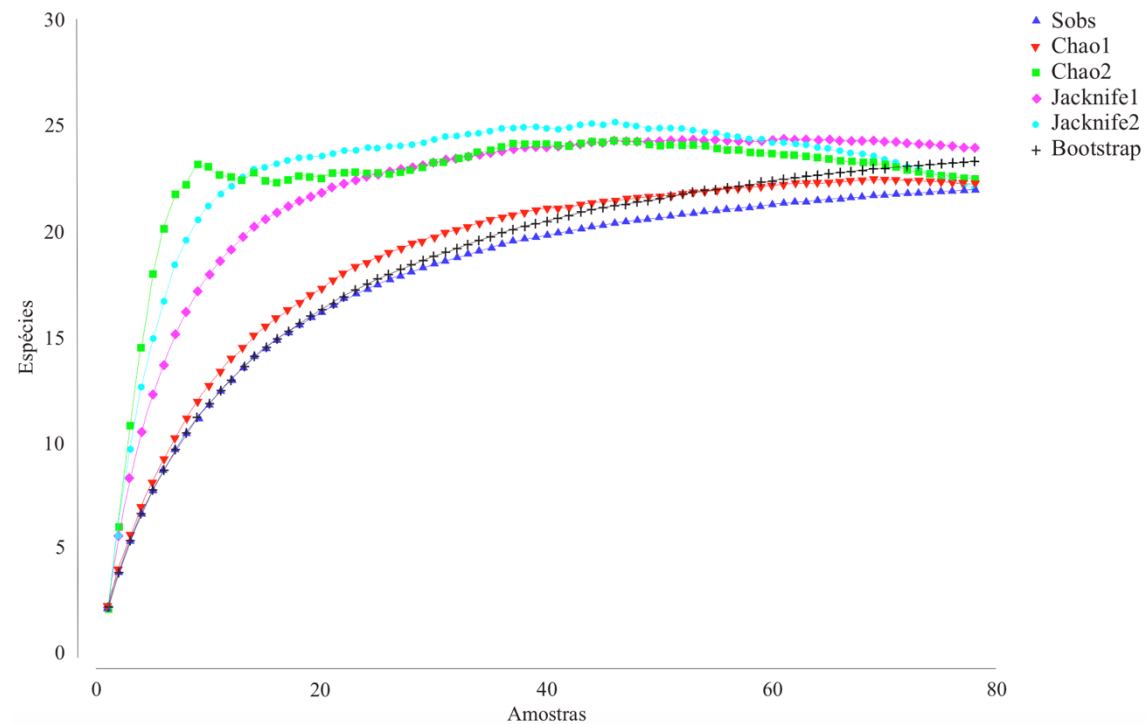


Figura 59 – Composição das espécies de colêmbolos no HSS, perfil canga (3 a 10 metros).

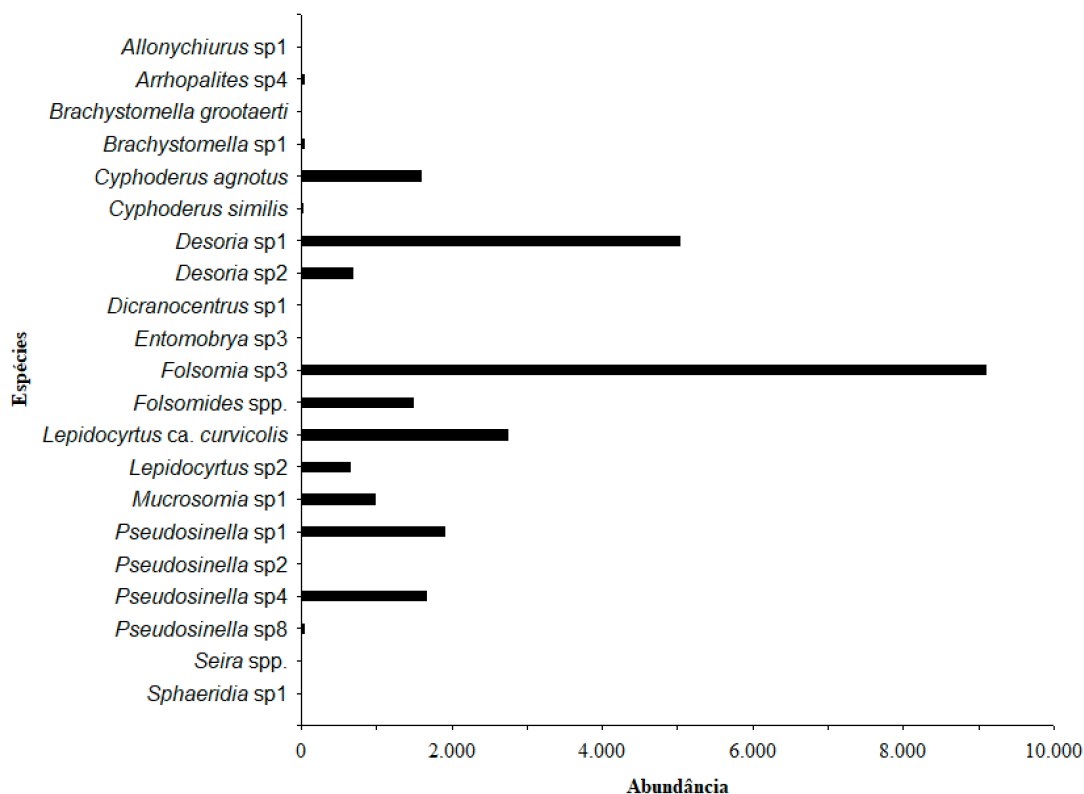


Figura 60 – Composição das espécies de colêmbolos no HSS, perfil Itabirito (14 a 41 metros).

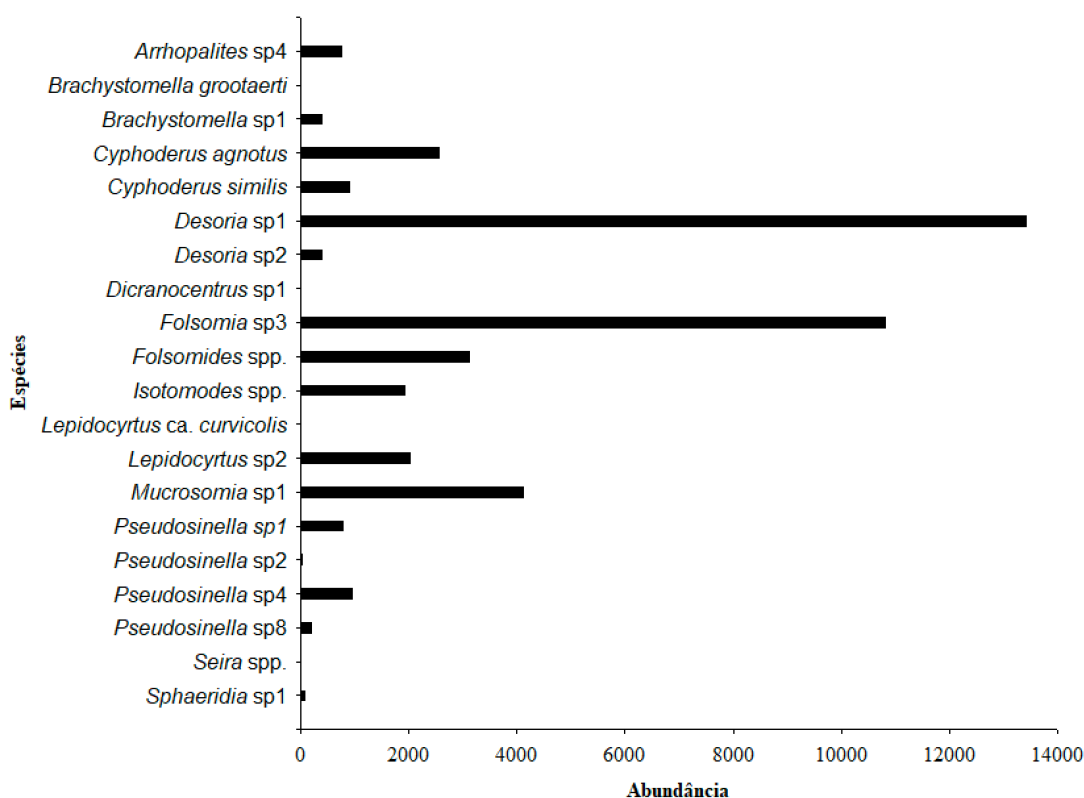


Tabela 11 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola no Habitat Subterrâneo Superficial – MSS de setembro/2016 a junho/2018.

Localidade	SERR				CPMT				AP												Frequência / Mês			
HSS	F1306	F1906	2906	F0411	F0904				F5405				F002				F003			F190				
Profundidade (metros)	3	4.1	3	4	5	10	15	20	3.7	9	15	3	4.5	9.3	25.4	41.9	4	9	14	3.5		10	15	21
Allonychiurus sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Arrhopalites sp4	0	0	0	0	0	16	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	3	20	749	0	0	6	1	2 3 5 6
Brachystomella grootaerti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
Brachystomella sp1	3	0	5	17	0	0	0	0	5	0	1	0	0	1	35	2	8	4	0	0	0	0	346	1 2 3 4 5 6
Cyphoderus agnotus	6	0	311	57	2	406	549	173	0	0	0	1	4	3	274	0	1	1	9	656	137	645	901	1 2 3 4 6
Cyphoderus similis	1	0	0	0	2	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	655	2 6
Desoria sp1	0	0	0	0	0	1845	0	3912	0	2539	2925	0	0	643	3	0	0	0	0	0	0	3936	2637	2 3 6
Desoria sp2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	4	0	0	0	5	0	0	4	650	15	384	2
Dicranocentrus sp1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1 2 3
Entomobrya sp3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2 3 4
Folsomia sp3	0	0	7	5	0	0	0	0	452	2604	0	0	34	5987	5271	5542	0	0	0	0	0	0	0	3 5 6
Folsomides spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1490	3123	0	2
Isotomodes spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1920	2
Lepidocyrtus ca. curvicolis	2236	0	1	2	0	0	0	4	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	498	0	0	0	4 6
Lepidocyrtus sp2	0	0	0	0	649	0	1026	989	0	0	0	0	0	4	0	15	0	0	1	0	0	1	0	2 3
Mucrosomia sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	980	0	203	3918	1 2
Pseudosinella sp1	1279	0	0	0	572	0	727	0	0	0	0	0	3	3	0	60	0	2	0	33	0	0	0	1 5 6
Pseudosinella sp2	0	0	0	0	6	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Pseudosinella sp4	0	1	9	0	1152	56	280	30	0	0	0	0	3	0	549	47	0	0	3	434	0	0	45	2 4
Pseudosinella sp8	0	0	0	0	8	0	0	129	0	0	0	0	35	0	0	10	0	0	0	0	0	54	0	3
Seira spp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4 6
Sphaeridia sp1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	78	1	1 2 5

Continua...

Localidade	SERR		CPMT								AP												Frequência / Mês					
HSS	F1306	F1906	2906	F0411				F0904				F5405				F002				F003				F190				
Profundidade (metros)	3	4.1	3	4	5	10	15	20	3.7	9	15	3	4.5	9.3	25.4	41.9	4	9	14	3.5	10	15		21				
Abundância/Mês																								Total				
1 - ix.2016	0	0	1	45	0	0	0	0	4	0	0	0	1	6	0	6	0	4	0	518	0	81	3703	4369				
2 - xii.2016	0	0	21	0	1808	387	917	970	0	2560	2926	1	4	49	0	0	5	0	738	719	2277	3978	4293	21653				
3 - iii.2017	0	0	8	17	10	0	124	207	450	2604	0	0	36	5991	5300	3827	15	25	2	0	0	87	0	18703				
4 - viii.2017	6	1	302	2	0	94	820	39	1	0	0	0	7	0	823	47	0	0	12	871	0	211	110	3346				
5 - xii.2017	0	0	0	0	220	0	0	0	3	0	0	0	2	1	9	1797	0	0	11	0	0	0	0	2043				
6 - vi.2018	3520	0	2	17	354	1863	736	4031	0	0	1	0	35	603	0	0	0	0	0	498	0	3954	2702	18316				

Figura 61 – Perfil da temperatura nas profundidades dos furos de sondagens da área de Serrinha, Serra da Moeda. A: perfil a 3 metros; B: perfil a 9 metros.

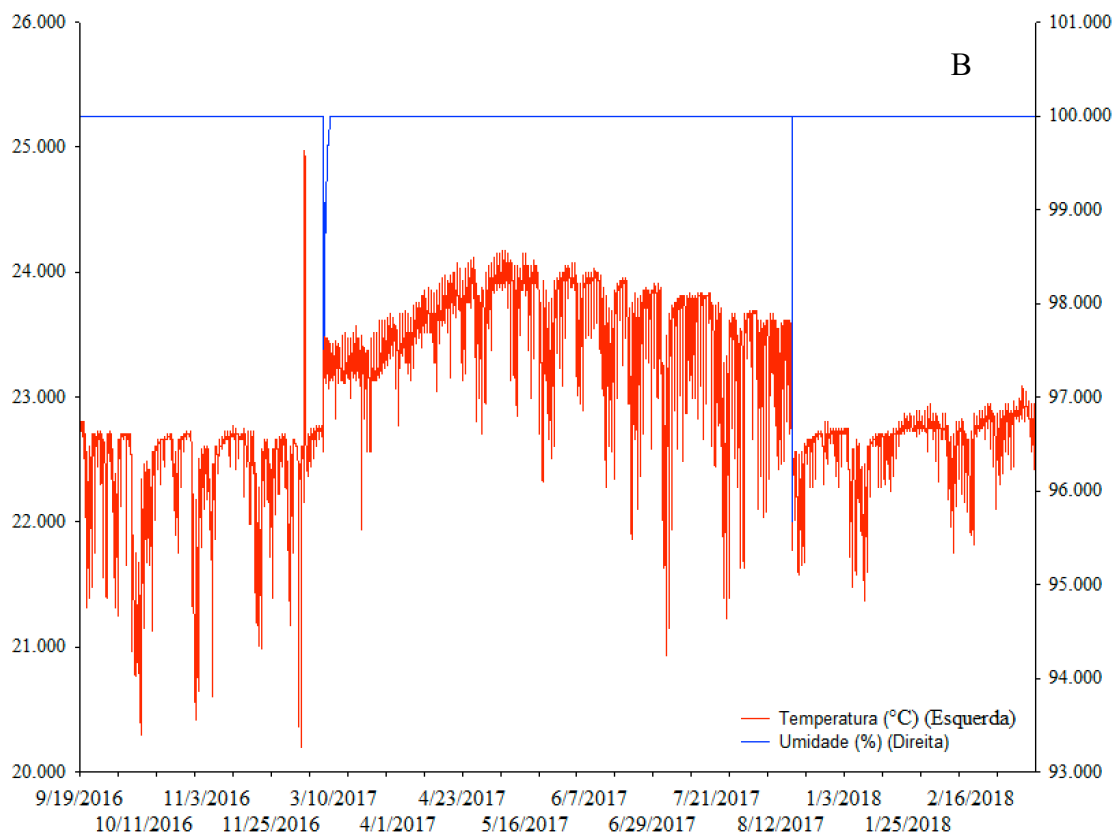
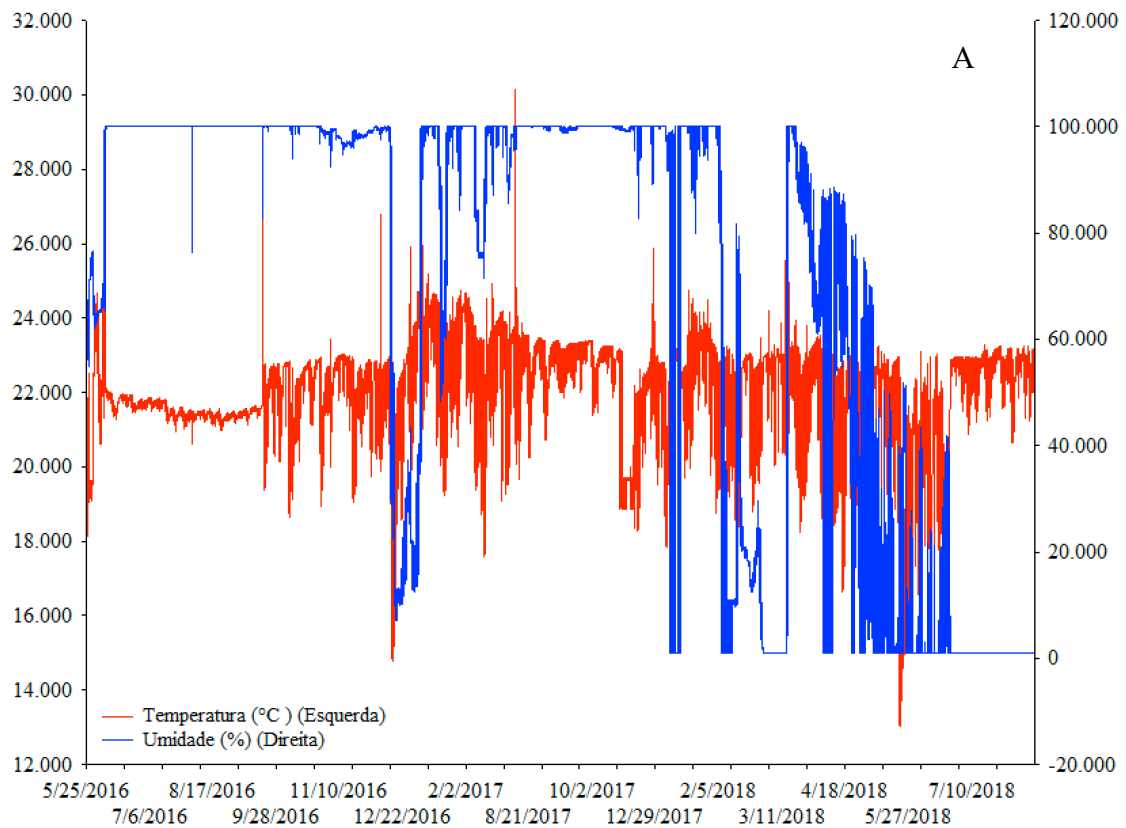


Figura 62 – Perfil da temperatura nas profundidades dos furos de sondagens da área de Capitão do Mato, Serra da Moeda. A: perfil a 3.7 metros; B: perfil a 15 metros.

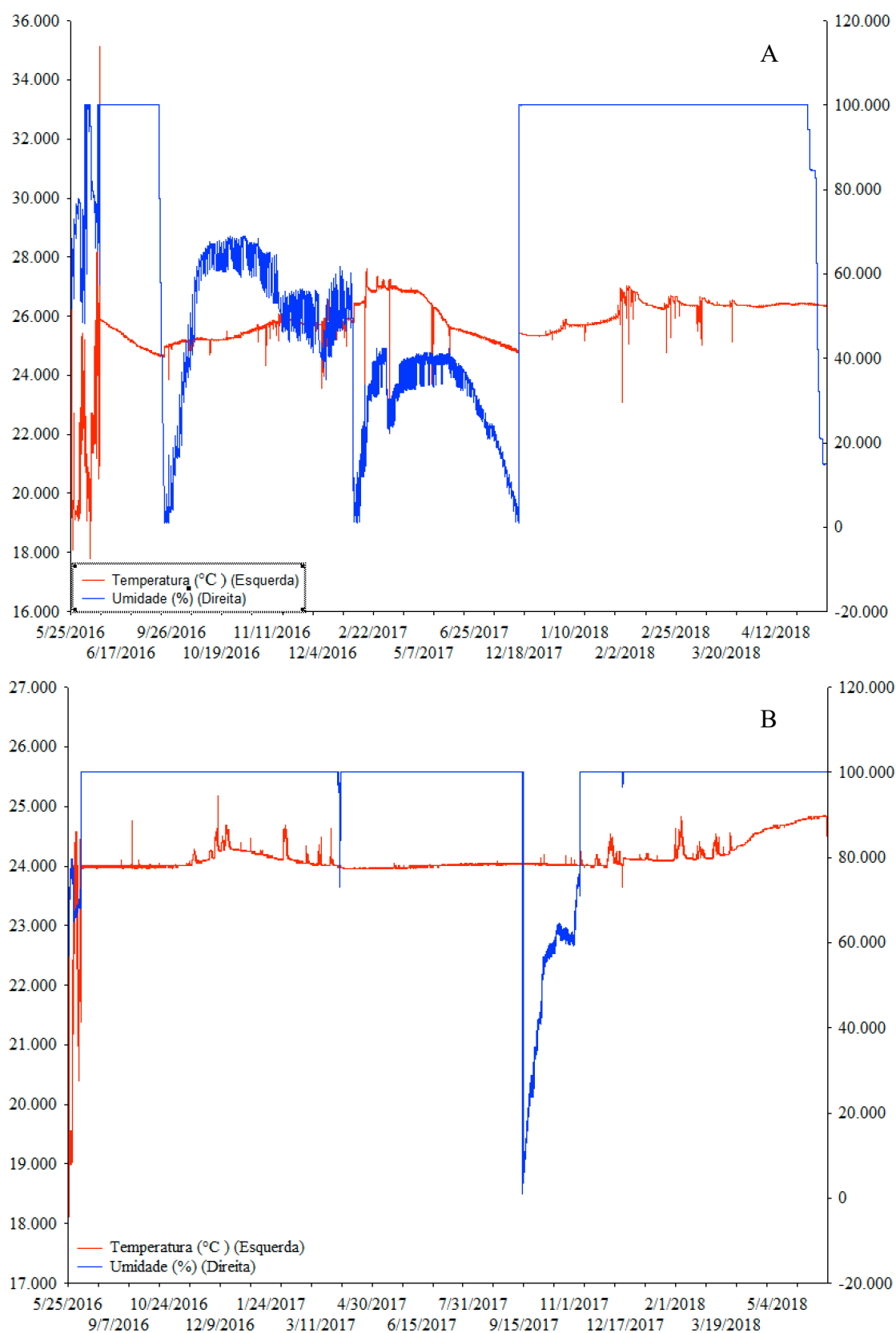


Figura 63 – Perfil da temperatura nas profundidades dos furos de sondagens da área de Apolo, Serra do Gandarela. A: perfil a 4.5 metros; B: perfil a 41.9 metros.

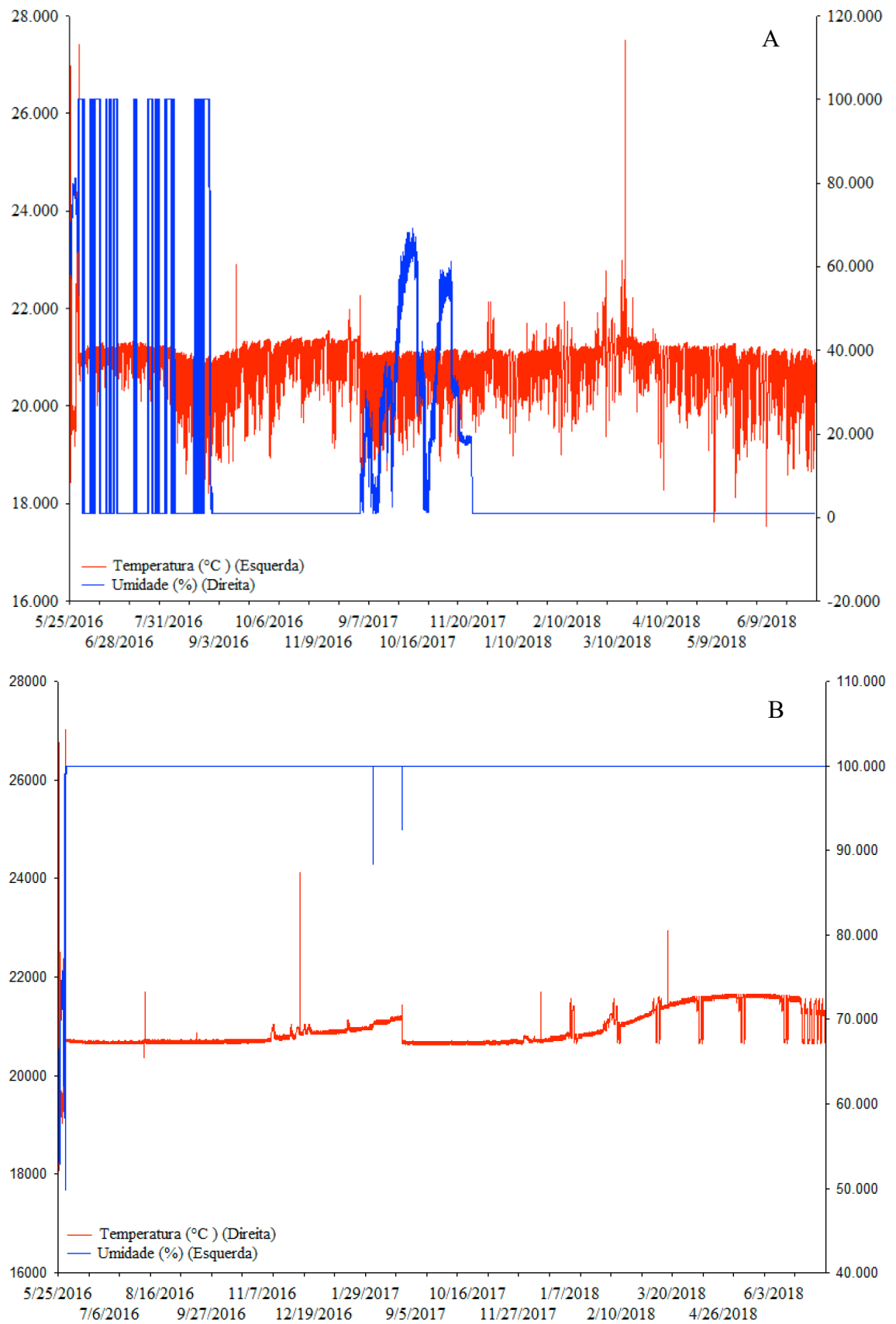


Figura 64 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no HSS de acordo com a estratificação da profundidade em Canga (3 a 10 metros) e Itabirito (14 a 41 metros).

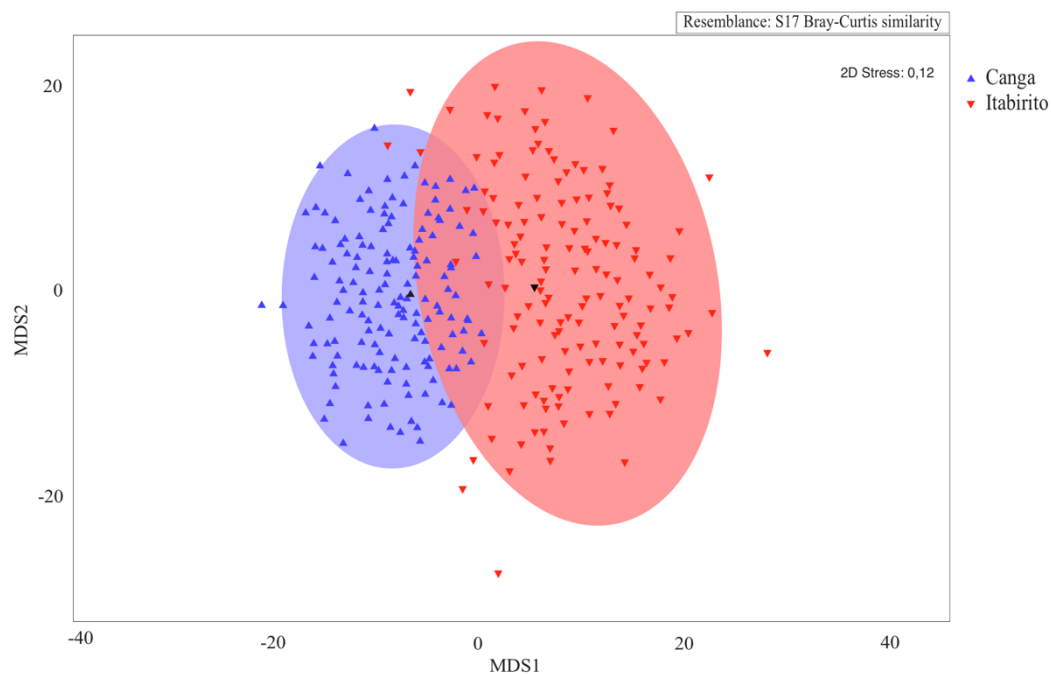
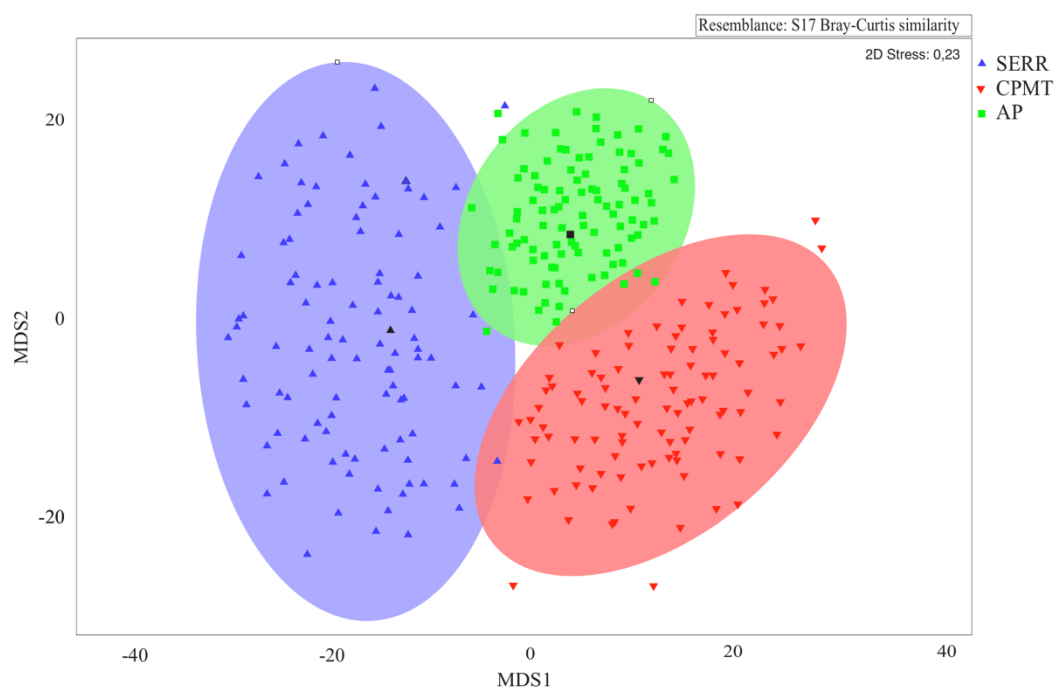


Figura 65 – Resultado da análise de Bootstrap para a composição de colêmbolos no HSS de acordo com as áreas da Serra da Moeda – Serrinha (SERR) e Capitão do Mato (CPMT) – e da Serra do Gandarela (AP).

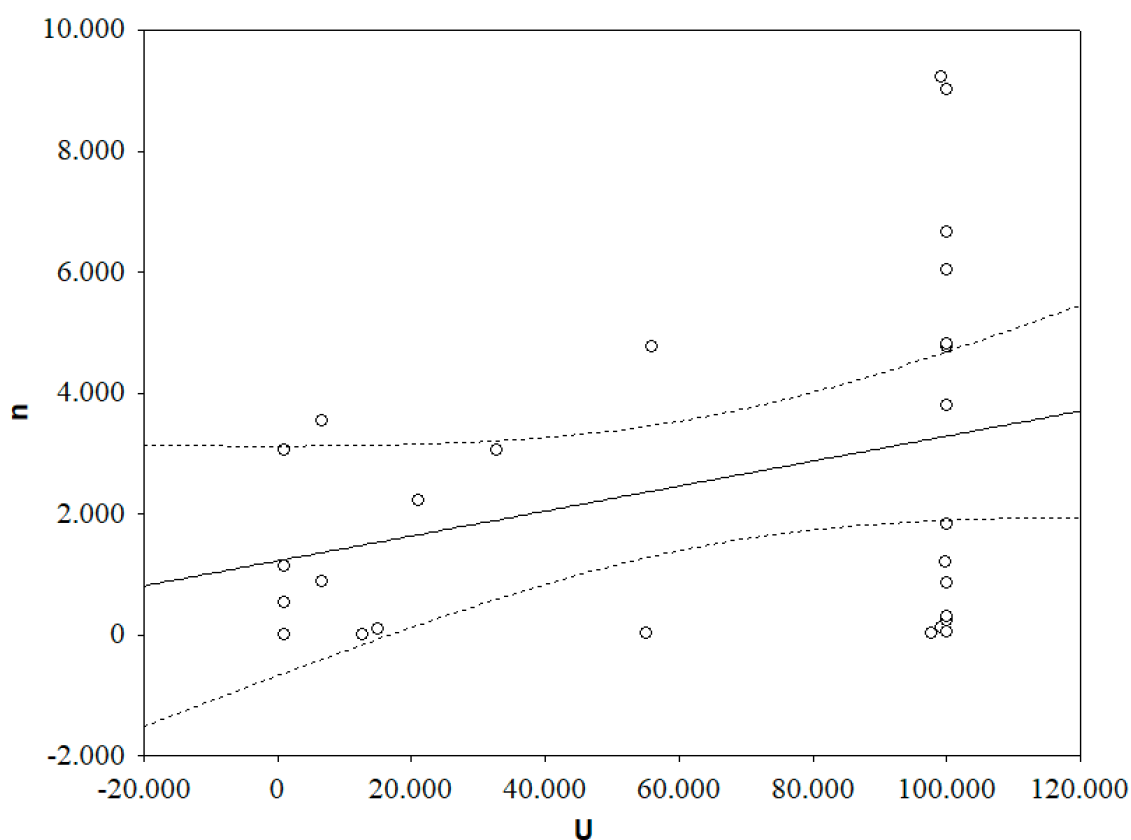


As armadilhas das serras da Moeda e do Gandarela alcançavam estratificações diferentes nos furos de sondagem, e isso refletiu na análise de variância dos dados abióticos, ou seja, temperatura e umidade apresentaram diferenças significativas entre as Serras (temperatura: $F = 5.27$, $p = 0.012$; umidade: $F = 3.72$, $p = 0.039$).

A análise de regressão múltipla, entre a composição de espécies e as variáveis ambientais de temperatura e umidade, indicou que apenas a umidade possuiu efeito significativo na estruturação da taxocenose no HSS ($R^2 = 0.24$, $R^2_{\text{adj}} = 0.18$, $p = 0.033$) (Figura 66).

As variáveis bióticas e abióticas das zonas afóticas cavernícolas e os registros, de maior profundidade, do HSS foram testadas utilizando o teste-t de amostras independentes e foi observado diferença significativa entre os ambientes ($p > 00001$).

Figura 66 – Regressão Múltipla linear entre a abundancia de espécies de Collembola com a umidade e a temperatura (umidade: $R^2 = 0.24$, $R^2_{\text{adj}} = 0.18$, $p = 0.033$). A linha pontilhada representa o intervalo de confiança a 95%.



5 DISCUSSÃO

Das espécies exclusivas à zona afótica, as que compõem o gênero *Arrhopalites* são encontradas em cavernas com visíveis adaptações, a exemplo da redução de olhos, pigmentos e oligoquetose (número reduzido de cerdas no corpo) (ZEPPELINI, 2011), podendo ser troglófilo ou troglóbio (VARGOVITSH, 2009), a depender da sua relação com o ambiente hipógeo. A única espécie deste gênero registrada foi *Arrhopalites caecus* com ocorrência na cavidade AP09, no período seco (jun/2016). A espécie é caracterizada pela presença de olhos reduzidos a um par (1+1), coloração branca, e comprimento do corpo entre 0.8 - 1.0 mm (ZEPPELINI, 2006). Ela é amplamente distribuída nos países europeus (BELLINGER *et al.* 1996-2019) e seu primeiro registro no Brasil foi para o Estado de Minas Gerais, publicado por Brito e colaboradores (2017), baseado em identificações realizadas com material coletado em 2010 e 2012, por empresas de consultoria que realizam monitoramento ambiental na Serra do Gandarela.

Além do ambiente cavernícola, esta espécie também foi registrada no HSS (canga) na cidade de Itabirito/MG, a cerca de 22 km de distância, em linha reta, da Serra do Gandarela, de acordo com a base de dados da Coleção de Referência de Fauna de Solo, da Universidade Estadual da Paraíba (CRFS/UEPB). Aceita-se, portanto, a hipótese de que *A. caecus* possui potencial de distribuição para além das áreas em que foi registrada. Sua ocorrência permanece exclusivamente para o meio hipógeo e o isolamento geográfico entre os continentes em que a espécie ocorre promoverá, ao longo do tempo, maior diversificação morfológica (ORTIZ *et al.*, 2014).

A espécie *Pseudosinella* sp4 foi registrada para a cavidade AP09. Tal característica é comparável a outras 100 espécies do gênero, no qual são conhecidos apenas para um único sistema cavernícola (HOPKIN, 1997; KATZ *et al.*, 2018). Ela é extremamente troglomórfica, com garras adaptadas para ambientes úmidos. Além disso, houve registro no HSS em profundidade de até 25 metros, ocorrendo da Serra da Moeda ao Gandarela.

A última espécie exclusiva do ambiente afótico, *Cyphoderus* sp9 foi registrada na cavidade AP09 com um único indivíduo, diferentes de outras espécies pertencentes ao mesmo gênero (*C. agnotus* e *C. similis*). A presença de espécies singulares como esta, faz aumentar a diversidade filogenética da caverna, e, consequentemente, sua relevância e importância ecológico-evolutiva, além de contribuir para a biodiversidade regional (TRAJANO *et al.*, 2016).

Quando se analisa o ambiente hipógeo por completo, ou seja, todas as três zonas de coleta, a riqueza manteve-se concentrada nas espécies do gênero *Pseudosinella*, com predominância da *Pseudosinella* sp1. Este resultado não corrobora o que foi apontado por Jantarit e colaboradores (2014), que indicou *Cyphoderus* como a principal população em cavernas (Tailândia), estabelecendo uma associação entre suas características ecomorfológicas aos habitats afóticos.

A riqueza distribuída de forma homogênea entre o meio hipógeo e epígeo não corresponde ao que a literatura define como um ambiente cavernícola capaz de estabelecer populações distintas (WHITE & CULVER, 2012). Ou seja, ambientes naturais que têm uma zona afótica distinguível do meio epígeo, possuindo temperatura constante, ou com amplitude circunual desprezível quando comparada com as demais zonas, e umidade que alcança e se mantém próximo ao ponto de saturação (~100%). É possível verificar essas dissonâncias que existem nas cavernas de minério de ferro do QF a partir da figura 44, em que é apresentado o Diagrama de Venn.

São 27 espécies compartilhadas entre o meio hipógeo e epígeo, e 17 ocorrem desde a zona afótica até a externa. A similaridade das espécies que compõem a zona de entrada e o meio externo não apresentou diferença significativa, que corroborasse com os resultados encontrados por Prous e colaboradores (2015), que identificou na zona de entrada uma região de ecótono entre o meio epígeo e hipógeo. Por outro lado, o resultado indica, seguramente, que apenas os fatores bióticos existentes no QF não definem as unidades subterrâneas como cavernas que conduzem ao isolamento de espécies e formação de troglóbios.

Para compreender a dinâmica dentro das cavernas do QF (e se este ecossistema subterrâneo é ou não capaz de promover processos evolutivos, fundamentados na seleção natural, para formação de espécies troglóbias, endêmicas, dependentes e isoladas nas zonas mais profundas, através de processos de vicariância ou de especiação) faz-se necessário abordar os fatores abióticos aqui estudados.

Logo, o primeiro ponto está no tipo de litologia no qual as cavernas do QF são formadas. O ferro possui alta condutibilidade de energia (calor) (52 W/mK), muito superior as cavernas de rocha calcária (2.5 W/mK), arenito (1.6 W/mK) ou granito (3.5 W/mK). As diferenças podem ser observadas até mesmo na gênese do ambiente subterrâneo: enquanto que estas últimas sofrem a dissolução pela água ácida da chuva, que pode percolar até grandes profundidades, na rocha de minério de ferro ocorre por processo de intemperismo e/ou dilatação (processo físico), o resultado é que as cavernas em minério de ferro são formadas entre a canga

e o itabirito, com poucos metros de distância da superfície, recebendo influência das variáveis externas – temperatura, umidade e precipitação.

O segundo é observar os resultados das análises estatísticas. Percebe-se que na zona afótica a composição da fauna de Collembola é distinta entre os períodos de seca e chuva, mesmo não havendo diferença na temperatura e na umidade. Logo, a influência externa mostrou-se elevada na dinâmica populacional. É importante considerar os valores máximos e mínimos das variáveis abióticas, pois existe uma amplitude de 10°C na temperatura e 13 pontos na umidade.

Na zona disfótica os resultados foram opostos. Enquanto que a composição possui similaridade entre seca e chuva, a temperatura e umidade são dissimilares. A amplitude térmica na zona disfótica foi equivalente à registrada na afótica. Na umidade a amplitude foi maior, alcançou mais de 25 pontos. Na zona de entrada, a composição nos períodos de seca e chuva não mostraram diferença, o mesmo resultado foi verificado com a umidade, e o inverso com as temperaturas entre as estações. A amplitude na temperatura foi de 17 pontos e na umidade de 42 pontos.

Assim, o meio hipógeo e epígeo possuem a riqueza distribuída de forma similares, e, portanto, não há diferença nas espécies registradas dentro e fora da caverna, o contrário só é observado na abundância (por reflexo da oligotrofia). Este resultado mostra que as cavernas do QF podem não seguir a base clássica do estudo biológico cavernícola e grande parte da literatura até hoje publicada e estabelecida por Schiner-Racovitza (1907) Juberthie (2000), Culver & Pipan (2009), Nitzu *et al.* (2010), Ortuño *et al.* (2013), Bichuette, Fonseca-Ferreira & Gallão (2015) e Trajano & Bessi (2017).

Os resultados compatíveis com a literatura foram encontrados nos furos de sondagem. Enquanto que nas cavernas as variáveis bióticas não foram influenciadas pelas variáveis abióticas, no HSS, abaixo de 15 metros de profundidade, a umidade mostrou-se estruturante para taxocenose de colêmbolos, com perfil térmico estável, diferente das temperaturas das zonas afóticas em caverna.

Quando observa-se todo o cenário, apresentado pelos gráficos de perfil térmico e da umidade (Figuras 61-63), incorporado os resultados estatísticos, corrobora-se com as proposições de Juberthie que em 1907 já afirmava a importância do que se chamou de MSS, atualmente expandido para HSS por Culver & Pipan (2009), como o local cuja pressão seletiva atua para formar indivíduos troglóbios. Isto mostra que as cavernas rasas e pequenas em minério de ferro são os limites da distribuição de populações já estabelecidas no MSS.

Assim, este resultado traz para a pesquisa espeleológica em cavernas de minério de ferro questionamentos sobre os critérios de conservação e o que realmente é preciso proteger. A legislação brasileira possui toda a norma baseada na janela que temos do HSS, deixando de lado e liberando para exploração o centro de formação de biodiversidade. Zeppelini, Brito & Lima (2018) abordaram este assunto com base na distribuição disjunta de espécies troglomórficas, onde a ocorrência disjunta em mais de uma caverna, permanecendo restrito ao ambiente afótico, seria por meio do HSS. Para Nitzu e colaboradores (2014) os planos de conservação de invertebrados devem incluir a proteção do HSS.

O HSS e as cavernas compartilharam 16 espécies, com a necessidade de se destacar duas delas: *Pseudosinella* sp1 e *Pseudosinella* sp4. A primeira é a espécie mais abundante no ambiente cavernícola do QF. Durante o processo de identificação, foi possível perceber que existem variações morfológicas que sugerem a questionar sobre a possibilidade da espécie formar um grupo críptico. Encontrada da zona afótica à zona externa, esta espécie transita também através do HSS, assim como acontece com *C. agnotus*, *C. similis*, *Allonychiurus* sp1, *Mucrosomia* sp1 e *Folsomia* sp3. A *Pseudosinella* sp4 é distribuída por toda a matriz do HSS que foi coletado, com mais de 2.000 indivíduos contra 10 em única caverna.

O HSS apresentou não apenas um meio de comunicação entre as cavernas, como também algumas espécies foram exclusivas a ele: *Brachystomella grootaerti* (a 41 metros), *Folsomides* spp. (a 15 metros), *Pseudosinella* sp2 (a 15 metros) e *Pseudosinella* sp8 (a 20 metros) (*Sphaeridia* sp1, registrada como exclusiva é uma espécie generalista, que, possivelmente, fez migração vertical atraída pela isca da armadilha).

Este foi o primeiro trabalho a ser realizado envolvendo o HSS com profundidades acima dos 10 metros com identificação taxonômica, em nível de espécie, para a Classe Collembola. A profundidade de amostragem para o HSS já foi discutida por Culver & Pipan (2014) que sugeriram um alcance arbitrário de até 10 metros, Juberthie e colaboradores (1980a, b) de 0.4 a 5.0 metros, Gers (1986) de 1 a 4 metros e Nitzu (2000) de 0.6 a 6 metros, Uéno (1987) e Giachino & Vailati (2010) de 0.1 a 0.2 metros. Uma estimativa de extensão para o HSS nunca foi apresentada (MAMMOLA *et al.*, 2016). De acordo com Juberthie e Decu (2006), a profundidade de amostragem está relacionada diretamente com as características geomorfológicas da área.

As baixas profundidades, de coleta no HSS, que foram sugeridas na comunidade internacional são compreensíveis porque existe uma maior possibilidade do colapso estrutural em furos de sondagem com litologia não metálicas, o que impede que a pesquisa ultrapasse o limite intrínseco de cada ambiente. A litologia metalogênica no QF é a segunda maior do

mundo, a frente da Índia e atrás da China. Contudo, ainda que o Brasil possua este campo disponível para pesquisa, poucos dados são coletados.

Outro fator a ser considerado é a relação porosidade do habitat no HSS e as espécies subterrâneas troglóbias descritas na literatura, isto porque o tamanho do habitat é um determinante importante do tamanho do corpo da espécie (PIPAN & CULVER, 2017). Os colêmbolos que já foram descritos para o QF variam entre 0.7 e 1.2 mm (ZEPPELINI *et al.*, 2018; LIMA, STIEVANO & ZEPPELINI, 2019). Esta característica biológica permite que tenham potencial de percorrer a porosidade da rocha, no HSS encontre esconderijo contra predadores e abrigo durante adversidades, como infiltrações, além da capacidade de deslocamento vertical. Esta pode ser uma das possíveis explicações do porque da fauna troglóbia brasileira de colêmbolo em minério de ferro não apresentar características clássicas como o alongamento de apêndices, que pode ser observado em *Coecobrya sirindhornae* Jantarit, Satasook & Deharveng, 2019 descrita para as cavernas Satun na Tailândia – comprimento do corpo acima de 2.6 mm e antena de 8-12x maior que a cabeça.

Quanto a abordagem da classificação ecológico-evolutivo das espécies cavernícolas, apresentadas por Racovitza (1907), Sket (2008) e Trajano (2012), a que se refere ao sistema fonte-sumidouro (Trajano), talvez depare-se com questões envolvendo não o deslocamento acidental da espécie troglóbia para o meio externo (população-sumidouro), mas a possibilidade de serem capturadas nos horizontes superficiais do solo por coletas envolvendo furos de sondagem, não representando, necessariamente, um registro excepcional provocado por fatores randômicos. O mesmo raciocínio pode ser colocado de forma inversa para as espécies troglógenas (população-fonte) capturadas em furos de sondagem.

6 CONCLUSÃO

Nas cavernas do Quadrilátero Ferrífero a riqueza de Collembola no ambiente hipógeo não apresenta diferença com o ambiente epígeo, apenas a abundância difere entre eles. A umidade é a variável que melhor explica a riqueza, e a temperatura a abundância. Além disso, não foi possível verificar nas regiões afóticas das cavernas estabilidade, de temperatura e umidade, suficiente para conduzir a fauna de Collembola ao isolamento, ou seja, não há pressão seletiva clara para formação de colêmbolos troglóbios.

Por outro lado, o hábitat subterrâneo superficial, a partir de 10 metros de profundidade, possui condições de temperatura e, principalmente, de umidade, que foi a variável com efeito significativo na estruturação da taxocenose com maior estabilidade ao longo do ano, e populações bem estabelecidas, que possibilita à espécie a formação de caracteres troglomórficos, adaptações que propiciam a manutenção da vida no ambiente afótico, e a perda de outros, que a mantém restrita e dependente.

Este aspecto, que retira da caverna o foco da conservação e transfere para matriz de minério de ferro, propõem mudanças na forma como hoje trabalhamos para garantir a existência de troglóbios e que eles não entrem em listas de espécies ameaças de extinção.

REFERÊNCIAS

- BARR, T. C. Cave ecology and the evolution of troglobites. *Evolutionary Biology*, v. 2, p. 35-102, 1968.
- BARR, T. C. Refugees of the ice age. *Natural History*, v. 82, p. 26-35, 1973.
- BELLINGER, P. F.; CHRISTIANSEN, K. A. & JANSSENS, F. *Checklist of the Collembola of the World*. 1996-2019, <http://www.collembola.org>.
- BELLINI, B. C. & ZEPPELINI, D. Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 53, n. 3, p. 386-390, 2009.
- BELLINI, B. C.; SANTOS, N. C.; SOUZA, P. C. & WEINER, W. M. Two new species of Brazilian springtails (Hexapoda: Collembola) with comments on Neotropical *Brachystomella* Ågren and *Seira* (*Lepidocyrtinus*) Börner. *Insect Systematics & Evolution*, v. 50, n. 3, 297-326, 2018. <https://doi.org/10.1163/1876312X-00002192>
- BICHUETTE, M. E.; FONSECA-FERREIRA, R. & GALLÃO, J. E. Biota subterrânea associada às cavernas em formações ferríferas. In: RUCHKYS, U. A.; TRAVASSOS, L. E. P.; RASTEIRO, M. A.; FARIA, L. E. (Orgs.). *Patrimônio Espeológico em Rochas Ferruginosas*. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, p.174-191, 2015.
- BICHUETTE, M. E.; NASCIMENTO, A. R.; von SCHIMONSKY, D. M.; GALLÃO, J. E.; RESENDE, L. P. A. & ZEPON, T. Terrestrial fauna of the largest granitic cave from Southern Hemisphere, southeastern Brazil: A neglected habitat. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 12, p. 75-90, 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*, vol. 1. 2018. Disponível em http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_voll.pdf Acesso em agosto 2019.
- BRITO, R. A.; LIMA, E. C. A.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, J. V. L. C.; AMORIM, T. P. L.; MACHADO, T. G.; LOPES, B. C. H.; COSTA, I. A.; ALVES, J. L. S.; BRITO, N. P. & ZEPPELINI, D. Catalogue of Species of Collembola (Hexapoda: Ellipura) Deposited in Coleção de Referência de Fauna de Solo of the Universidade Estadual da Paraíba, Brazil. *Florida Entomologist*, v. 100, n. 1, p. 9-14, 2017.

- CAMACHO, A. I. Sampling the subterranean biota cave (aquatic environment), p. 153. In.: The natural history of biospeleology, *Monographs*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ed. Ana Isabel Camacho, 1992, 680 p.
- CARMO, F. F. & JACOBI, C. M. As cangas do Quadrilátero Ferrífero. In: JACOBI, C. M. & CARMO, F. F. (Orgs.). *Diversidade florística nas cangas do Quadrilátero Ferrífero*. Ed. IDM, Belo Horizonte. p. 1-13, 2012.
- CASSAGNE, N.; BAL-SERIN, M. C.; GERS, C. & GAUQUELIN, T. Changes in humus properties and collembolan communities following the replanting of beech forests with spruce. *Pedobiologia*, v. 48, n. 3, p. 267-276, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.01.004>
- CASSAGNE, N.; GERS, C. & GAUQUELIN, T. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands. *Biology and Fertility of Soils*, 37: 355-361, 2003.
- CASTAÑO-MENESES, G.; PALACIOS-VARGAS, J. G. & CUTZ-POOL, L. Q. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*, v. 75, p. 135-142, 2004.
- CHRISTIANSEN, K. A. Proposition pour la classification des animaux cavernicoles. *Spelunca*, v. 2, p. 75-78, 1962.
- CHRISTIANSEN, K. & BELLINGER, P. F. *The Collembola of North America north of the Rio Grande, a taxonomic analysis*. Grinnell College, Grinnell Iowa, 1980, 1322 p.
- CIPOLA, N. G.; MORAIS, J. W. & BELLINI, B. C. New species, redescription and a new combination of *Acanthocyrtus* Handschin, 1925 and *Amazhomidia* Cipola & Bellini, 2016 (Collembola, Entomobryidae, Entomobryinae). *Zootaxa*, v. 4387, p. 401-435, 2018a.
- CIPOLA, N. G.; MORAIS, J. W. & BELLINI, B. C. New subgenus and four species of *Lepidocyrtus* Bourlet (Collembola, Entomobryidae, Lepidocyrtinae) from Amazon. *Insect Systematics & Evolution*, v. 2018, p. 1-46, 2018b. <https://doi.org/10.1163/1876312X-00002184>
- CLARKE, K. R. & GORLEY, R. N. *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Plymouth, 2015.
- CORDEIRO, L. M. Distribuição, filogeografia dos bagres troglóbios do gênero *Trichomycterus* na área cárstica da Serra da Bodoquena, MS (Siluriformes: Trichomycteridae). *Tese*. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2014.
- CULVER, D. C. *Cave life: Evolution and ecology*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982.

CULVER, D. C. & PIPAN, T. *The biology of caves and other subterranean habitats*. 1ª ed., New York, Oxford University Press, 2009a.

CULVER, D. C. & PIPAN, T. Superficial subterranean habitats - gateway to the subterranean realm? *Cave and Karst Science*, v. 35, n. 1-2, p. 5-12, 2009b.

CULVER, D. C. & SKET, B. Hotspots of Subterranean Biodiversity in Caves and Wells. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 62, p. 11-17, 2000.

DEHARVENG, L. Diversity patterns in the Tropics. In: CULVER, D. C. & WHITE, W. B. (Eds) *Encyclopedia of caves*, 1ed. Elsevier, Amsterdam, p. 166-170, 2005.

DESSEN, E. M. B.; ESTON, V. R.; SILVA, M. S.; TEMPERINI-BECK, M. T. & TRAJANO, E. Levantamento preliminar da fauna de cavernas de algumas regiões do Brasil. *Ciência e Cultura*, v. 32, n. 6, p. 714-725, 1980.

FERREIRA, A. S. Diversidade e distribuição de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil: a influência dos fatores ambientais e espaciais e a descrição de novos táxons. *Tese*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, 2018. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15166/1/Arquivototal.pdf> Acesso em julho de 2019.

FERREIRA, A. S.; BELLINI, B. C. & VASCONCELLOS, A. Temporal variations of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) in the semiarid Caatinga in northeastern Brazil. *Zoologia*, v. 30, n. 6, p. 639-644, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702013005000009>

FERREIRA, A. S.; ROCHA, I. M. S.; BELLINI, B. C. & VASCONCELLOS, A. Effects of habitat heterogeneity on epiedaphic Collembola (Arthropoda: Hexapoda) in a semiarid ecosystem in Northeast Brazil. *Zoologia*, v. 35, e13653, 2018. <http://dx.doi.org/10.3897/zoologia.35.e13653>

FONG, D. W. Intermittent pools at headwaters of subterranean drainage basins as sampling sites for epikarst fauna. In: JONES, W. K.; CULVER, D. C.; HERMAN, J. S. (Eds). *Epikarst*. Karst Waters Institute Special Publication 9, p. 114-188, 2004.

FRAMPTON, G. K. Recovery responses of soil surface Collembola after spatial and temporal changes in long-term regimes of pesticide use. *Pedobiologia*, v. 44, n. 3-4, p. 489-501, 2000. [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70066-9](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70066-9)

GALLÃO, J. E. Estado de conservação e dados de distribuição da fauna troglóbia brasileira com propostas de áreas prioritárias para proteção. *Dissertação*. Mestrado em Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

GARCIA, R. J. F.; LONGHI-WAGNER, H. M.; PIRANI, J. R. & MEIRELLES, S. T. A contribution to the phytogeography of Brazilian campos: an analysis based on Poaceae. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 32, n. 4, p. 703-713, 2009.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042009000400009>

GERS, C. H. Ecologie et Biologie des arthropodes terrestres du Milieu Souterrain Superficiel. Fonctionnement et ecologie évolutive. *Thesis*, 392 p. Université de Toulouse 3, Toulouse, France (Université de soutenance), 1992.

GIACHINO, P. M. & VAILATI, D. Problemi di protezione dell'ambiente ipogeo e note sull'impatto delle attività di ricerca in ambiente sotterraneo. *Atti Convegno Nazionale Bossea (5-8 settembre 2003), "L'Ambiente Carsico el'Uomo"*, p. 303-314, 2005.

GIACHINO, P. M. & VAILATI, D. *The subterranean environment. Hypogean life, concepts and collecting techniques*. WBA Handbooks 3, Verona, p. 132, 2010.

HÜPPOP, K. How do cave animals cope with the food scarcity in caves? In: WILKENS, H, CULVER, D. C. & HUMPHREYS, W. F. (Eds). *Subterranean ecosystems*, Amsterdam: Elsevier, p.189- 210, 2000.

JANTARIT, S.; SATASOOK C. & DEHARVENG, L. *Cyphoderus* (Cyphoderidae) as a major component of collembolan cave fauna in Thailand, with description of two new species. *Zookeys*, v. 368, p. 1-21, 2014. <https://doi.org/10.3897/zookeys.368.6393>

JORDANA, R.; ARBEA, J. I.; SIMÓN, C. & LUCIÁÑEZ, M. J. *Fauna Iberica. Vol. 8. Collembola Poduromorpha*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 1997, 807 pp.

JUBERTHIE, C. Introduction, le milieu souterrain: étendue et composition. *Mémoires de Biospéologie*, v. 10, p. 17-65, 1983.

JUBERTHIE, C. La colonisation du milieu souterrain; théories et modèles, relations avec la spéciation et l'évolution souterraine. *Mémoires de Biospéologie*, v. 11, p. 65-102, 1984.

JUBERTHIE, C. The diversity of the karstic and pseudokarstic hypogea habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C. & HUMPHREYS, W. F. (Eds) *Subterranean ecosystems (ecosystems of the world 30)*. Elsevier, Amsterdam, p. 17-39, 2000.

JUBERTHIE, C.; DELAY, B. & BOUILLON, M. Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d'un nouveau milieu et de son peuplement par les coleopteres troglobies. *Mémoires de Biospéologie*, v. 7, 19-52, 1980.

KETZ, A. D.; GIORDANO, R. & SOTO-ADAMES, F. N. Operational criteria for cryptic species delimitation when evidence is limited, as exemplified by North American Entomobrya (Collembola: Entomobryidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, v. 173, n. 4, p. 818-840, 2015.

KLINGENBERG, C. P. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, v. 11, p. 353-357, 2011.

<https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>

KOOISTRA, G. Some data concerning the presence and behavior of springtails (Collembola) on Grass and white clover. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v. 70, p. 136-141, 1964.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W. & GEIGER, R. (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*, Vol. 1C. Gebrüder Borntraeger, Berlin, p. 1-44, 1936.

LIMA, E. C. A.; STIEVANO, L. C. & ZEPPELINI, D. A new species of *Acherontides* (Collembola: Hypogastruridae) from Brazil, with an identification key. *Zootaxa*, v. 4623, p. 141-150, 2019. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4623.1.9>

LIMA, E. C. A.; MENDONÇA, M. C. & ZEPPELINI, D. Brazilian *Archisotoma* Linnaniemi (Collembola, Isotomidae), with description of a new species from an oceanic atoll. *Zootaxa*, v. 4543, p. 52-62, 2019. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4543.1.3>

MAMMOLA, S.; GIACHINO, P. M.; PIANO, E.; JONES, A.; BARBERIS, M.; BADINO, G. & ISAIA, M. Ecology and sampling techniques of an understudied subterranean habitat: the Milieu Souterrain Superficiel (MSS). *The Science of Nature*, v. 103, n. 11-12, p. 1-24/88, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00114-016-1413-9>

MATEOS, E. & LUKIĆ, M. New European *Lepidocyrtus* Bourlet, 1839 (Collembola, Entomobryidae) with the first description of feeding-related dancing behaviour in Collembola. *Zootaxa* v. 4550, n. 2, p. 221-235, 2019. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4550.2.4>

MEDEIROS, G. S. & BELLINI, B. C. Two new species of *Temeritas* Richards (Collembola, Symphyleona, Sminthuridae) from Neotropical Region, with comments on the genus. *Zootaxa*, v. 4586, p. 536-552, 2019. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4586.3.9>

MENDONÇA, M. C. & SILVEIRA, T. C. A peculiar new species of *Scutisotoma* Bagnall, 1949 (Collembola: Isotomidae) from Brazil. *Soil Organisms*, v. 91, p. 1-6, 2019. <http://dx.doi.org/10.25674/so-91-1-01>

MOORE, B. P. Present-day cave beetle fauna in Australia. A pointer to past climatic change. *Helictite*, v. 3, p. 3-9, 1964.

MORRONE, J. J. Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa*, v. 3782, n. 1, p. 001-110, 2014. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1>

NEVES, A. C.; MENDONÇA, M. C & QUEIROZ, G. Two new species and new records of Neanuridae (Hexapoda: Collembola) from Brazilian central Amazonia. *Zoologia*, v. 36, e23269, 2019. <http://dx.doi.org/10.3897/zoologia.36.e23269>.

NITZU, E. Edaphicolus, endogeous and subterranean coleopteran from the Movile karstic area (Southern Dobrogea, Romania). *Travaux de l'Institut de Speologie "E. Racovitza"*, v. 36, n. 1997, p. 73-98, 2000.

NITZU, E. & DECU, V. First record of *Limnastis galilaeus* Brullé, 1875 and *Parazuphium chevrolati* (Castelnau, 1833) (Coleoptera, Caraboidaea) in the subterranean habitat from Southern Dobrudja, Romania. *Entomol. Mitt. zool. Mus. Hamburg*, v. 157, n. 12, p. 229-236, 1998.

NITZU, E.; NAE, A.; GIURGINCA, A. & POPA, I. Invertebrate communities from the mesovoid shallow substratum of the Carpatho-Euxinic area: ecofaunistic and zoogeographic analyses. *Travaux de l'Institut de Speologie "E. Racovitza"* v. 49, p. 41-79, 2010.

NITZU, E.; NAE, A.; BĂNCILĂ, R.; POPA, I.; GIURGINCA, A. & PLĂIAȘU, R. Scree habitats: ecological function, species conservation and spatial-temporal variation in the arthropod community. *Systematics and Biodiversity*, v. 12, n. 1, p. 65-75, 2014. <https://doi.org/10.1080/14772000.2013.878766>

NITZU, E.; NAE, A. & POPA, I. Eco-faunistic study on the invertebrate fauna (Araneae, Collembola, Coleoptera) from the Varghis Gorge Natural Reserve, with special note on the micro-refugial role of subterranean habitats. *Travaux de l'Institut de Speologie "E. Racovitza"*, v. 46, p. 159-168, 2007.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO, A. S. F.; PESSOA, M. M. C.; SOUSA, R. S.; SILVA, J. D. C. & MATOS-FILHO, C. H. A. Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. *Brazilian Journal of Biology*, v. 79, n. 1, p. 45-51, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.174135>

NUNES, R. C. & BELLINI, B. C. Three new species of Entomobryoidea (Collembola: Entomobryomorpha) from Brazilian Caatinga-Cerrado transition, with identification keys to Brazilian *Cyphoderus*, *Pseudosinella* and *Trogolaphysa* species. *Zootaxa*, v. 4420, p. 71-96, 2018. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4420.1.4>

NUNES, R. C. & BELLINI, B. C. A new species of *Nothobrya* Arlé, 1961 (Collembola: Entomobryidae) from Brazil and notes on key characters for Nothobryinae taxonomy, with an identification key to the species of the subfamily. *Zootaxa*, v. 4615, p. 375-391, 2019. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4615.2.9>

NUNES, R. C.; GODEIRO, N. N.; PACHECO, G.; LIU, S.; GILBERT, M. T. P.; ALVAREZ-VALIN, F.; ZHANG, F. & BELLINI, B. C. The discovery of Neotropical

Lepidosira (Collembola, Entomobryidae) and its systematic position. *Zoologica Scripta*, p. zsc.12377, 2019. <https://doi.org/10.1111/zsc.12377>

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECS, E. & WAGNER, H. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6, 2019. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

OLIVEIRA, F. G. L.; CIPOLA, N. G. & ALMEIDA, E. A. B. Systematics and biogeography of *Salina* MacGillivray (Collembola: Entomobryoidea), with emphasis on the species groups in the New World. *Insect Systematics & Evolution*, v. 49, p. 1-58, 2018. <https://doi.org/10.1163/1876312X-00002201>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; TAMEIRÃO-NETO, E.; CARVALHO, W. A. C.; WERNECK, M.; BRINA, A. E.; VIDAL, C. V.; RESENDE, S. C. & PEREIRA, J. A. A. Análise florística do compartimento arbóreo de áreas de floresta atlântica sensu lato na região das bacias do leste (Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro). *Rodriguésia*, v. 56, n. 87, p. 185-235, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-78602005568715>

ORTUÑO, V. M.; GILGADO, J. D.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; SENDRA, A.; PÉREZ-SUÁREZ, G. & HERRERO-BORGONÓN, J. J. The “Alluvial Mesovoid Shallow Substratum”, a New Subterranean Habitat. *PLoS One*, v. 8, n. 10, e76311, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076311>

PALACIOS-VARGAS, J. G. An extraordinary new genus and species of Pseudachorutinae (Collembola: Neanuridae) from Colombia. *Zootaxa*, v. 4609, n. 2, p. 373-387, 2019. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4609.2.11>

PALACIOS-VARGAS, J. G. & CASTAÑO-MENESES, G. First Mexican species of the genus *Cosberella* (Collembola, Hypogastruridae). *ZooKeys*, v. 829, p. 15-22, 2019. <https://doi.org/10.3897/zookeys.829.26730>

PALACIOS-VARGAS, J. G.; FERREIRA, A. S. & ZEPPELINI, D. Redefinition of *Denisiella* Folsom & Mills, 1938 (Collembola: Sminthuridae) with description of three new species from Brazil. *Zootaxa*, v. 4434, p. 111-129, 2018. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4434.1.7>

PALACIOS-VARGAS, J. G. & VÁZQUEZ, M. A new Mexican species of *Paraxenylla* (Collembola: Hypogastruridae) from marine littoral sand of Quintana Roo, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, v. 89, p. 1054-1059, 2018. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2563>

PALMER, M. W. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, v. 71, n. 3, p. 1195-1198, 1990. <https://www.jstor.org/stable/1937387>

PAZ, R. V.; Queiroz, G. C. & BELLINI, B. C. A new species of *Aethiopella* Handschin, 1942 (Collembola, Poduromorpha, Neanuridae) from Neotropical Region, with comments on the genus. *Zootaxa*, v. 4629, n. 1, p. 39-50, 2019. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4629.1.3>

PECK, S. B. Climatic change and the evolution of cave invertebrates in the Grand Canyon, Arizona. *National Speleological Society Bulletin*, v. 42, p. 53-60, 1980.

PILÓ, L. B. & AULER, A. Introdução à Espeleologia. In: *CECAV. III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Brasília: CECV/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, cap. 1, p. 7-23, 2011. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/cecv/images/download/Apostila%20Curso%20de%20Espeleologia%20e%20Licenciamento%20Ambiental.pdf> Acesso em janeiro 2018.

PIPAN, T.; LÓPEZ, H.; OROMÍ, P.; POLAK, S. & CULVER, D. C. Temperature variation and the presence of troglobionts in shallow subterranean habitats. *Journal of Natural History*, v. 45, p. 253-273, 2011. <https://doi.org/10.1080/00222933.2010.523797>

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. URL <https://www.R-project.org/>.

RACOVITZA, E. G. Essai sur les problèmes biospéologiques. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 4^a ser., v. 6, p. 371-488, 1907 [Edición Facsímil. In: BELLÉS, X, (Ed.). 2004. Assaig sobre els problemes bioespeleològics. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona].

REIS, R. E.; TRAJANO, E. & HINGST-ZAHER, E. Shape variation insurface and cave populations of the armoured catfishes *Ancistrus* (Siluriformes: Loricariidae) from the São Domingos karst area, upper Tocantins River, Brazil. *Journal of Fish Biology*, v. 68, p. 414-429, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00891.x>

RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 6ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010 546 p.

ROSIÈRE, C. A. & CHEMALE JR, F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - uma visão geral e discussão. *Geonomos*, v. 8, n. 2, p. 27-43, 2000. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v8i2.155>

RŮŽIČKA, V. The spiders of stony debris. *Acta Zoologica Fennica*, v. 190, p. 333-337, 1990.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F. & ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 108, n. 1-2, p. 1-7, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>

SALLUN-FILHO, W. & KARMANN, I. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. In: *Geologia do Brasil*, São Paulo: Beca, p. 629-641, 2012.

SARBU, S. M. Mobile Cave: A chemoautotrophically based groundwater ecosystem. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C. & HUMPHREYS, W. F. (Eds.), *Subterranean ecosystems*, Amsterdam: Elsevier, p. 319-343, 2000.

SHEAR, J. A. A set-theoretic view of the Köppen dry climates. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 56, n. 3, p. 508-515, 1966.

SBE, Sociedade Brasileira de Espeleologia. *Cadastro Nacional de Cavernas*. 2019. Disponível em <http://www.sbe.com.br>, acessado em janeiro de 2019.

SILVA, J. R. & SALGADO, A. A. R. Mapeamento das unidades de relevo da região da Serra do Gandarela - Quadrilátero Ferrífero-MG. *Geografias*, v. 5, n. 2, p. 107-125, 2009.

SILVEIRA, T. C. & MENDONÇA, M. C. Two new species of Neanuridae (Collembola: Poduromorpha) from littoral of Rio de Janeiro, Brazil. *Neotropical Entomology*, v. 47, n. 4, p. 508-516, 2018.

SIMÕES, M. H. Invertebrados cavernícolas: subsídios para determinação de cavernas e áreas prioritárias para conservação no Noroeste de Minas Gerais. *Dissertação*. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada. Universidade Federal de Lavras, 2013. Disponível em http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/696/1/DISSERTAÇÃO_Invertebrados%20cavern%C3%ADcolas%20subs%C3%ADdios%20para%20determina%C3%A7%C3%A3o%20de%20cavernas%20e%20%C3%A1reas%20priorit%C3%A1rias%20para%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20no%20Noroeste%20de%20Minas%20Gerais.pdf Acesso em janeiro de 2018.

SIMON, K. S.; PIPAN, T. & CULVER, D. C. A conceptual model of the flow and distribution of organic carbon in caves. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, n. 2, p. 279-284, 2007.

SKET, B. Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History*, v. 42, n. 21-22, p. 1549-1563, 2008. <https://doi.org/10.1080/00222930801995762>

STATSOFT Inc. “Statistica,” *Data Analysis Software System*, version 8, 2007.

TEIXEIRA, W. A. & LEMOS-FILHO, J. P. Fatores edáficos e a colonização de espécies lenhosas em uma cava de mineração de ferro em Itabirito, Minas Gerais. *Revista Árvore*, v. 26, n. 1, p. 25-33, 2002.

TRAJANO, E. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 3, n. 8, 1987. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81751986000400004>

TRAJANO, E. Ecology of subterranean fishes: an overview. *Environmental Biology of Fishes*, v. 62, n. 1-3, p. 133-160, 2001.

TRAJANO, E. Ecology and ethology of subterranean catfishes. In: ARRATIA, G.; KAPOOR, B. G.; CHARDON, M. & DIOGO, R. (Org.). *Catfishes*. 1ed. Enfield: Science Publishers, v. 2, p. 601-635, 2003.

TRAJANO, E. Ecological classification of subterranean organisms. In: WHITE, W. B. & CULVER, D. C. (Eds.). *Encyclopedia of Caves*. 2ed. Academic Press, Waltham, 2012.

TRAJANO, E. & BESSI, R. A classificação Schiner-Racovitza dos organismos subterrâneos: uma análise crítica, dificuldades para aplicação e implicações para conservação. *Espeleo-Tema*, v. 28, n. 1, p. 87-102, 2017. Disponível em http://www.sbe.com.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v28_n1_087-102.pdf Acesso em maio 2018.

TRAJANO, E.; GALÃO, J. E. & BICHUETTE, M. E. Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity. *Biodiversity and Conservation*, v. 25, n. 10, p. 1805-1828, 2016.

UÉNO, S. I. The derivation of terrestrial cave animals. *Zoological Science*, v. 4, p. 593-606, 1987.

VANDEL, A. *Biospeleology. The biology of cavernicolous animals*. Oxford (UK): Pergamon Press, 1965, 524 p.

VENABLES, W. N. & RIPLEY, B. D. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. 2002. ISBN 0-387-95457-0

VARGOVITSH, R. S. New Cave Arrhopalitidae (Collembola: Symphypleona) from the Crimea (Ukraine). *Zootaxa*, v. 2047, n. 1, p. 1-47, 2009. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.2047.1.1>

VINCENT, R. C. & MEGURO, M. Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 31, p. 377-388, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042008000300002>

WHITE, W. B. & CULVER, D. C. *Encyclopedia of Caves*. 2ª ed., Elsevier, 2012.

ZEPPELINI, D. The genus *Arrhopalites* Börner, 1906 (Collembola, Appendiciphora, Arrhopalitidae) in the Neotropical Region, with description of four new cave species from Brazil. *Zootaxa*, v. 1124, p. 1-40, 2006. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.1124.1.1>

ZEPPELINI, D. Phylogeny of *Arrhopalites* s.l. (Collembola: Symphypleona: Arrhopalitidae): testing the monophyly of the recently erected genera *Arrhopalites* s.s. and *Pygmarrhopalites*. *Invertebrate Systematics*, v. 25, p. 91-105, 2011.

ZEPPELINI, D. & BELLINI, B. C. *Introdução ao estudo dos Collembola*. João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba, 2004, 82 pp.

ZEPPELINI, D.; BRITO, R. A. & LIMA, E. C. A. Three new species of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) from Central Brazilian shallow caves: side effects of long-term application of environmental law on conservation. *Zootaxa*, v. 4500, n. 1, p. 59-81, 2018.
<http://doi.org/10.11646/zootaxa.4500.1.3>

ZEPPELINI, D.; LIMA, E. C. A.; BRITO, R. A. & SOARES, G. A. A New Species of *Pararrhopalites* Bonet & Tellez (Collembola, Symphypleona, Sminthuridae) from Iron Caves in Brazil. *Neotropical Entomology*, v. 47, n. 4, p. 492-501, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s13744-017-0569-0>.

ZEPPELINI, D.; LOPES, B. C. H. & LIMA, E. C. A. A New Species of *Szeptyckitheca* (Collembola, Symphypleona, Sphyrothecinae) from Brazil. *Neotropical Entomology*, v. 48, n. 2, p. 269–276, 2018.

ZEPPELINI, D.; QUEIROZ, G. C.; ABRANTES, E. A.; BELLINI, B.; MEDEIROS, E.; OLIVEIRA, E. P.; SILVEIRA, T. C.; NEVES, A. C. R.; SOARES, A. F.; GODEIRO, N. N.; OLIVEIRA, F. G. L.; SANTOS-ROCHA, I. M.; MENESES, L. F. & MENDONCA, M. C. Diversity of Collembola (Arthropoda; Hexapoda) across phytogeographic domains in Brazil. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, v. 5, n. 5, p. 176-184, 2013.
[doi:10.5897/IJBC12.118](https://doi.org/10.5897/IJBC12.118)

ZEPPELINI, D.; QUEIROZ, G. C.; LOPES, N. P. & MENDONCA-JUNIOR, F. J. Chemical analysis of *Brasilimeria* Stach, 1949 (Hexapoda, Collembola, Neanuridae) hemolymphatic secretion, and description of a new species. *PLoS One*, v. 14, n. 2, p. e0212451, 2019.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212451>

APÊNDICE(S)

APENDICE A

TABELAS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE COLLEMBOLA COLETADAS NO
QUADRILÁTERO FERRÍFERO (ROCHA FERRUGINOSA), MINAS GERAIS, BRASIL

Tabela 12 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de junho de 2016.

Espécies	02				09				14			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa*	Entrada*	Disfótico*	Afótico*	Externa*	Entrada	Disfótico*	Afótico
<i>Brachystomella</i> sp1		2										
<i>Campylothorax</i> sp1	21	7	1									1
<i>Cyphoderus agnotus</i>			2	9								18
<i>Cyphoderus caetetus</i>	1											
<i>Cyphoderus similis</i>												51
<i>Desoria</i> sp2		3										
<i>Dicranocentrus</i> sp1	24	16	1	3								3
<i>Dicranocentrus</i> sp2			1									
<i>Entomobrya</i> sp3	2											
<i>Mastigoceras</i> sp3	3	3										
<i>Neotropiella</i> sp1	1											
<i>Pararrhopalites</i> sp2												1
<i>Seira mendoncae</i>		2	1									
<i>Seira mirianae</i>		1	1							6		1
<i>Seira prodiga</i>	25											
<i>Seira</i> spp.		1										
<i>Sinelloides</i> spp.			1							1		
<i>Trogolaphysa</i> sp1	11	9	5									2
<i>Trogolaphysa</i> sp2			5	57								
<i>Trogolaphysa</i> sp4			25									2
Abundância Total	88	44	43	69						7		79
Abundância Relativa (%)	26,7	13,3	13,0	20,9						2,1		23,9
Riqueza Total	8	9	10	3						2		8
Riqueza Relativa (%)	20	22,5	25	7,5						5		20

(*) representa cavidade não amostrada.

Tabela 13 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de setembro de 2016.

Espécies	02				09				14			
	Externa*	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada*	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico*
<i>Campylothorax</i> sp1			7		1		2					
<i>Cyphoderus agnotus</i>			2		1							
<i>Cyphoderus caetetus</i>					1							
<i>Cyphoderus similis</i>			2					3				
<i>Dicranocentrus</i> sp1		1	1		1				7	30		
<i>Dicyrtomina</i> sp1										1		
<i>Entomobrya</i> sp3		4			4							
<i>Katianna</i> sp1										1		
<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>					2							
<i>Mastigoceras</i> sp3		1	1									
<i>Novakatianna</i> sp2							1	2				
<i>Pseudosinella</i> sp10			2				2					
<i>Pseudosinella</i> sp1			5	1				61		5	4	
<i>Seira mataraquensis</i>									6			
<i>Seira mendoncae</i>		1	1		5			2				
<i>Seira mirianae</i>		1	8				6		12			
<i>Seira prodiga</i>		8	1		1					3		
<i>Seira</i> spp.		1			2					2		
<i>Trogolaphysa</i> sp1			17					2	5	15	2	
<i>Trogolaphysa</i> sp2			1	37						10		
<i>Trogolaphysa</i> sp4							4					

Espécies	02				09				14			
	Externa*	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada*	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico*
Abundância Total		17	48	38	18		15	70	30	67	6	
Abundância Relativa (%)		5,5	15,5	12,3	5,8		4,9	22,7	9,7	21,7	1,9	
Riqueza Total		7	12	2	9		5	5	4	8	3	
Riqueza Relativa (%)		12,7	21,8	3,6	16,4		9,1	9,1	7,3	14,5	5,5	

(*) representa a cavidade que não foi amostrada.

Tabela 14 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de dezembro de 2016.

Espécies	02				09				14			
	Externa	Disfótico	Afótico	Entrada	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Brasilimeria assu</i>	4			7								
<i>Campylothorax</i> sp1	32			3	43	6		5	16	9	1	
<i>Cyphoderus agnotus</i>			43		59	10		5			21	45
<i>Cyphoderus caetetus</i>						2						
<i>Cyphoderus similis</i>												6
<i>Dicranocentrus</i> sp1	19			54	34	25	9		59			
<i>Dicyrtomina</i> sp1				1								
<i>Isotomiella nummulifer</i>									34			
<i>Katianna</i> sp1	1											
<i>Mastigoceras</i> sp3	14				27							
<i>Mucrosomia</i> sp1				7	7							5
<i>Novakatianna</i> sp2		2	17	4		3	3	34				
<i>Pseudosinella</i> sp1		23	18			2	3		17	11	3	1
<i>Ptenothrix</i> sp2	1				11	2						
<i>Seira mirianae</i>	39	19		31	27	10	12		6	15		
<i>Seira prodiga</i>	4			25	12	1			1	3	2	2
<i>Trogolaphysa</i> sp1	77	32			31				73	4	7	3
<i>Trogolaphysa</i> sp2		20	25		40				29	29	2	7
Abundância Total	191	96	103	132	291	61	27	44	235	71	36	69
Abundância Relativa (%)	14,1	7,1	7,6	9,7	21,5	4,5	2,0	3,2	17,3	5,2	2,7	5,1
Riqueza Total	9	5	4	8	10	9	4	3	8	6	6	7
Riqueza Relativa (%)	11,4	6,3	5,1	10,1	12,7	11,4	5,1	3,8	10,1	7,6	7,6	8,9

Tabela 15 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Serrinha para o mês de março de 2017.

Espécies	02				09				14			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Campylothorax</i> sp1	17		3		9	15	8		23			
<i>Cyphoderus agnotus</i>				17	13		4					36
<i>Cyphoderus similis</i>												6
<i>Dicranocentrus</i> sp1	24	23	11		8	17			48			
<i>Dicyrtomina</i> sp1					3				1			
<i>Katianna</i> sp1									1			
<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>	8											
<i>Mastigoceras</i> sp3		8			2							
<i>Mucrosomia</i> sp1	5				2							3
<i>Novakatianna</i> sp2			3	12			3	3				
<i>Pseudosinella</i> sp1				21			1	2				2
<i>Ptenothrix</i> sp2									3			
<i>Seira mataraquensis</i>	6	2										
<i>Seira mendoncae</i>	23	14	4		11	5			43	6		
<i>Seira mirianae</i>	4					3			10	8	3	
<i>Seira prodiga</i>	1					1						
<i>Trogolaphysa</i> sp1		19	31	16		4	3			7		
<i>Trogolaphysa</i> sp2									31		15	3
Abundância Total	88	66	52	66	48	45	19	5	160	21	18	50
Abundância Relativa (%)	13,8	10,3	8,2	10,3	7,5	7,1	3,0	0,8	25,1	3,3	2,8	7,8
Riqueza Total	8	5	5	4	7	6	5	2	8	3	2	5
Riqueza Relativa (%)	13,3	8,3	8,3	6,7	11,7	10,0	8,3	3,3	13,3	5,0	3,3	8,3

Tabela 16 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de junho de 2016.

Espécies	08				15				16			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Allonychiurus</i> sp1								2				
<i>Campylothorax</i> sp1	3	4	4		2	2				4	1	
<i>Cyphoderus agnotus</i>					6				1			
<i>Cyphoderus caetetus</i>									1		1	
<i>Dicranocentrus</i> sp1		4	3	1		1		1	1	1	1	
<i>Dicranocentrus</i> sp2				3								
<i>Entomobrya</i> sp3					1				3			
<i>Pararrhopalites</i> sp2								2				2
<i>Pseudosinella</i> sp1	3		10				2	60			5	1
<i>Seira mendoncae</i>					1							
<i>Seira mirianae</i>		1			1	3					1	
<i>Seira prodiga</i>	10				1				7			
<i>Seira</i> spp.					1				1	1		
<i>Sinella</i> spp.					1							
<i>Trogolaphysa</i> sp1		1	6	2	4			12	41			
<i>Trogolaphysa</i> sp4	3				4	10	2					
Abundância Total	19	10	23	6	22	16	4	77	55	6	9	3
Abundância Relativa (%)	7,6	4,0	9,2	2,4	8,8	6,4	1,6	30,8	22,0	2,4	3,6	1,2
Riqueza Total	4	4	4	3	10	4	2	5	7	3	5	2
Riqueza Relativa (%)	7,5	7,5	7,5	5,7	18,9	7,5	3,8	9,4	13,2	5,7	9,4	3,8

Tabela 17 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de setembro de 2016.

Espécies	08				15				16			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico*	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Allonychiurus</i> sp1											5	
<i>Campylothorax</i> sp1	2	3	1			1					5	
<i>Cyphoderus agnotus</i>			2		2							
<i>Cyphoderus caetetus</i>					1	1	1					
<i>Dicranocentrus</i> sp1	6	5	2		17	7	2		1		28	
<i>Folsomia</i> sp3											2	
<i>Isotomiella nummulifer</i>					2						2	1
<i>Isotomodes</i> sp.					1							
<i>Lepidocyrtus</i> sp2											8	2
<i>Mucrosomia</i> sp1											3	
<i>Pararrhopalites</i> sp2												5
<i>Pseudosinella</i> sp10		1	1									2
<i>Pseudosinella</i> sp1		1	1				1		1		10	1
<i>Seira mendoncae</i>	5	4										
<i>Seira mirianae</i>		15	4		2	4	6				4	
<i>Seira prodiga</i>	10				2				6	1	2	
<i>Seira</i> spp.	1								3	1	1	
<i>Sinelloides</i> spp.		1	1									
<i>Trogolaphysa</i> sp1		11	4		8	1			4		25	
<i>Trogolaphysa</i> sp4								2				

Espécies	08				15				16			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico*	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
Abundância Total	24	41	16		35	14	10	2	15	2	95	11
Abundância Relativa (%)	9,1	15,5	6,0		13,2	5,3	3,8	0,8	5,7	0,8	35,8	4,2
Riqueza Total	5	8	8		8	5	4	1	5	2	12	5
Riqueza Relativa (%)	7,9	12,7	12,7		12,7	7,9	6,3	1,6	7,9	3,2	19,0	7,9

(*) representa a cavidade que não foi amostrada.

Tabela 18 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de dezembro de 2016.

Espécies	08				15				16			
	Externa*	Entrada*	Disfótico*	Afótico*	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Brachystomella</i> sp1					3	1						
<i>Brasilimeria</i> assu					1				6	1		
<i>Campylothorax</i> sp1					4	5	6		6		2	
<i>Cyphoderus</i> agnotus						31	29					
<i>Dicranocentrus</i> sp1					42	14	8		46	7		
<i>Entomobrya</i> sp3					24	13			17			
<i>Katianna</i> sp1							3					
<i>Novakatianna</i> sp2					1	3						
<i>Pararrhopalites</i> sp2												1
<i>Pseudosinella</i> sp1							4	10			3	3
<i>Ptenothrix</i> sp2						1			3	5		
<i>Seira mataraquensis</i>					13	4						
<i>Seira mirianae</i>					16				31	8		
<i>Seira prodiga</i>					4	9			7			
<i>Trogolaphysa</i> sp1							13	19				
<i>Trogolaphysa</i> sp2									12			
Abundância Total					108	81	63	29	128	21	5	4
Abundância Relativa (%)					24,6	18,5	14,4	6,6	29,2	4,8	1,1	0,9
Riqueza Total					9	9	6	2	8	4	2	2
Riqueza Relativa (%)					21,4	21,4	14,3	4,8	19,0	9,5	4,8	4,8

(*) representa a cavidade que não foi amostrada.

Tabela 19 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra da Moeda – Capitão do Mato para o mês de março de 2017.

Espécies	08				15				16			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Brachystomella</i> sp1	3											
<i>Brasilimeria</i> assu	1											
<i>Campylothorax</i> sp1	12	9	5		3	1	1			5		
<i>Cyphoderus</i> agnotus				16	8				7		14	
<i>Cyphoderus</i> caetetus							1					
<i>Dicranocentrus</i> sp1		30	7		19	15				8	3	
<i>Dicyrtomina</i> sp1	3											
<i>Entomobrya</i> sp3					36	1						
<i>Katianna</i> sp1					1							
<i>Mucrosomia</i> sp1	2				3							
<i>Novakatianna</i> sp2			1	5				2				
<i>Pararrhopalites</i> sp2								2			1	1
<i>Pseudosinella</i> sp1			4	12			1	3		1	3	1
<i>Ptenothrix</i> sp2	2	2										
<i>Seira</i> mataraquensis					2							
<i>Seira</i> mendoncae	32	3	1		34	10			14			
<i>Seira</i> mirianae	4				12	13	2		11	3		
<i>Seira</i> prodiga	2											
<i>Trogolaphysa</i> sp1	8											
<i>Trogolaphysa</i> sp2		2	6	5	17	11			5	3		

Espécies	08				15				16			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
Abundância Total	69	46	24	38	135	51	5	7	37	20	21	2
Abundância Relativa (%)	15,2	10,1	5,3	8,4	29,7	11,2	1,1	1,5	8,1	4,4	4,6	0,4
Riqueza Total	10	5	6	4	10	6	4	3	4	5	4	2
Riqueza Relativa (%)	15,9	7,9	9,5	6,3	15,9	9,5	6,3	4,8	6,3	7,9	6,3	3,2

Tabela 20 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de junho de 2016.

Espécies	09				38				47			
	Externa*	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa*	Entrada*	Disfótico	Afótico	Externa*	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Arrhopalites caecus</i>				1								
<i>Campylothorax</i> sp1		9	2							1		
<i>Cyphoderus agnotus</i>		1		1			2					
<i>Cyphoderus</i> sp9				1								
<i>Cyphoderus similis</i>								18		1		8
<i>Dicranocentrus</i> sp1		48	13									
<i>Dicranocentrus</i> sp2			1									
<i>Isotomiella nummulifer</i>				1								
<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>		3										
<i>Mucrosomia</i> sp1				1								
<i>Pseudosinella</i> sp1		1	3	93			21	14			5	49
<i>Pseudosinella</i> sp4				10								
<i>Seira mirianae</i>		3										
<i>Seira prodiga</i>		4										
<i>Seira</i> spp.		1										
<i>Trogolaphysa</i> sp1		7					1					
<i>Trogolaphysa</i> sp2		8	15									
<i>Trogolaphysa</i> sp4		13	9							6		
Abundância Total		98	33	108			24	32		8	5	57
Abundância Relativa (%)		26,8	9,0	29,6			6,6	8,7		2,2	1,4	15,6
Riqueza Total		11	6	7			3	2		3	1	2
Riqueza Relativa (%)		31,4	17,1	20,0			8,6	5,7		8,6	2,8	5,7

(*) representa a cavidade que não foi amostrada.

Tabela 21 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de setembro de 2016.

[illegible]

Espécies	09				38				47			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa*	Entrada	Disfótico	Afótico
Abundância Total	21	33	46	172	79	8	4	9		40	16	10
Abundância Relativa (%)	4,8	7,5	10,5	39,3	18,0	1,8	0,9	2,1		9,1	3,7	2,3
Riqueza Total	7	8	5	3	12	5	2	1		7	6	5
Riqueza Relativa (%)	11,5	13,1	8,2	4,9	19,7	8,2	3,3	1,6		11,5	9,8	8,2

(*) representa a cavidade que não foi amostrada.

Tabela 22 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de dezembro de 2016.

Espécies	09				38				47			
	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico
<i>Brachystomella</i> sp1	2	3							2			
<i>Brasilimeria assu</i>	5	2							1			
<i>Campylothorax</i> sp1	11	3			4				8			
<i>Cyphoderus agnotus</i>				42	31	21	12					25
<i>Cyphoderus similis</i>					12			5		28	3	
<i>Dicranocentrus</i> sp1	32	24	11		54	4			11			
<i>Katianna</i> sp1					1	2			2			
<i>Mucrosomia</i> sp1					2							
<i>Novakatianna</i> sp2				5				12				
<i>Pararrhopalites</i> sp2							2					
<i>Pseudosinella</i> sp1				20			9	6			3	16
<i>Ptenothrix</i> sp2	2		2									
<i>Salina</i> sp1										2		
<i>Seira mataraquensis</i>		10							5			
<i>Seira mirianae</i>	21		4		6				18	42	1	1
<i>Seira prodiga</i>		4							5		1	
<i>Trogolaphysa</i> sp1		17		16			8					
<i>Trogolaphysa</i> sp2	27				32	12				35	1	
Abundância Total	100	63	17	83	142	39	31	23	52	107	9	42
Abundância Relativa (%)	14,1	8,9	2,4	11,7	20,1	5,5	4,4	3,2	7,3	15,1	1,3	5,9
Riqueza Total	7	7	3	4	8	4	4	3	8	4	5	3
Riqueza Relativa (%)	11,7	11,7	5,0	6,7	13,3	6,7	6,7	5,0	13,3	6,7	8,3	5,0

Tabela 23 – Riqueza de espécies e abundância de Collembola nas cavernas da Serra do Gandarela – Apolo para o mês de março de 2017.

Espécies	09				38				47			
	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa	Entrada	Disfótico	Afótico	Externa
<i>Brachystomella</i> sp1	5			3								
<i>Brasilimeria assu</i>	1			2								
<i>Campylothorax</i> sp1	4	4		7				3				
<i>Cyphoderus agnotus</i>					55	22					51	
<i>Cyphoderus similis</i>										2		
<i>Dicranocentrus</i> sp1	27	36		29	21			83	33			76
<i>Katianna</i> sp1						2		4				
<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>								54				
<i>Mucrosomia</i> sp1		6			1							6
<i>Novakatianna</i> sp2			3				16					
<i>Pararrhopalites</i> sp2											2	
<i>Pseudosinella</i> sp1		4	22			8	12			1	7	11
<i>Ptenothrix</i> sp2				3								
<i>Seira mataraquensis</i>	2							2				1
<i>Seira mendoncae</i>	28	12		22	20			46	19			2
<i>Seira mirianae</i>	17	6		34	18			21	16			15
<i>Seira prodiga</i>												11
<i>Trogolaphysa</i> sp1	25			24						2		
<i>Trogolaphysa</i> sp2						16		39	23			
Abundância Total	109	68	25	124	115	48	28	252	91	5	60	122
Abundância Relativa (%)	10,4	6,5	2,4	11,8	11,0	4,6	2,7	24,1	8,7	0,5	5,7	11,7
Riqueza Total	8	6	2	8	5	4	2	8	4	3	3	7
Riqueza Relativa (%)	13,3	10,0	3,3	13,3	8,3	6,7	3,3	13,3	6,7	5,0	5,0	11,7

APENDICE B

ESPÉCIES DE COLLEMBOLA COLETADAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO
(ROCHA FERRUGINOSA), MINAS GERAIS, BRASIL

Poduromorpha Börner, 1913 *sensu* D'Haese, 2002

Brachystomellidae Stach, 1949

Brachystomella sp1

Brachystomella grootaerti Najt, Thibaud & Jacquemart, 1991

Neanuridae Börner, 1901 *sensu* Yosii, 1956

Brasilimeria assu Zeppelini, Queiroz, Lopes & Mendonça-Junior, 2019

Neotropiella sp1

Onychiuridae Lubbock, 1871

Allonychiurus sp1

Entomobryomorpha Börner, 1913 *sensu* Soto-Adames *et al.*, 2008

Entomobryidae Schäffer, 1896

Entomobrya sp3

Isotobrya spp.

Lepidocyrtus ca. *curvicolis*

Lepidocyrtus sp2

Pseudosinella sp1

Pseudosinella sp2

Pseudosinella sp4

Pseudosinella sp8

Pseudosinella sp10

Sinella spp.

Sinelloides spp.

Isotomidae Schäffer, 1896

Desoria sp1

Desoria sp2

Folsomia sp3

Folsomides spp.

Isotomiella nummulifer Deharveng & Oliveira, 1990

Isotomodes spp.

Mucrosomia sp1

Orchesellidae Börner C, 1906

Dicranocentrus sp1

Dicranocentrus sp2

Mastigoceras sp3

Paronellidae Börner, 1913

Campylothorax sp1

Cyphoderus agnotus

Cyphoderus caetetus

Cyphoderus similis

Cyphoderus sp9

Salina sp1

Trogolaphysa sp1

Trogolaphysa sp2

Trogolaphysa sp4

Yosiia sp1

Seiridae Yosii, 1961 *sensu* Zang *et al.*, 2015

Seira mataraquensis Bellini & Zeppelini, 2008

Seira mendoncae Bellini & Zeppelini, 2008

Seira mirianae Arlé & Guimaraes, 1981

Seira prodiga (Arlé, 1960) Christiansen & Bellinger, 2000

Seira spp.

Symphyleona Börner, 1901 *sensu* Massoud, 1971

Arrhopalitidae Stach, 1956 *sensu* Bretfeld, 1999

Arrhopalites caecus (Tullberg, 1871) Börner, 1906

Arrhopalites sp4

Dicyrtomidae Börner, 1906 *sensu* Deharveng, 2004

Dicyrtomina sp1

Ptenothrix sp2

Katiannidae Börner, 1913 *sensu* Bretfeld, 1999

Katianna sp1

Sminthuridae Lubbock, 1862 *sensu* Deharveng, 2004

Novakatianna sp2

Pararrhopalites sp2

Sminthurididae Börner, 1906 *sensu* Betsch & Massoud, 1970

Sphaeridia Linnaniemi, 1912

APENDICE C

RELAÇÃO DAS ESPÉCIES DE COLLEMBOLA DE ACORDO COM OS MESES E
CAVIDADE DE OCORRÊNCIA

ESPÉCIES

vi.2016
Allonychiurus sp1
Arrhopalites caecus
Brachystomella sp1
Campylothorax sp1
Cyphoderus agnotus
Cyphoderus caetetus
Cyphoderus sp9
Cyphoderus similis
Desoria sp2
Dicranocentrus sp1
Dicranocentrus sp2
Entomobrya sp3
Isotomiella nummulifer
Lepidocyrtus ca. curvicolis
Mastigoceras sp3
Mucrosomia sp1
Neotropiella sp1
Pararrhopalites sp2
Pseudosinella sp1
Pseudosinella sp4
Seira mendoncae
Seira mirianae
Seira prodiga
Seira spp.
Sinella spp.
Sinelloides spp.
Trogolaphysa sp1
Trogolaphysa sp2
Trogolaphysa sp4

ix.2019
Allonychiurus sp1
Brasilimeria assu
Campylothorax sp1
Cyphoderus agnotus
Cyphoderus caetetus
Cyphoderus similis
Desoria sp1
Dicranocentrus sp1
Dicyrtomina sp1
Entomobrya sp3
Folsomia sp3
Isotobrya sp.
Isotomiella nummulifer
Isotomodes sp.
Katianna sp1
Lepidocyrtus ca. curvicolis
Lepidocyrtus sp2
Mastigoceras sp3
Mucrosomia sp1
Novakatianna sp2
Pararrhopalites sp2
Pseudosinella sp10
Pseudosinella sp1
Seira mataraquensis
Seira mendoncae
Seira mirianae
Seira prodiga
Seira spp.
Sinelloides spp.
Trogolaphysa sp1
Trogolaphysa sp2
Trogolaphysa sp4
Yosiia sp1

MÊS DE COLETA

xii.2016
Brachystomella sp1
Brasilimeria assu
Campylothorax sp1
Cyphoderus agnotus
Cyphoderus caetetus
Cyphoderus similis
Dicranocentrus sp1
Dicyrtomina sp1
Entomobrya sp3
Isotomiella nummulifer
Katianna sp1
Lepidocyrtus sp2
Mastigoceras sp3
Mucrosomia sp1
Novakatianna sp2
Pararrhopalites sp2
Pseudosinella sp10
Pseudosinella sp1
Ptenothrix sp2
Salina sp1
Seira mataraquensis
Seira mirianae
Seira prodiga
Trogolaphysa sp1
Trogolaphysa sp2
Trogolaphysa sp4

iii.2017
Brachystomella sp1
Brasilimeria assu
Campylothorax sp1
Cyphoderus agnotus
Cyphoderus caetetus
Cyphoderus similis
Dicranocentrus sp1
Dicyrtomina sp1
Entomobrya sp3
Katianna sp1
Lepidocyrtus ca. curvicolis
Mastigoceras sp3
Mucrosomia sp1
Novakatianna sp2
Pararrhopalites sp2
Pseudosinella sp1
Ptenothrix sp2
Seira mataraquensis
Seira mendoncae
Seira mirianae
Seira prodiga
Trogolaphysa sp1
Trogolaphysa sp2

ESPÉCIES	CAVIDADES DE COLETA								
	SERR02	SERR09	SERR14	CPMT08	CPMT15	CPMT16	AP09	AP38	AP47
	<i>Brachystomella</i> sp1	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Brachystomella</i> sp1	<i>Allonychiurus</i> sp1	<i>Allonychiurus</i> sp1	<i>Arrhopalites caecus</i>	<i>Allonychiurus</i> sp1	<i>Brachystomella</i> sp1
	<i>Brasilimeria</i> assu	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Brasilimeria</i> assu	<i>Brachystomella</i> sp1	<i>Brasilimeria</i> assu	<i>Brachystomella</i> sp1	<i>Brasilimeria</i> assu	<i>Brasilimeria</i> assu
	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Cyphoderus caetetus</i>	<i>Cyphoderus similis</i>	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Brasilimeria</i> assu	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Brasilimeria</i> assu	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Campylothorax</i> sp1
	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Cyphoderus similis</i>	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Campylothorax</i> sp1	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Cyphoderus agnotus</i>
	<i>Cyphoderus caetetus</i>	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Dicyrtomina</i> sp1	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Cyphoderus caetetus</i>	<i>Cyphoderus caetetus</i>	<i>Cyphoderus agnotus</i>	<i>Cyphoderus similis</i>	<i>Cyphoderus caetetus</i>
	<i>Cyphoderus similis</i>	<i>Dicyrtomina</i> sp1	<i>Isotomiella nummulifer</i>	<i>Dicranocentrus</i> sp2	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Cyphoderus caetetus</i>	<i>Desoria</i> sp1	<i>Cyphoderus similis</i>
	<i>Desoria</i> sp2	<i>Entomobrya</i> sp3	<i>Katianna</i> sp1	<i>Dicyrtomina</i> sp1	<i>Entomobrya</i> sp3	<i>Entomobrya</i> sp3	<i>Cyphoderus</i> sp9	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Dicranocentrus</i> sp1
	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Isotomiella nummulifer</i>	<i>Folsomia</i> sp3	<i>Dicranocentrus</i> sp1	<i>Isotobrya</i> sp.	<i>Katianna</i> sp1
	<i>Dicranocentrus</i> sp2	<i>Mastigoceras</i> sp3	<i>Pararrhopalites</i> sp2	<i>Novakatianna</i> sp2	<i>Isotomodes</i> sp.	<i>Isotomiella nummulifer</i>	<i>Dicranocentrus</i> sp2	<i>Katianna</i> sp1	<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>
	<i>Dicyrtomina</i> sp1	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Pseudosinella</i> sp10	<i>Katianna</i> sp1	<i>Lepidocyrtus</i> sp2	<i>Entomobrya</i> sp3	<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>	<i>Mucrosomia</i> sp1
	<i>Entomobrya</i> sp3	<i>Novakatianna</i> sp2	<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Isotomiella nummulifer</i>	<i>Lepidocyrtus</i> sp2	<i>Pararrhopalites</i> sp2
	<i>Katianna</i> sp1	<i>Pseudosinella</i> sp10	<i>Seira mataraquensis</i>	<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Novakatianna</i> sp2	<i>Pararrhopalites</i> sp2	<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Pseudosinella</i> sp10
	<i>Lepidocyrtus</i> ca. <i>curvicolis</i>	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Pararrhopalites</i> sp2	<i>Pseudosinella</i> sp10	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Novakatianna</i> sp2	<i>Pseudosinella</i> sp1
	<i>Mastigoceras</i> sp3	<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Seira mirianae</i>	<i>Seira mirianae</i>	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Novakatianna</i> sp2	<i>Pararrhopalites</i> sp2	<i>Salina</i> sp1
	<i>Mucrosomia</i> sp1	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Seira prodiga</i>	<i>Seira prodiga</i>	<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Pseudosinella</i> sp10	<i>Pseudosinella</i> sp10	<i>Seira mataraquensis</i>
	<i>Neotropiella</i> sp1	<i>Seira mirianae</i>	<i>Seira</i> spp.	<i>Seira</i> spp.	<i>Seira mataraquensis</i>	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Seira mendoncae</i>
	<i>Novakatianna</i> sp2	<i>Seira prodiga</i>	<i>Sinelloides</i> spp.	<i>Sinelloides</i> spp.	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Seira mirianae</i>	<i>Pseudosinella</i> sp4	<i>Seira mataraquensis</i>	<i>Seira mirianae</i>
	<i>Pseudosinella</i> sp10	<i>Seira</i> spp.	<i>Trogolaphysa</i> sp1	<i>Trogolaphysa</i> sp1	<i>Seira mirianae</i>	<i>Seira prodiga</i>	<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Seira prodiga</i>
<i>Pseudosinella</i> sp1	<i>Trogolaphysa</i> sp1	<i>Trogolaphysa</i> sp2	<i>Trogolaphysa</i> sp2	<i>Seira prodiga</i>	<i>Seira</i> spp.	<i>Seira mataraquensis</i>	<i>Seira mirianae</i>	<i>Seira</i> spp.	
<i>Ptenothrix</i> sp2	<i>Trogolaphysa</i> sp2	<i>Trogolaphysa</i> sp4	<i>Trogolaphysa</i> sp4	<i>Seira</i> spp.	<i>Trogolaphysa</i> sp1	<i>Seira mendoncae</i>	<i>Seira prodiga</i>	<i>Trogolaphysa</i> sp1	
<i>Seira mataraquensis</i>	<i>Trogolaphysa</i> sp4			<i>Sinella</i> spp.	<i>Trogolaphysa</i> sp2	<i>Seira mirianae</i>	<i>Seira</i> spp.	<i>Trogolaphysa</i> sp2	
<i>Seira mendoncae</i>				<i>Trogolaphysa</i> sp1		<i>Seira prodiga</i>	<i>Trogolaphysa</i> sp1	<i>Trogolaphysa</i> sp4	
<i>Seira mirianae</i>				<i>Trogolaphysa</i> sp2		<i>Seira</i> spp.	<i>Trogolaphysa</i> sp2	<i>Yosiia</i> sp1	
<i>Seira prodiga</i>				<i>Trogolaphysa</i> sp4		<i>Trogolaphysa</i> sp1			
<i>Seira</i> spp.						<i>Trogolaphysa</i> sp2			
<i>Sinelloides</i> spp.						<i>Trogolaphysa</i> sp4			
<i>Trogolaphysa</i> sp1									
<i>Trogolaphysa</i> sp2									
<i>Trogolaphysa</i> sp4									

