

# SISTEMA DE DISPOSIÇÃO DE REJEITO (SDR)

CAVA DE ALEGRIA SUL

## RELEVÂNCIA ESPELEOLÓGICA



**CARSTE**  
Ciência e Meio Ambiente



**SAMARCO**



# SISTEMA DE DISPOSIÇÃO DE REJEITO (SDR) CAVA DE ALEGRIA SUL

GEOESPELEOLOGIA  
ANDRÉ SOUZA

BIOESPELEOLOGIA  
ANA PAULA BUENO

Sugestão de citação: Carste (2018) - Relatório de relevância do Projeto Sistema de Disposição de Rejeito (SDR) - Cava de Alegria Sul. Relatório técnico. Belo Horizonte.

OUTUBRO, 2018

# FICHA TÉCNICA

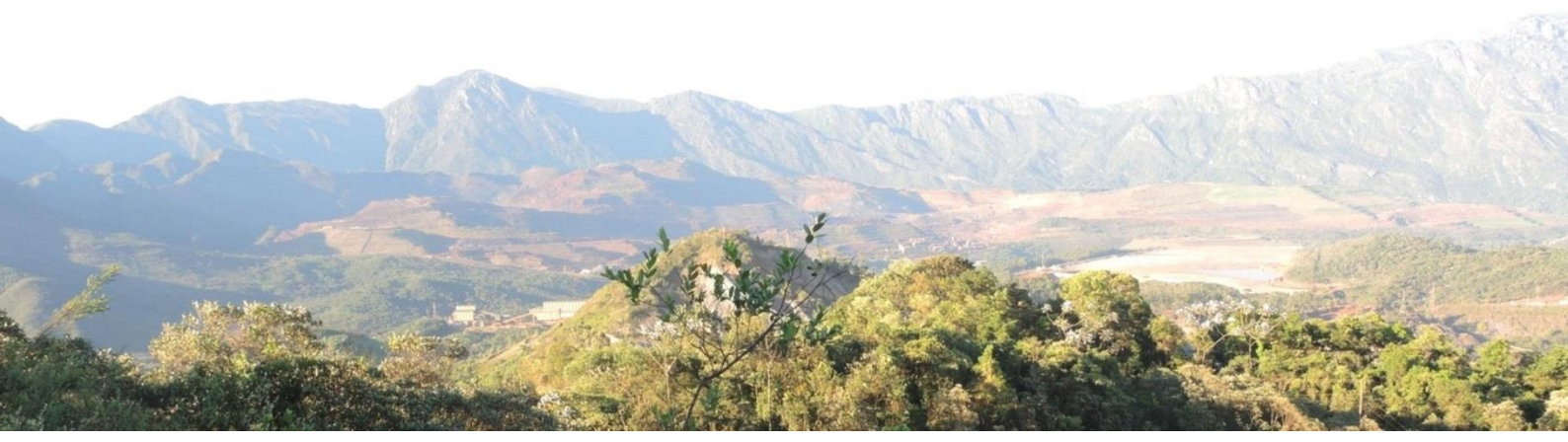
## EMPRESA RESPONSÁVEL POR ESTE RELATÓRIO

Carste Ciência e Meio Ambiente  
CNPJ: 08.000.418/0001-00  
Endereço: Rua Aquiles Lobo 297, Floresta.  
Belo Horizonte/ MG CEP 30150-160  
Telefone: (31) 2517-6800  
E-mail: contato@carste.com.br

## EMPRESA RESPONSÁVEL PELO PROJETO

Razão social: Samarco Mineração S/A  
CNPJ: 16628281/0003-23  
Endereço: Mina de Germano  
Mariana/MG  
Telefone: (31) 84553138  
Contato: Márcio Isaías Perdigão Mendes

TÉCNICO	FORMAÇÃO/REGISTRO PROFISSIONAL	RESPONSABILIDADE NO RELATÓRIO
Ana Paula Bueno	Bióloga, CRBio 062303/04-D	Bioespeleologia - Relatório final
André Henrique de Souza	Geógrafo, CREA MG 185.787/D	Coordenador de projeto; Geoespeleologia; escrita de relatório
Augusto Sarreiro Auler	Geólogo, CREA MG 72.076/D	Coordenação geral
Juliana Rodrigues da Silva	Geógrafa, CREA MG 126591/D	Geoespeleologia
Lígia Maria Saback Moreira Dornellas	Bióloga, CRBio 093.308/04-D	Revisão do relatório
Matheus Luis S. Oliveira	Estagiário em Geologia	Auxílio na escrita do relatório
Rafael Igino Ferreira Cruz	Geógrafo, CREA MG 177.057/D	Coordenação e elaboração cartográfica
Sílvio Muniz	Auxiliar de espeleologia	Topografia e auxílio em campo
Tatiana Aparecida Souza	Geógrafa, CREA MG 132.603/D	Revisão do relatório
Thiago Lima	Geógrafo, CREA MG 111985-D	Geoespeleologia



## RESUMO EXECUTIVO

O estudo tem o objetivo de apresentar proposta de classificação de relevância para dez cavidades inseridas na área de estudo espeleológico do projeto Sistema de Disposição de Rejeito (SDR) - Cava de Alegria Sul. A realização da classificação de relevância visa atender a condicionante 9 do Parecer Único - 1296828/2017, que solicita a apresentação deste estudo para estas cavidades. As cavidades C1, C2, C3 e C4, também inseridas na área de estudo, já apresentam relevância aprovada pelo órgão ambiental (Parecer Único 0129/2014).

A análise de relevância foi baseada nos grupos de atributos estabelecidos no Anexo II da IN MMA Nº 02/2017. Considerando o grupo de atributos relacionado a presença de água, citada no referido anexo, metade das cavidades apresentou significância devido a presença de aporte de água, oriunda de descontinuidades estruturais e mesofeições como canalículos. Ainda considerando os grupos de atributos estabelecidos na legislação, a maior parte das cavidades apresenta valores classificatórios significativos para os parâmetros espeleométricos quando comparadas com outras cavidades das amostras local e regional. Entretanto, não foi considerada significativa, para o grupo de informações considerado, a ocorrência de sedimentação química e clástica, bem como não foram observados atributos de interesse científico. As cavidades não estão conectadas a nenhum sistema cárstico e não apresentam importância histórico-cultural (conforme demonstra estudo arqueológico específico realizadas em todas as cavidades consideradas).

No âmbito biospeleológico, o inventário faunístico nas dez cavidades derivou em um total de 154 morfoespécies, distribuídas em 24 grupos de fauna. A amostragem resultou em uma fauna diversificada, sendo que todos os grupos coletados possuem representantes de ocorrência comum ao ambiente subterrâneo, ainda que essa presença possa ser considerada apenas acidental. Cinco morfótipos pertencentes às ordens Collembola, Araneae e Opiliones foram considerados como espécies novas. Em adição, nas cavidades avaliadas foram encontrados organismos com características troglomórficas relacionadas ao isolamento no ambiente subterrâneo. Tais representantes, pertencentes às ordens Araneae e Collembola, foram categorizados como troglóbios, porém não se enquadraram nos *status* de raro, endêmico ou relictos.

Ao final, na escala local, todas as cavidades apresentaram importância significativa, enquanto que, na escala regional, 70% das cavidades foram consideradas como de importância acentuada. A proposta de classificação de relevância demonstrou que 30% das cavidades apresentam relevância média, enquanto que 70% exibe relevância alta.

## RESUMO COLOQUIAL

A classificação de relevância de dez cavidades do projeto Sistema de Disposição de Rejeito (SDR) - Cava de Alegria Sul se fundamentou na metodologia estabelecida na IN MMA Nº02/2017. Por fim, sete cavidades foram consideradas de alta relevância e três são de relevância média.

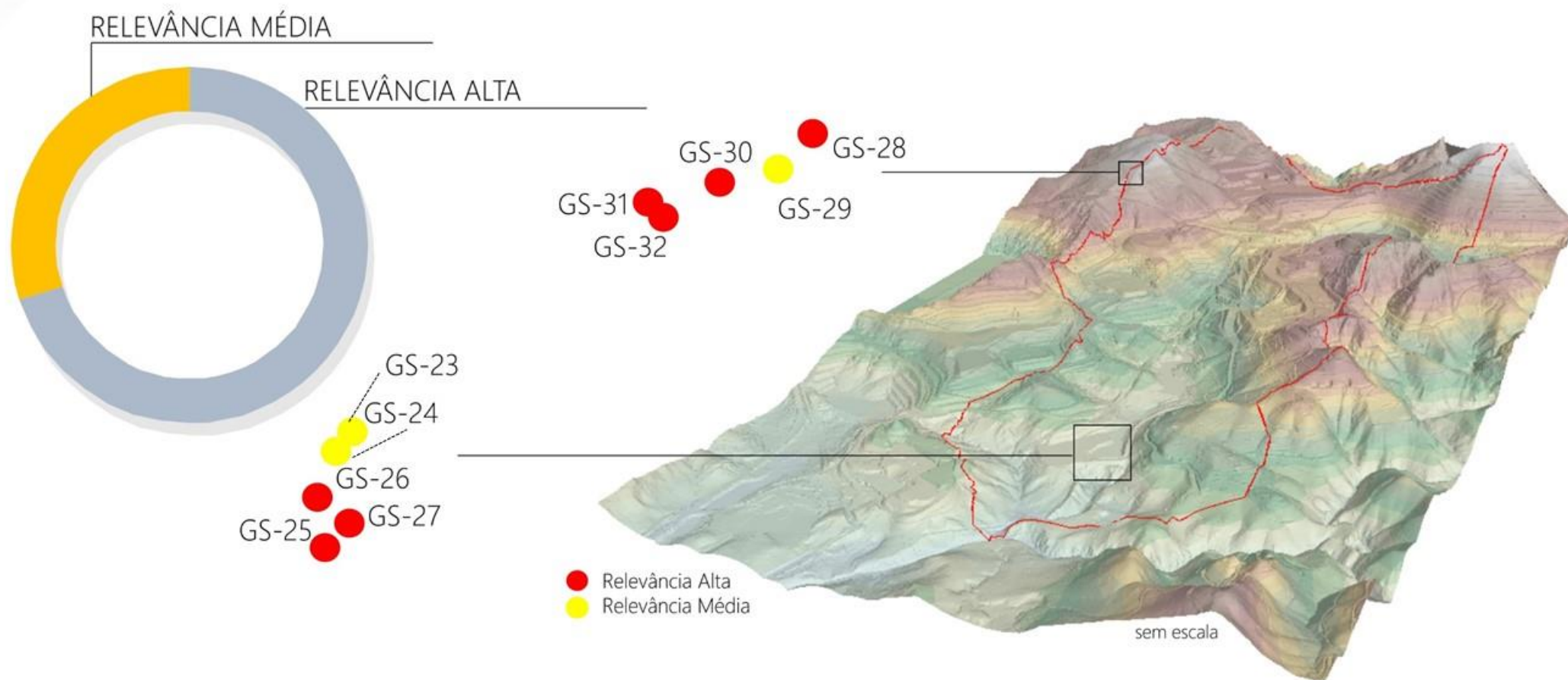
# RESUMO GRÁFICO

GRUPOS DE ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS - ESCALA REGIONAL

ESPELEOMETRIA ECOSISTEMA CAVERNÍCOLA OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES HIDROLOGIA

GRUPOS DE ATRIBUTOS SIGNIFICATIVOS - ESCALA LOCAL

ESPELEOMETRIA HIDROLOGIA OCORRÊNCIA DE ESPÉCIES SEDIMENTAÇÃO QUÍMICA E CLÁSTICA ECOSISTEMA CAVERNÍCOLA



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
2.1. ESPELEOTOPOGRAFIA .....	14
2.2. ANÁLISE DE RELEVÂNCIA .....	17
2.2.1. GEOESPELEOLOGIA .....	17
2.2.1.1. Análise litoestrutural .....	17
2.2.1.2. Análise morfológica e espeleométrica .....	18
2.2.1.3. Hidrologia .....	18
2.2.1.4. Depósitos clásticos, químicos e orgânicos .....	18
2.2.1.5. Levantamento de hipóteses genéticas .....	18
2.2.1.6. Aspectos socioeconômicos e histórico-culturais .....	18
2.2.2. BIOESPELEOLOGIA .....	19
2.2.2.1. Sazonalidade amostral .....	19
2.2.2.2. Atividades de campo .....	20
2.2.2.3. Atividades de laboratório .....	21
2.2.2.4. Análises .....	22
2.3. ANÁLISE DE RELEVÂNCIA .....	24
2.3.1.1. Escalas de análise .....	24
2.3.1.2. Grau de relevância .....	24
<b>3. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E DE INSERÇÃO DAS CAVIDADES .....</b>	<b>26</b>
3.1. AMBIÊNCIA GEOLÓGICA E DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA .....	26
3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E DE INSERÇÃO DAS CAVIDADES .....	30
3.3. CONTEXTO HIDROLÓGICO REGIONAL .....	36
<b>4. DIAGNÓSTICO ESPELEOLÓGICO E ANÁLISE DE RELEVÂNCIA .....</b>	<b>38</b>
4.1. DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE ANÁLISE .....	38
4.2. ATRIBUTOS DE RELEVÂNCIA ALTA, MÉDIA E BAIXA .....	40
4.2.1. Atributos relacionados ao ecossistema cavernícola nas escalas regional e local .....	40
4.2.2. Atributos relacionados à ocorrência de espécies nas escalas regional e local .....	52

4.2.3.	Atributos relacionados à sedimentação química e clástica na escala local.....	59
4.2.4.	Atributos relacionados à hidrologia nas escalas regional e local.....	66
4.2.5.	Atributos relacionados à espeleometria nas escalas regional e local.....	69
4.2.6.	Atributos relacionados a interesse científico na escala local.....	74
4.2.7.	Atributos relacionados aos geossistemas.....	75
4.2.8.	Atributos histórico-culturais e socioeconômicos na escala local.....	75
4.3.	<b>ATRIBUTOS DE RELEVÂNCIA MÁXIMA.....</b>	<b>76</b>
4.3.1.	Gênese única ou rara.....	76
4.3.2.	Morfologia única.....	76
4.3.3.	Dimensões notáveis em extensão, área e/ou volume.....	78
4.3.4.	Espeleotemas únicos.....	79
4.3.5.	Isolamento geográfico.....	79
4.3.6.	Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais.....	79
4.3.7.	Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos.....	80
4.3.8.	Habitat de troglóbio raro.....	80
4.3.9.	Interações ecológicas únicas.....	80
4.3.10.	Cavidade testemunho.....	80
4.3.11.	Destacada relevância histórico cultural ou religiosa.....	80
5.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>81</b>
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>86</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização das cavidades do estudo.....	13
Figura 2.	Medição da projeção horizontal de acordo com o método da descontinuidade.....	15
Figura 3.	Medição do desnível da caverna (A); Medição da área da caverna desconsiderando as áreas dos pilares (B).....	16
Figura 4.	Cálculo do volume de uma caverna a partir da altura média das seções verticais.....	17
Figura 5.	Aspectos físicos da cavidade e seu entorno avaliados no diagnóstico geoespeleológico.....	19

Figura 6. Dados pluviométricos (média mensal entre os anos 2008 a 2014) das estações meteorológicas de superfície EM_WH02, EM_WH03, EM_WH04, EM_WH05 localizadas na área do empreendimento da Samarco Mineração (FONTE: Agroflor, 2014).....	20
Figura 7. Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas, segundo a instrução normativa nº 02/2017 (Brasil 2009).....	26
Figura 8. Geologia da área de estudo.....	27
Figura 9. Características litológicas das cavidades: Minério de ferro alterado, recoberto por material fotossintetizante na cavidade GS-24 (A); Minério de ferro, com lâminas hematíticas de dimensões milimétricas intercaladas com vazios residuais, ocasionalmente preenchidas por matriz argilo-ferruginosa na cavidade GS-23 (B); Canga detritica, alterada superficialmente com clastos cimentados por matriz argilosa na caverna GS-28 (C); Canga observada na cavidade GS-29, composta por clastos de tamanho calhau e matacão (D).....	28
Figura 10. Lineamentos estruturais mapeados na região.....	29
Figura 11. Diagrama de rosetas para os lineamentos interpretados a partir da imagem SRTM da região onde estão inseridas as cavernas e suas proximidades.....	30
Figura 12. Diagrama de rosetas para planos de fratura medidos nas cavidades.....	30
Figura 13. Representação das áreas rebaixadas na porção setentrional da área de estudo contemplando as duas unidades morfológicas.....	31
Figura 14. Perfil topográfico da área de estudo.....	32
Figura 15. Representação tridimensional do contexto morfológico de inserção das cavidades GS-23 a GS-27.....	33
Figura 16. Representação das entradas das cavidades. Cavidade GS-23 (A); Cavidade GS-27 (B); Caverna GS-24 (C); Cavidade GS-26, localizada na calha do Córrego Macacos (D).....	34
Figura 17. Representação tridimensional do contexto morfológico de inserção das cavidades GS-28 a GS-32.....	35
Figura 18. Representação das entradas principais das cavidades inseridas na encosta de platô de canga. Cavidade GS-29 (A); Caverna GS-28 (B); Cavidade GS-30 (C); Caverna GS-31.....	36
Figura 19. Hidrografia da área de estudo.....	37
Figura 20. Representação das escalas regional e local consideradas no estudo de relevância.....	39
Figura 21. Riqueza de espécies por estação sazonal de amostragem.....	40
Figura 22. Riqueza de morfótipos, por grupo taxonômico, amostrada nas cavidades inventariadas.....	41
Figura 23. Filos amostrados no projeto e proporção das classes de Arthropoda coletados.....	42
Figura 24. Frequência de coleta nos grupos faunísticos inventariados.....	43
Figura 25. Curva de acumulação de espécies elaborada a partir do número real de espécies coletadas. S(est) = Riqueza Estimada Jackknife 1; e S(obs) = Riqueza Observada.....	44
Figura 26. Curva de acumulação de espécies elaborada com a exclusão de <i>singletons</i> do universo amostral. S(est) = Riqueza Estimada Jackknife 1; e S(obs) = Riqueza Observada.....	45
Figura 27. Representantes da classe Arachnida: Corinnidae na zona de entrada, cavidade GS-26, estação úmida (A); Agregado de opiliões jovens da família Gonyleptidae, cavidade GS-28 (B).....	46



Figura 28. Representantes da classe Insecta: Parte do duto de isópteros <i>Nasutitermes</i> no piso, cavidade GS-31 (A); Grilo falangopsídeo macho jovem <i>Endecous</i> sp., cavidade GS-28 (B); .....	48
Figura 29 Representante da classe Amphibia: <i>Scinax</i> gr. <i>ruber</i> , cavidade GS-31.....	49
Figura 30. Vista dorsal de um exemplar de Ochyroceratidae sp.n.1, Mariana, MG.....	54
Figura 31. Distribuição de Ochyroceratidae sp.n.1 em distintas unidades geomorfológicas.....	58
Figura 32. Tipologia de espeleotemas encontrado nas cavidades de estudo.....	60
Figura 33. Tipologias de espeleotemas visualizadas nas cavidades do estudo. Observa-se crosta branca, delgada, associada a coraloides de ponta arredondada na cavidade GS-25 (A); Escorrimento na cavidade GS-28 (B); Crosta ferruginosa delgada na cavidade GS-28 (C); Crosta ferruginosa na caverna GS-30 (D); Crosta amarelada, delgada, observada nas paredes e teto da cavidade GS-31 (E); Crosta alaranjada na cavidade GS-30 (F).....	62
Figura 34. Granulometria predominante nas cavidades do estudo.....	63
Figura 35. Ocorrência de formas de deposição nas cavidades: Cone de sedimentos na cavidade GS-25 (A); Rampa de sedimentos na caverna GS-31.....	64
Figura 36. Caracterização dos sedimentos clásticos. Predomínio de sedimentos de matacões e calhau no piso da cavidade GS-30 (A); Sedimentos de granulometria grosseira no piso da cavidade GS-32 (B); Matacões de dimensões métricas na cavidade GS-30 (C); Sedimentos aluviais na cavidade GS-24 (D); Sedimentos de granulometria fina na cavidade GS-23 (E).....	65
Figura 37. Atributos que favorecem o aporte hidrossedimentar para o interior das cavidades. Pouca espessura do pacote rochoso de inserção das cavidades, localizando-se próximo a superfície favorece a entrada de água, como no caso da caverna GS-28 (A); e aporte condicionado a estruturas - cavidade GS-24 (B).....	66
Figura 38. Tipologias de feições hidrológicas visualizadas nas cavidades de estudo .....	67
Figura 39. Exemplo de feições hidrológicas nas cavidades do estudo. Percolação associada à pequena abertura na parede da cavidade GS-28 (A); Gotejamento e percolação na cavidade GS-31 (B); Percolação na cavidade GS-32 (C); .....	68
Figura 40. <i>Boxplots</i> dos parâmetros espeleométricos das cavidades da área de estudo.....	71
Figura 41. Classes espeleométricas para a escala local e espeleometria das cavidades .....	72
Figura 42. Classes espeleométricas para a escala regional e espeleometria das cavidades .....	74
Figura 43. Padrão planimétrico das cavernas de estudo. Exemplos representativos de cada categoria: GS-30 (A); GS-27 (B); GS-23 e GS-24 (D) .....	77
Figura 44. Exemplo de mesofeições visualizadas nas cavidades do estudo. Patamares nas cavidades GS-24 (A); e GS-25 (B); Ocorrência de canalículo nas cavernas GS-28 (C) e GS-24 (D).....	78
Figura 45. Resultado final da análise de relevância por grupos de atributos na escala local .....	82
Figura 46. Resultado final da análise de relevância por grupos de atributos na escala regional.....	83
Figura 47. Classificação de relevância das cavidades de estudo.....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de localização e espeleometria das cavernas alvo de estudo de relevância .....	14
Tabela 2. Riqueza total de morfoespécies ( <i>S</i> -Total) para as cavidades da amostra local e classificação do atributo para as cavidades incluídas do projeto.....	51
Tabela 3. Diversidade de espécies e classificação do atributo .....	52
Tabela 4. Número de indivíduos de <i>Collembola troglóbios</i> registrados nas cavidades do projeto e demais localidades de ocorrências .....	56
Tabela 5. Número de indivíduos de <i>Ochyroceratidae sp.n.1</i> ocorrentes nas cavidades inseridas em empreendimentos da Samarco .....	56
Tabela 6. Estatística descritiva dos parâmetros espeleométricos considerados.....	70
Tabela 7. Valores classificatórios para a espeleometria considerando a escala local.....	72
Tabela 8. Valores classificatórios para a espeleometria considerando a escala regional.....	73
Tabela 9. Critérios para a classificação no atributo dimensões notáveis .....	79
Tabela 10. Classificação de relevância das cavidades de estudo .....	84

## QUADROS

Quadro 1. Morfótipos categorizados como táxons novos e respectivas distribuições nas cavidades avaliadas.....	53
<b>Quadro 2. Distribuição das morfoespécies consideradas troglóbias .....</b>	<b>53</b>
<b>Quadro 3. Ocorrência de <i>Ochyroceratidae sp.n.1</i> .....</b>	<b>55</b>
Quadro 4. Tipos de espeleotemas registrados nas cavernas estudadas.....	61
Quadro 5. Cavidades que apresentam água de percolação e gotículas de condensação .....	69
Quadro 6. Resultado do levantamento arqueológico (histórico, cultural e religioso) nas cavidades do estudo (LUME 2018) .....	81

## ANEXOS

ANEXO I - GUIAS DE ENVIO DE MATERIAL BIOLÓGICO ÀS INSTITUIÇÕES DEPOSITÁRIAS

ANEXO II – LISTA DE ESPÉCIE

ANEXO III – MAPA TOPOGRÁFICO DAS CAVIDADES

ANEXO IV – QUADRO SÍNTESE DE CAVIDADES

ANEXO V – AMOSTRA REGIONAL E LOCAL

ANEXO VI – RELATÓRIO DE ARQUEOLOGIA



ANEXO VII – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA CLASSIFICAÇÃO DE RELEVÂNCIA

ANEXO VIII – ARTs

## 1. INTRODUÇÃO

O presente documento tem como objetivo apresentar proposta de classificação de relevância para 10 cavidades inseridas na área de estudo espeleológico (Área diretamente afetada + 250 m) do projeto Sistema de Disposição de Rejeito (SDR) - Cava de Alegria Sul (COPAM 15476/2016/001/2016). Este empreendimento pertence à mineradora Samarco e está localizado no município de Mariana, Minas Gerais (Figura 1 e). A etapa que envolve o julgamento e aprovação do pedido de Licença Prévia concomitante com Licença de Instalação (LP+LI) foi finalizada e deferida por meio do Parecer Único 1296828/2017. A realização da classificação de relevância visa atender a condicionante 9 do referido parecer, que determina:

*“Condicionante 9: Apresentar estudo de classificação da relevância das cavidades GS-23, GS-24, GS-25, GS-26, GS-27, GS-28, GS-29, GS-30, GS-31 e GS-32” (Parecer Único nº 1296828/2017).*

A classificação de relevância das cavidades C1, C2, C3 e C4, também inseridas na área do projeto, já foi apresentada e aprovada pelo órgão ambiental (Parecer Único 0129/2014). Em 2008, estas cavidades foram cadastradas pela empresa Brandt Meio Ambiente Ltda (BMA) durante prospecção espeleológica realizada no âmbito do projeto de “Ampliação da Cava de Alegria E” (processo COPAM nº 015/1984/059/2007). As etapas seguintes envolveram estudos geoespeleológico e bioespeleológico, que indicaram que as mesmas são de relevância alta (Carste 2009). As cavidades alvo do estudo de relevância, bem como a apresentação dos parâmetros espeleométricos são anunciados na Tabela 1.

Especificamente, este estudo objetiva:

- Analisar e interpretar os aspectos físicos das cavidades incluindo a morfologia; aspectos espeleométricos; litologia e estruturas; processos hidrológicos; depósitos clásticos, químicos e orgânicos; e aspectos espeleogenéticos que podem sugerir a origem e a evolução das cavernas;
- Analisar os aspectos bióticos das cavidades inseridas na área de estudo, incluindo as características do ambiente cavernícola; a diversidade e composição dos substratos orgânicos; e a fauna associada ao ambiente subterrâneo, com destaque para os organismos com características indicativas de troglomorfismo;
- Analisar questões socioeconômicas e culturais envolvendo as cavidades, baseada em diagnóstico arqueológico;
- Classificar as cavernas segundo os graus de relevância estabelecidos pelo Decreto Federal Nº 6640/2008 e pela IN MMA Nº 02/2017.

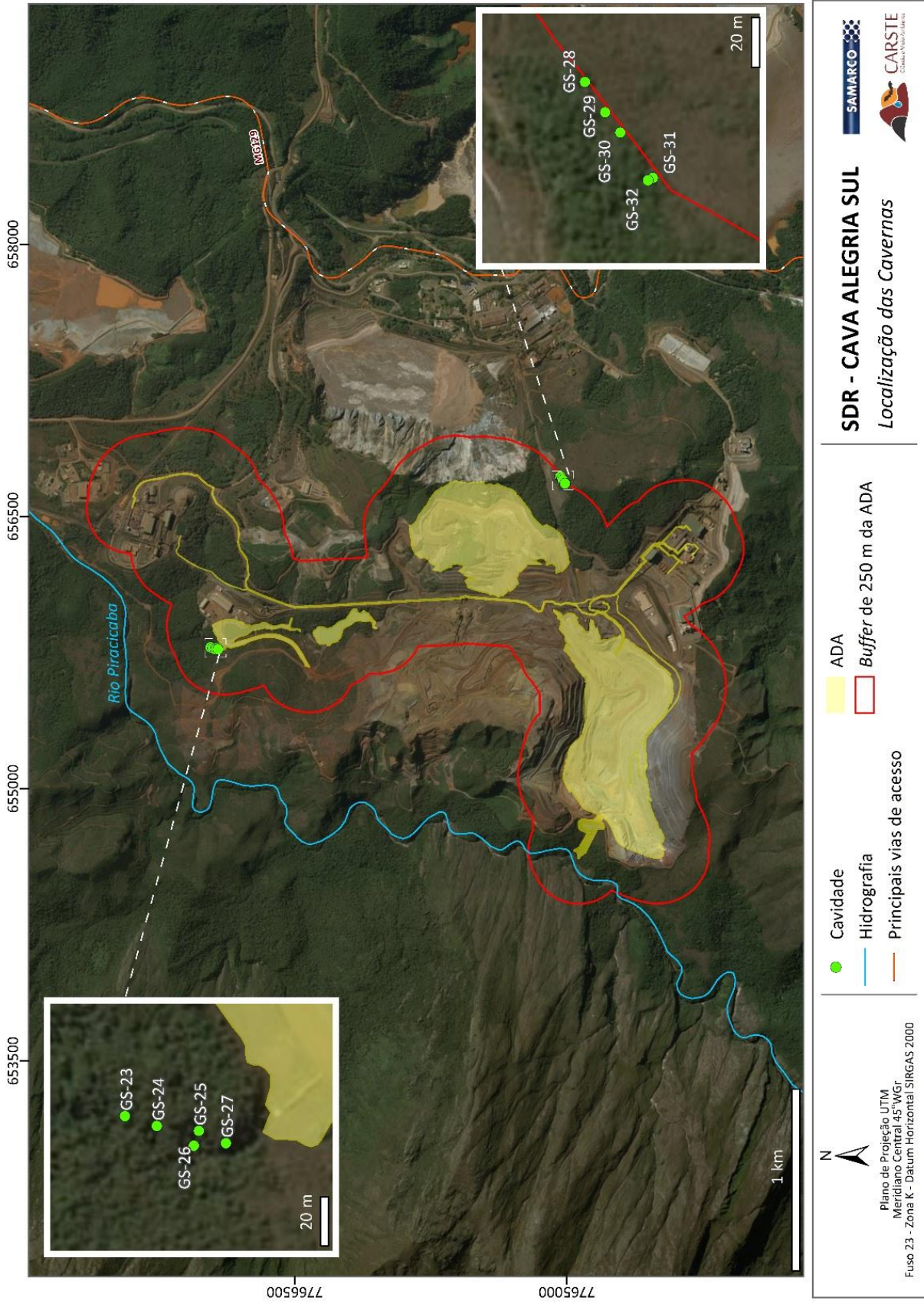


Figura 1. Localização das cavernas do estudo

Tabela 1. Dados de localização e espeleometria das cavernas alvo de estudo de relevância

Caverna	Altitude (m)	Projeção Horizontal (m)	Desnível (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume estimado (m <sup>3</sup> )	Altura da entrada (m)
GS-23	957	8,8	1,9	17,0	32	2,9
GS-24	961	8,5	1,0	16,0	24	2,8
GS-25	972	9,8	8,0	16,0	26	1,7
GS-26	945	17,0	1,5	86,0	167	3,2
GS-27	969	8,9	1,2	8,0	5	1,0
GS-28	972	23,2	1,5	53,0	55	1,2
GS-29	1214	12,2	0,0	17,0	18	2,1
GS-30	1219	10,6	1,9	16,0	10	1,3
GS-31	1227	19,5	0,9	42,0	41	2,5
GS-32	1225	7,7	1,2	15,0	40	3,8

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. ESPELEOTOPOGRAFIA

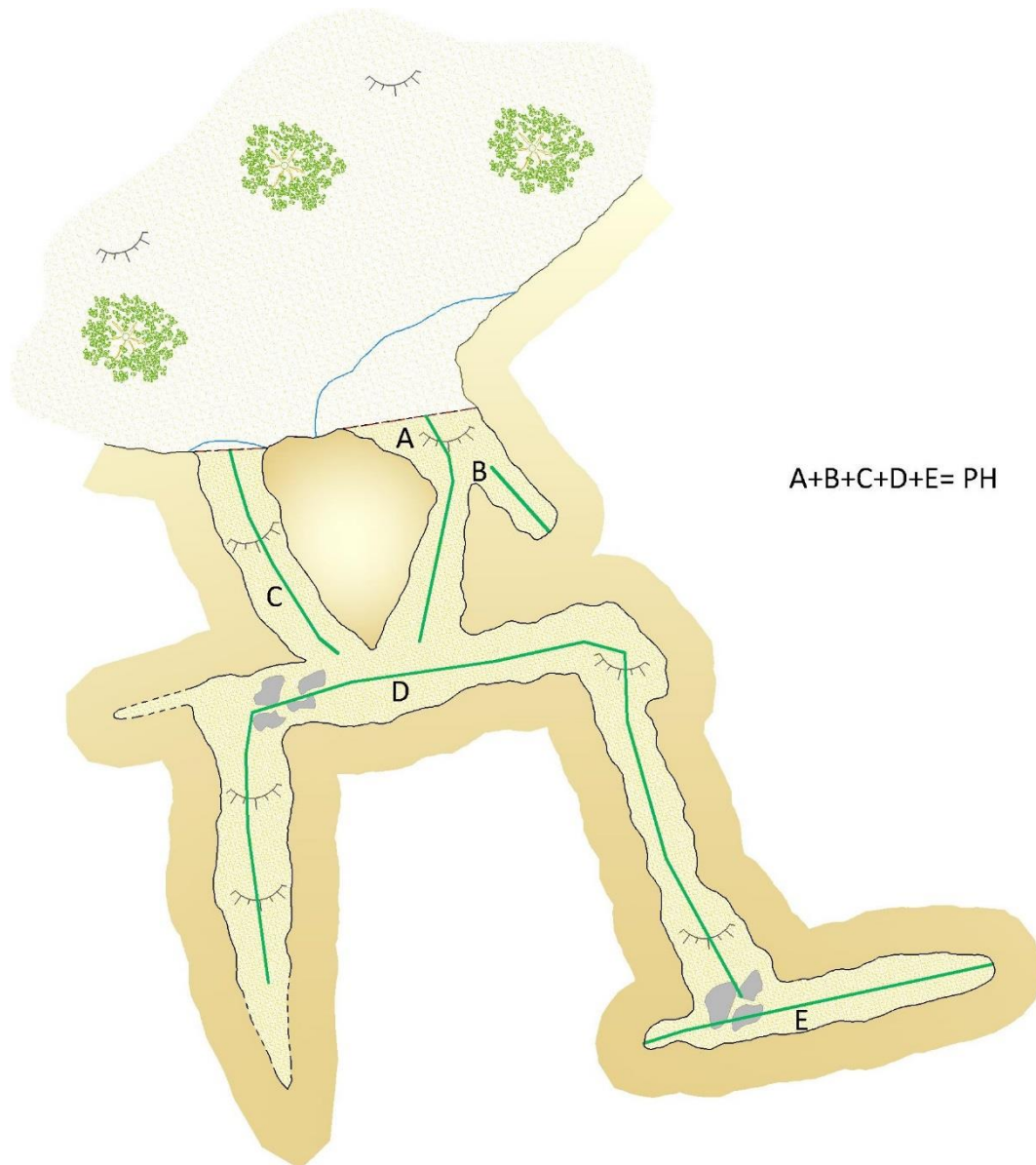
A espeleotopografia das cavernas em rochas ferríferas utilizou a bússola *Suunto KB-14* e *clinômetro Suunto PM-5*, além de trena laser *Leica Disto A3*. Medidas entre as bases topográficas ocorreram sempre que foram detectadas alterações na morfologia da caverna. O caminhamento da topografia seguiu o método de bases fixas.

Os dados da topografia foram tratados no software *OnStation* (versão 3.2, 2012), permitindo assim a visualização das linhas de trena em diferentes perspectivas. A declinação magnética foi obtida através do software *Geomag* (versão 3, 2010). A cartografia final foi realizada em software de plataforma *CAD* (AutoCAD 2012). As linhas de trena foram declinadas e georreferenciadas. Nesse programa, foram finalizados os itens da planta baixa, como contorno de paredes, plano da seção inicial, linha d'água, entre outros, e também desenhadas as seções transversais e perfis longitudinais. Nesta etapa, ainda foram calculados os atributos espeleométricos das cavernas, incluindo projeção horizontal (método da descontinuidade, descrito a seguir), desnível, área e volume estimado.

Ademais, a determinação da precisão do levantamento topográfico é importante para identificação do grau de detalhe da representação das características das cavidades. O sistema *British Cave Research Association – BCRA* é o mais utilizado nos mapeamentos de cavidades e suas especificações em relação ao grau de precisão para a linha central da topografia e do detalhamento dos condutos. O grau de precisão dos mapas deste estudo atingiu 4C (Day 2002).

Especificamente, para o cálculo da projeção horizontal, utiliza-se o princípio da descontinuidade (Chabert e Watson 1981; Rubbioli e Moura 2005), que desconsidera a largura dos condutos no cálculo final. Deste modo, a soma do comprimento de um conduto é feita em seu eixo central. No cruzamento entre dois

condutos, essa medição é interrompida de modo a não incluir o comprimento lateral do novo conduto (Figura 2). Os canalículos que possuem uma entrada que permita a passagem apenas de membros superiores e ou inferiores do corpo humano são desconsiderados no cálculo de projeção horizontal, sendo representados no mapa com uma linha tracejada (contorno inferido).

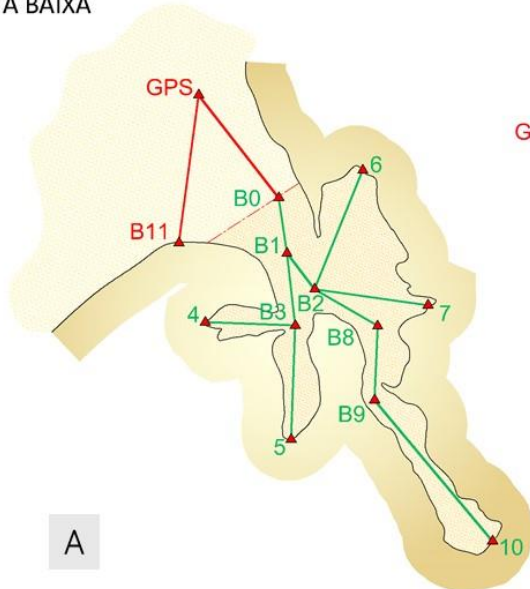


**Figura 2. Medição da projeção horizontal de acordo com o método da descontinuidade**

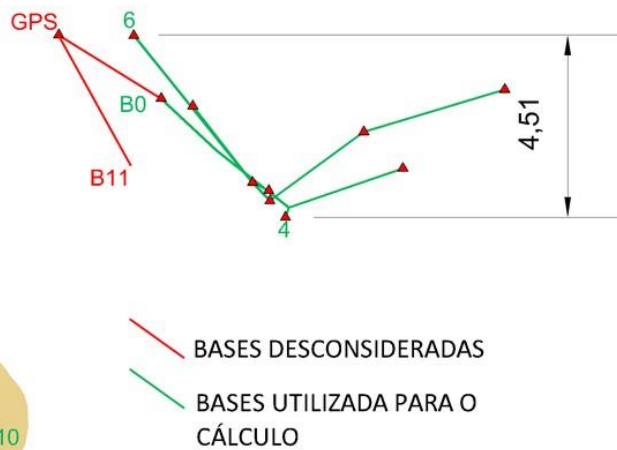
Já o desnível é o resultado da diferença altimétrica das bases topográficas que estão após a seção inicial (Figura 3 A). Na etapa de campo, as bases visadas acima do nível do piso tiveram sua altura registrada. No caso de patamar, paleopiso ou nível superior, a altura também é considerada no cálculo do desnível. Por sua vez, a área é obtida a partir da planta baixa das cavernas, por meio do software AutoCAD (2012). Em caso de ocorrência de pilares, colunas de grande diâmetro e blocos com dimensões consideráveis

(esses observando em conjunto com as seções e perfis) as suas áreas foram calculadas individualmente e subtraídas do valor total (Figura 3 B). Em planta baixa, o nível superior é apenas indicado.

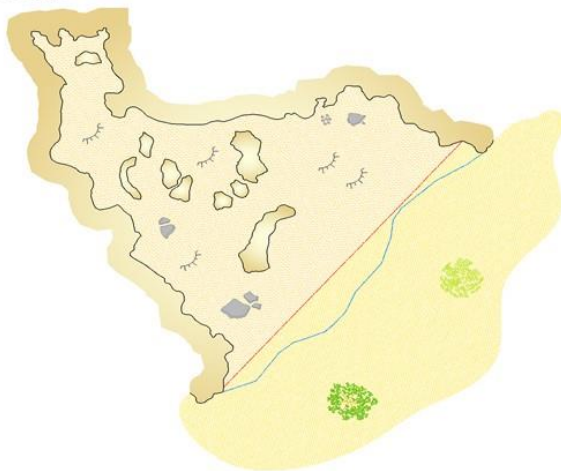
PLANTA BAIXA



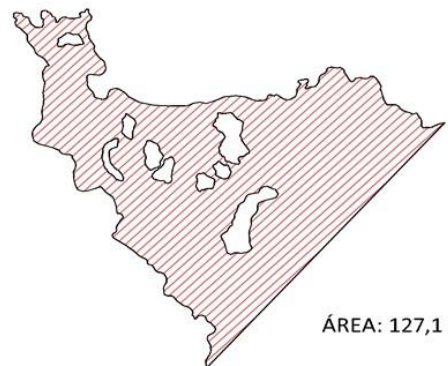
VISÃO EM PERSPECTIVA



PLANTA BAIXA



ÁREA CALCULADA



$$A = At - Ap$$

A = Área da planta baixa  
At = Área total  
Ap = Área dos pilares

**Figura 3. Medição do desnível da caverna (A); Medição da área da caverna desconsiderando as áreas dos pilares (B)**

O volume, por sua vez, é o produto entre a área total da caverna estudada e a soma da altura média de seus condutos e salões com a quantidade de seções. Para a obtenção da altura média, é necessário que sejam feitas seções em pontos representativos da caverna onde existam mudanças morfológicas do piso, do teto e/ou das paredes. Para que se calcule um valor mais próximo da realidade são feitas seções longitudinais sempre no eixo central do conduto e o maior número possível de seções transversais. Quanto mais seções forem consideradas, maior será a precisão no cálculo do volume (Figura 4).



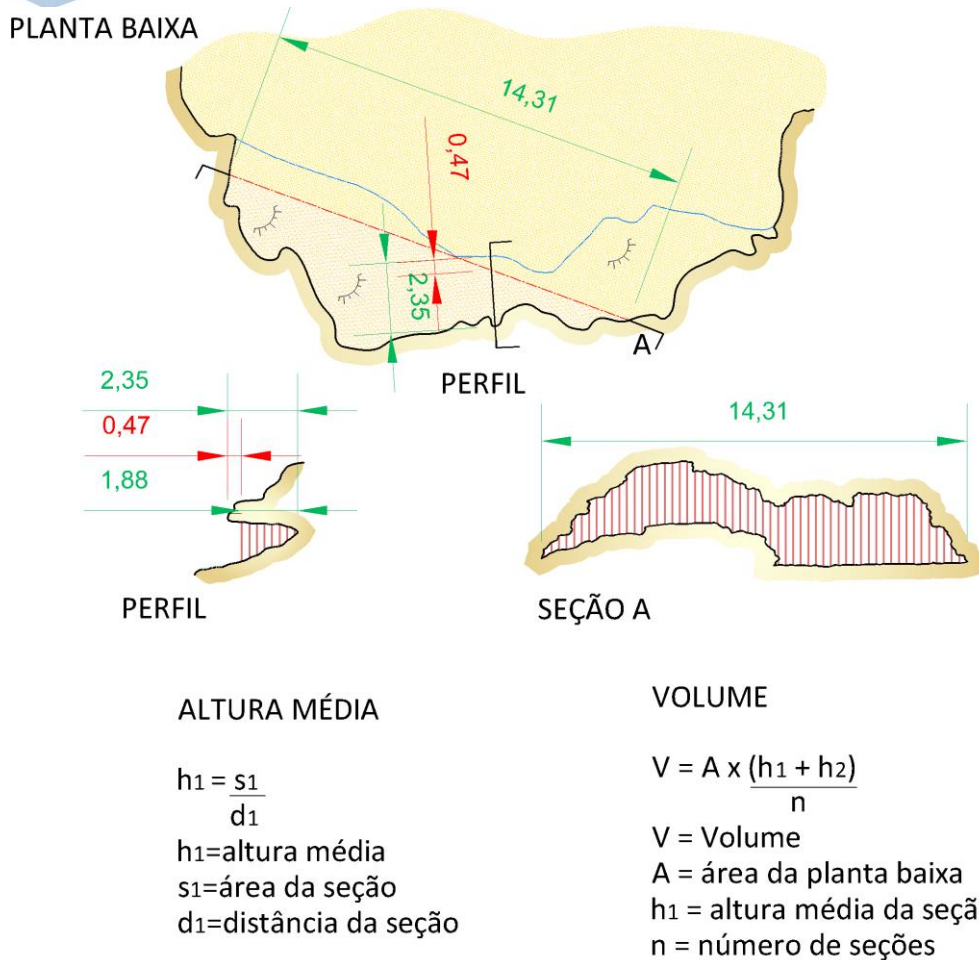


Figura 4. Cálculo do volume de uma caverna a partir da altura média das seções verticais

## 2.2. ANÁLISE DE RELEVÂNCIA

### 2.2.1. GEOESPELEOLOGIA

As campanhas de campo para os estudos geoespeleológicos das cavidades ocorreram no mês de maio de 2011. Posteriormente, no mês de janeiro de 2018, foi realizada campanha complementar para atualização e conferências dos seguintes itens: análise estrutural, caracterização hidrológica e dos depósitos clásticos.

#### 2.2.1.1. Análise litoestrutural

A caracterização da litologia buscou identificar o litotipo no qual a cavidade desenvolve-se. Estruturas como bandamento, fraturas, juntas de alívio, dobras e falhas presentes foram descritas e, quando possível, medidas. As estruturas geológicas podem representar discontinuidades importantes que condicionam a circulação de fluidos no interior do maciço rochoso, além de intervir direta ou indiretamente nos processos de gênese e desenvolvimento das cavidades. Muitas vezes, tais estruturas controlam a morfologia das cavidades, além de condicionarem processos de abatimentos em paredes e teto. As medidas das estruturas foram tomadas com bússola de marca *Brunton Geo*, modelo DF5008. Para a interpretação dos

dados, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto com o *software* Qgis para a extração dos lineamentos regionais a partir de sombreamentos do relevo (*hillshade*) em diferentes angulações do sol. De forma a complementar foram gerados diagrama de roseta e histograma no *software* *Open Stereo* (Grohmann et al 2010).

#### 2.2.1.2. Análise morfológica e espeleométrica

Na análise morfológica, buscou-se interpretar o padrão planimétrico da cavidade, bem como as macro, meso e micro formas em seu interior, correlacionando-as aos dados estruturais e litológicos. Utilizou-se a planta baixa e as seções transversais e longitudinais da cavidade, uma vez que suas formas estão diretamente relacionadas aos processos de gênese e evolução, além de registro de feições *in loco*.

A cavidade foi também avaliada quanto às suas dimensões, nos critérios de projeção horizontal, desnível, área e volume, utilizando-se a escala métrica. Os dados dimensionais foram estatisticamente tratados, espacialmente localizados e comparados com amostras locais e regionais, conforme preconiza a legislação espeleológica utilizada para avaliar a relevância de cavernas.

#### 2.2.1.3. Hidrologia

Com o objetivo de caracterizar a dinâmica hidrológica da cavidade, foi avaliada a presença de processos e feições hidrológicas ou vestígios relacionados a essas feições. Esses foram descritos quanto a sua intensidade, localização na caverna, dimensão das feições, e sua periodicidade de ocorrência foi estimada com base nos registros do mapa topográfico da caverna.

#### 2.2.1.4. Depósitos clásticos, químicos e orgânicos

Depósitos de sedimentos clásticos foram classificados conforme sua granulometria e descritos de modo a fornecer pistas sobre sua origem e sedimentação. Os depósitos orgânicos também foram descritos de forma breve, quando existentes. Os depósitos químicos (espeleotemas) foram identificados, fotografados e descritos individualmente, por tipo.

#### 2.2.1.5. Levantamento de hipóteses genéticas

Com base nas principais referências bibliográficas sobre a gênese de cavernas ferríferas e na análise e correlação dos atributos físicos, a espeleogênese foi discutida, considerando especialmente os possíveis fatores controladores e os indicadores da evolução.

#### 2.2.1.6. Aspectos socioeconômicos e histórico-culturais

O julgamento deste aspecto foi baseado em estudos arqueológicos específicos na qual se avaliaram as condições de habitabilidade das cavidades, bem como o apontamento de manifestações arqueológicas e a probabilidade de ocorrência destas (Lume 2018). Ademais, a presença de fragmentos cerâmicos e líticos, assim como o uso religioso e histórico, também foram avaliados no referido trabalho (LUME 2018).

A Figura 5 sintetiza os aspectos físicos da caverna e de seu entorno que são utilizados na construção do diagnóstico geoespeleológico.



**Figura 5. Aspectos físicos da cavidade e seu entorno avaliados no diagnóstico geoespeleológico**

### 2.2.2. BIOESPELEOLOGIA

Com a publicação da nova legislação espeleológica, Instrução Normativa MMA nº 02/2017, fez necessária uma nova abordagem dos dados coletados em campo e análise dos atributos de relevância, no que tange os aspectos biológicos das cavidades do projeto. Além desta alteração neste dispositivo legal, a evolução do conhecimento científico sobre a fauna cavernícola tem sido constante nos últimos dez anos. Sendo assim, diante deste novo cenário, houve a necessidade de reorganização do diagnóstico espeleológico, a partir dos dados inventariados sob a coordenação da Carste desde o início da concepção deste projeto.

Ainda, foram incluídas, no presente estudo, atualizações a respeito da diversidade e distribuição das morfoespécies troglóbias e do cálculo de riqueza, além da inclusão da análise do atributo "Diversidade de espécies", conforme alteração na legislação vigente.

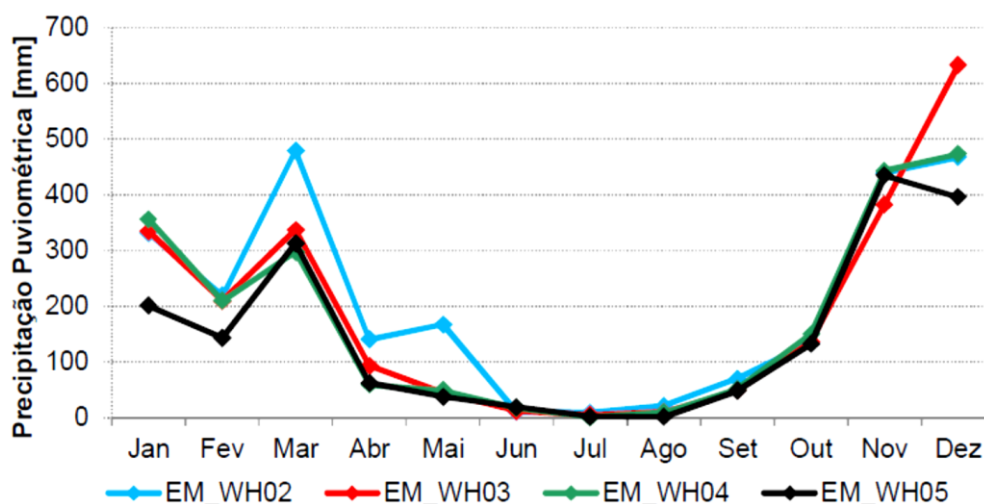
É de suma importância ressaltar que a metodologia de coleta e as identificações do material biológico não foram modificadas, mas, somente analisadas "sob a luz" do cenário atual.

#### 2.2.2.1. Sazonalidade amostral

As cavidades em análise foram inventariadas nos dias 28 de janeiro e 01 de fevereiro de 2011, compreendendo a amostragem da estação úmida e em 08 de junho de 2011 referente à coleta da estação seca.

A Figura 6 apresenta o histórico das médias mensais de precipitação pluviométrica retiradas das Estações Meteorológicas localizadas nos empreendimentos da Samarco. Os dados foram coletados de hora em hora durante o período de maio/2008 a abril/2014 para as Estações EM\_WH2, EM\_WH3, EM\_WH4 e durante o período de dezembro/2009 a abril/2014 para a estação EM\_WH05 (Agroflor, 2014).

A avaliação histórica (2008 a 2014) dos dados meteorológicos da região do empreendimento indicou a presença de períodos bem definidos de seca e chuva. O período chuvoso compreende os meses de novembro a março, o que é esperado para o sudeste brasileiro que apresenta os meses de verão, ou meses próximos ao verão, com índices pluviométricos mais elevados. A estação seca no município de Mariana abrange os meses de maio a setembro. Principalmente de junho a agosto praticamente não se percebe chuva na região analisada, o que é um comportamento esperado para a região próxima à Samarco (Agroflor 2014).



**Figura 6. Dados pluviométricos (média mensal entre os anos 2008 a 2014) das estações meteorológicas de superfície EM\_WH02, EM\_WH03, EM\_WH04, EM\_WH05 localizadas na área do empreendimento da Samarco Mineração (FONTE: Agroflor, 2014).**

#### 2.2.2.2. Atividades de campo

O método de procura/captura ativa foi utilizado para a realização do inventário das espécies de invertebrados presentes nas cavidades. A procura ativa envolve a busca na maior diversidade possível de ambientes encontrados no interior das cavidades estudadas (substrato rochoso, depósitos clásticos, depósitos orgânicos). Os espécimes foram capturados manualmente, com o auxílio de pincel e pinça e acondicionados em recipientes contendo álcool 70%, para fixação e conservação. O tempo de coleta levou em consideração o tamanho e a heterogeneidade de substratos de cada cavidade, considerando, no máximo, 30 minutos por cada 10 m<sup>2</sup> de área. Ressalta-se que toda a área das cavidades foi averiguada.

Quando não coletados, registros fotográficos dos organismos foram realizados, assim como dos vestígios encontrados no interior das cavidades, para posterior identificação em laboratório. Para garantir uma maior segurança nos resultados obtidos, apenas as espécies de invertebrados cujas presenças pudessem ser comprovadas tiveram suas ocorrências catalogadas

Para a amostragem dos quirópteros, foi utilizado o método de busca ativa por meio do uso de puçás de hastes extensíveis (tamanho máximo de 3 m de comprimento). O tempo de duração do procedimento variou, sendo ele condicionado à captura das diferentes espécies de morcego visualizadas. Dessa forma, buscou-se contemplar toda a diversidade de quirópteros presente no momento das coletas.

Algumas etapas antes do início das seções de capturas foram seguidas, quais sejam: localização dos morcegos e suas colônias dentro das cavernas; espera para que os indivíduos se acostumassem com a presença da equipe coletora; realização de registro fotográfico; seleção dos espécimes a serem capturados. O tamanho de cada uma das populações foi estimado por meio de censo visual.

Os morcegos capturados foram acondicionados em sacos de algodão e posteriormente triados. Esses foram pesados, medidos com paquímetro (comprimento de antebraço), sexados e soltos após a confirmação da espécie.

Quanto aos outros vertebrados amostrados no interior das cavidades, buscou-se, através de registros fotográficos, compilar informações e/ou vestígios de forma a facilitar posteriores identificações.

Informações adicionais obtidas para os organismos registrados compreendem: número de indivíduos (realizada somente para espécies maiores que 1 cm), eventuais comportamentos e interações ecológicas observadas durante o levantamento faunístico, como predação e parasitismo.

Evidências indiretas de ocorrência de fauna, como ninhos, penas, casulos, pelos, fezes e pegadas foram também registradas.

Características do ambiente foram observadas e anotadas, sendo elas referentes basicamente às condições de luminosidade, umidade do piso, indicativos hídricos, organismos fotossintetizantes, microrganismos e fungos e à presença e às características de substratos orgânicos.

Todas as características acima relacionadas foram registradas em fichas de campo e, quando necessário, complementadas por registro fotográfico.

#### 2.2.2.3. Atividades de laboratório

Os exemplares coletados em campo foram triados em laboratório com o uso de estereomicroscópio, separados em grupos taxonômicos e posteriormente identificados com o auxílio de chaves de descrição de características morfológicas. Quando necessário, o refinamento das identificações e a análise de troglomorfismos foram efetuados com o auxílio de especialistas dos grupos taxonômicos. As fotografias dos vertebrados registradas durante as campanhas de campo subsidiaram a identificação dos mesmos.

Organismos foram individualizados como morfoespécies/morfótipos levando-se em consideração as distinções entre os aspectos morfológicos. Destaca-se que não foi realizada morfotipagem dos organismos jovens, uma vez que, tecnicamente, tal procedimento não é recomendado. Nesses casos, a identificação dos indivíduos avançou até o nível taxonômico mais seguro e o nome do morfótipo foi acompanhado pelo termo “jovem”. Da mesma forma, indivíduos observados que não tiveram uma descrição precisa em campo ou que não permitiram uma correlação com algum indivíduo morfotipado foram identificados até o nível taxonômico mais seguro e o nome do morfótipo foi acompanhado pelo termo “observado”. Para os invertebrados cujas estruturas morfológicas se apresentavam danificadas a ponto de impedir o trabalho de morfotipagem, sua identificação se deu por meio do termo “sp.”.

As instituições de depósito para o material biológico coletado são: Coleção de Aracnídeos e Miriápodes do Laboratório Especial de Coleções Zoológicas do Instituto Butantan, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo e Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. As guias de doação referentes à entrega do material biológico coletado nas cavidades do projeto às instituições depositárias encontram-se no Anexo I.

Juntamente às identificações, todos os organismos foram morfotipados e indicados quanto à presença de características morfológicas que pudessem revelar especialização decorrente no isolamento no ambiente subterrâneo, como: ausência de pigmentação, alongamento das estruturas sensoriais, ausência de olhos, etc. Além disso, ocorreu a determinação da maturidade dos indivíduos, que é condição fundamental no processo de identificação de alguns grupos (aracnídeos, insetos, etc.).

#### 2.2.2.4. Análises

O número de espécies foi definido com base nos valores de riqueza absoluta levando em consideração as estações seca e úmida. Destaca-se que tais valores foram obtidos considerando o número de morfótipos de invertebrados coletados e de invertebrados e vertebrados observados. A presença de um táxon jovem ou observado (sem identificação) foi contabilizada apenas se não ocorreu na mesma cavidade a presença de adultos com identificação mais precisa, para não superestimar o resultado. Por isso, o número de espécies indicado é considerado um número mínimo.

A estimativa de diversidade foi calculada com base na abundância absoluta de espécies de invertebrados e de vertebrados coletada e contabilizada em campo. Para tanto, correlacionou-se a riqueza de espécies e a abundância absoluta, através do índice de Shannon. O índice de diversidade de *Shannon-Wiener* é um dos mais amplamente empregados em ecologia de comunidades. Foi desenvolvido em 1949, a partir da teoria da informação publicada em “*The mathematical theory of communication*”. Ele expressa o grau de incerteza que existe em se predizer a qual espécie pertence um indivíduo escolhido ao acaso em uma comunidade contendo “S” espécies e “N” indivíduos (Ludwig & Reynolds 1988). Ao contrário de outros índices, o índice de Shannon não necessita que toda a população seja conhecida e quanto maior o seu valor, maior a diversidade da comunidade. Os valores do índice de Shannon para cada cavidade foram calculados com o auxílio do programa estatístico PAST v.3.13 (Hammer et al 2001).

Vale destacar que as coletas de campo foram realizadas durante a vigência da Instrução Normativa MMA nº 02/2009. Por esse motivo, foram contabilizados apenas os grupos cujos adultos possuem tamanho corporal maior ou igual a um centímetro. Com a publicação da Instrução Normativa MMA nº 02/2017, o atributo diversidade de espécies tomou o lugar do atributo abundância relativa de espécies na análise de relevância de cavidades e a exigência de se contabilizar apenas os organismos cujos adultos possuem tamanho corporal maior ou igual a um centímetro foi eliminada. Dessa forma, destaca-se que, nesse relatório, o atributo diversidade de espécies será analisado considerando os dados da forma como foram amostrados, ou seja, considerar-se-á todos os exemplares da fauna amostrados, tanto os coletados quanto os contabilizados.

Curvas de acumulação de espécies para as cavidades do projeto foram obtidas através do reescalonamento das curvas de riqueza de espécies esperadas (Mao Tau ou curva do coletor), bem como seus intervalos de confiança de 95% (Gotelli e Colwell 2001). Para estas análises utilizou-se o programa EstimateS 8.2 (Colwell 2013). Objetivando obter um cenário mais acurado da riqueza da fauna cavernícola, realizou-se a exclusão dos *singletons*, de maneira a se retirar os dados discrepantes da amostra.

## 2.3. ANÁLISE DE RELEVÂNCIA

Em 07 de novembro de 2008 foi publicado o Decreto Federal Nº 6640 (alterando o Decreto 99.556 de 1990), que modificou significativamente o status jurídico referente à proteção das cavernas brasileiras. Esse decreto prevê a classificação das cavernas segundo quatro graus de relevância: máximo, alto, médio e baixo. A determinação das cavernas de relevância máxima é realizada através de parâmetros definidos pelo referido decreto. Os demais graus de relevância foram apenas esboçados, estando remetidos a Instrução Normativa MMA Nº 02, que foi publicada no dia 20 de agosto de 2009, e posteriormente revogada com a instituição de uma nova Instrução Normativa MMA Nº 02, em 31 de agosto de 2017.

### 2.3.1.1. Escalas de análise

A determinação da escala de análise foi realizada com base na conceituação da IN MMA Nº 02/2017, que define que os atributos deverão ser avaliados sob o enfoque regional e local. O enfoque local, segundo a referida Instrução Normativa, será limitado à unidade geomorfológica que apresenta continuidade espacial, podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico, o que for mais restritivo em termos de área, desde que contemplada a área de influência da cavidade. Já o enfoque regional deverá compreender uma unidade espeleológica, definida por uma área que apresente homogeneidade fisiográfica. Tal homogeneidade está comumente associada, segundo o documento, à ocorrência de rochas carbonáticas e suas formas de relevo tipicamente cársticas, como dolinas, sumidouros, ressurgências, vales cegos, lapiás e cavernas, delimitadas por um conjunto de fatores ambientais específicos para sua formação.

### 2.3.1.2. Grau de relevância

O grau de relevância máximo é aplicado às cavidades que apresentem ao menos um dos seguintes atributos: gênese única ou rara; morfologia única; dimensões notáveis em extensão, área ou volume; espeleotemas únicos; isolamento geográfico; abrigo essencial para preservação de populações geneticamente viáveis de espécies animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais; habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos; habitat de troglóbio raro; interações ecológicas únicas; cavidade testemunho; ou destacada relevância histórico-cultural ou religiosa. Tais cavidades deverão ser conservadas integralmente, não podendo ser objeto de impactos adversos. A utilização dessas cavidades somente poderá ocorrer de modo que fique assegurada a manutenção de seu equilíbrio físico e biológico.

De acordo com o Artigo 4º da IN MMA Nº 02/2017, a definição do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas deverá considerar, segundo os enfoques local e regional, os atributos, grupos de atributos, peso e contribuição, conforme o Anexo II da IN MMA Nº 02/2017. O resultado final para cada grupo de atributos é obtido pela somatória do resultado parcial de cada atributo avaliado, que por sua vez, será resultado da multiplicação dos valores do peso e da contribuição de cada atributo. Somente os resultados finais que sejam iguais ou superiores a 30% do valor potencial máximo para cada grupo de atributos serão considerados minimamente significativos para fins de avaliação do grau de relevância da



cavidade subterrânea. A importância dos atributos das cavidades naturais será definida como acentuada, significativa ou baixa de acordo com o número de grupos de atributos minimamente significativos, avaliados sob os enfoques local e regional, conforme o Anexo III da IN MMA Nº 02/2017, explicitado pelo Artigo 5º.

As cavidades com grau de relevância alto deverão apresentar atributos de importância acentuada sob enfoque local e regional; ou acentuada sob enfoque local e significativa sob enfoque regional. Essas cavidades poderão sofrer impactos irreversíveis, desde que compensados através da preservação de duas outras cavidades na mesma litologia, com atributos similares e com mesmo grau de relevância da caverna a ser impactada.

As cavidades com grau de relevância médio deverão englobar atributos de importância acentuada sob enfoque local e baixa sob enfoque regional, ou significativa sob enfoque local e regional. Impactos irreversíveis nessas cavidades deverão ser compensados com ações que contribuam para a conservação e uso adequado do patrimônio espeleológico nacional, a serem definidas pelo órgão ambiental competente.

As cavernas classificadas com grau de relevância baixo deverão conter atributos considerados de importância significativa sob enfoque local e baixa sob enfoque regional; ou baixa sob enfoque local e regional. Conforme o Artigo 12º da IN MMA Nº 02/2017, cavidades com menos de cinco metros de desenvolvimento linear serão classificadas como baixo grau de relevância desde que comprovada a inexistência de: zona afótica; destacada relevância histórico-cultural ou religiosa; presença de depósitos químicos, clásticos ou biogênicos de significativo valor científico, cênico ou ecológico; ou função hidrológica expressiva para o sistema cárstico.

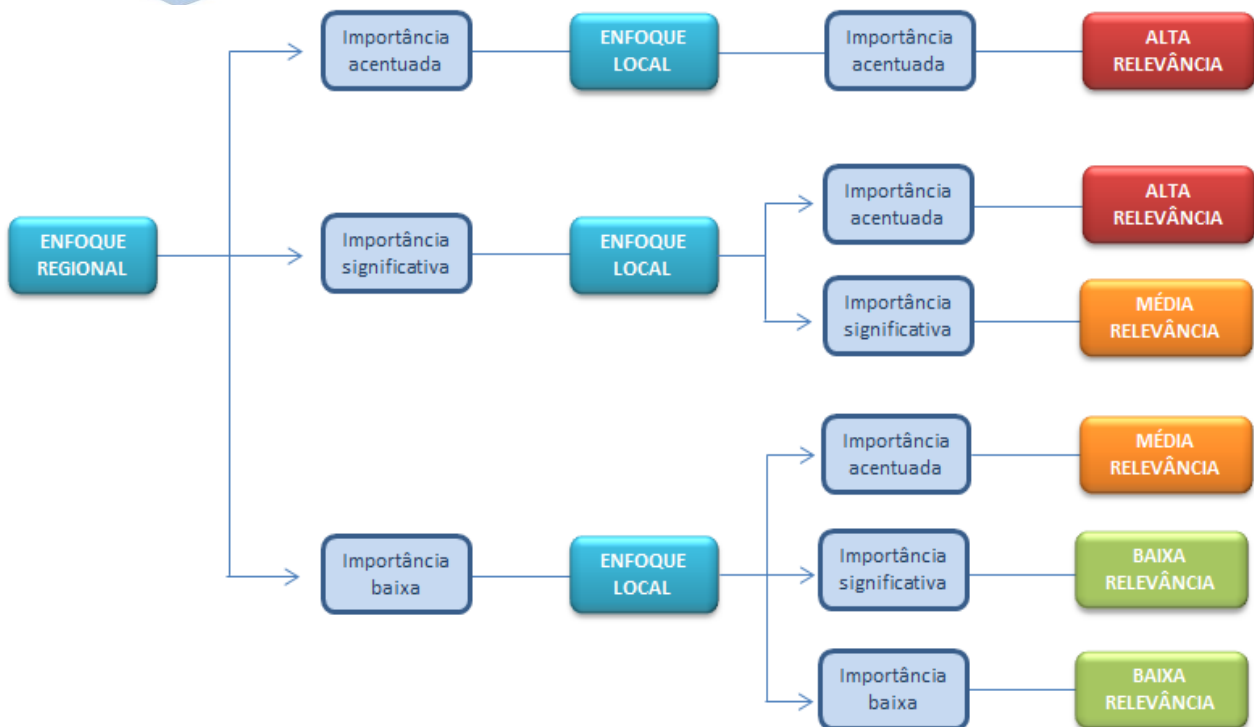


Figura 7. Chave de classificação do grau de relevância de cavidades naturais subterrâneas, segundo a instrução normativa nº 02/2017 (Brasil 2009)

### 3. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E DE INSERÇÃO DAS CAVIDADES

#### 3.1. AMBIÊNCIA GEOLÓGICA E DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é constituído por terrenos pré-cambrianos com seqüências litoestratigráficas que podem ser agrupadas em três unidades geológicas principais: Complexos Metamórficos Granito-Gnáissicos (Bação, Belo Horizonte e Bonfim - Arqueano), Supergrupo Rio das Velhas (unidade metavulcanosedimentar - Arqueano) e Supergrupo Minas (unidade metasedimentar – Paleoproterozóica).

Na área de estudo (porção leste do QF), tem-se a ocorrência de rochas ferríferas, representadas pelo Grupo Itabira (ocorrência de itabiritos e minério de ferro) e os depósitos lateríticos ferruginosos. Estes depósitos de idade Fanerozóica (23 – 3,50 M.a.) ocorrem sobre as rochas do Supergrupo Minas, com destaque para as formações Santo Antônio (Grupo Itacolomi), a sudeste, Cercadinho (Grupo Piracicaba), a norte, Fecho do Funil (Grupo Piracicaba), na faixa central, e Moeda e Batatal (Grupo Caraça), a sudoeste da área (Figura 8).

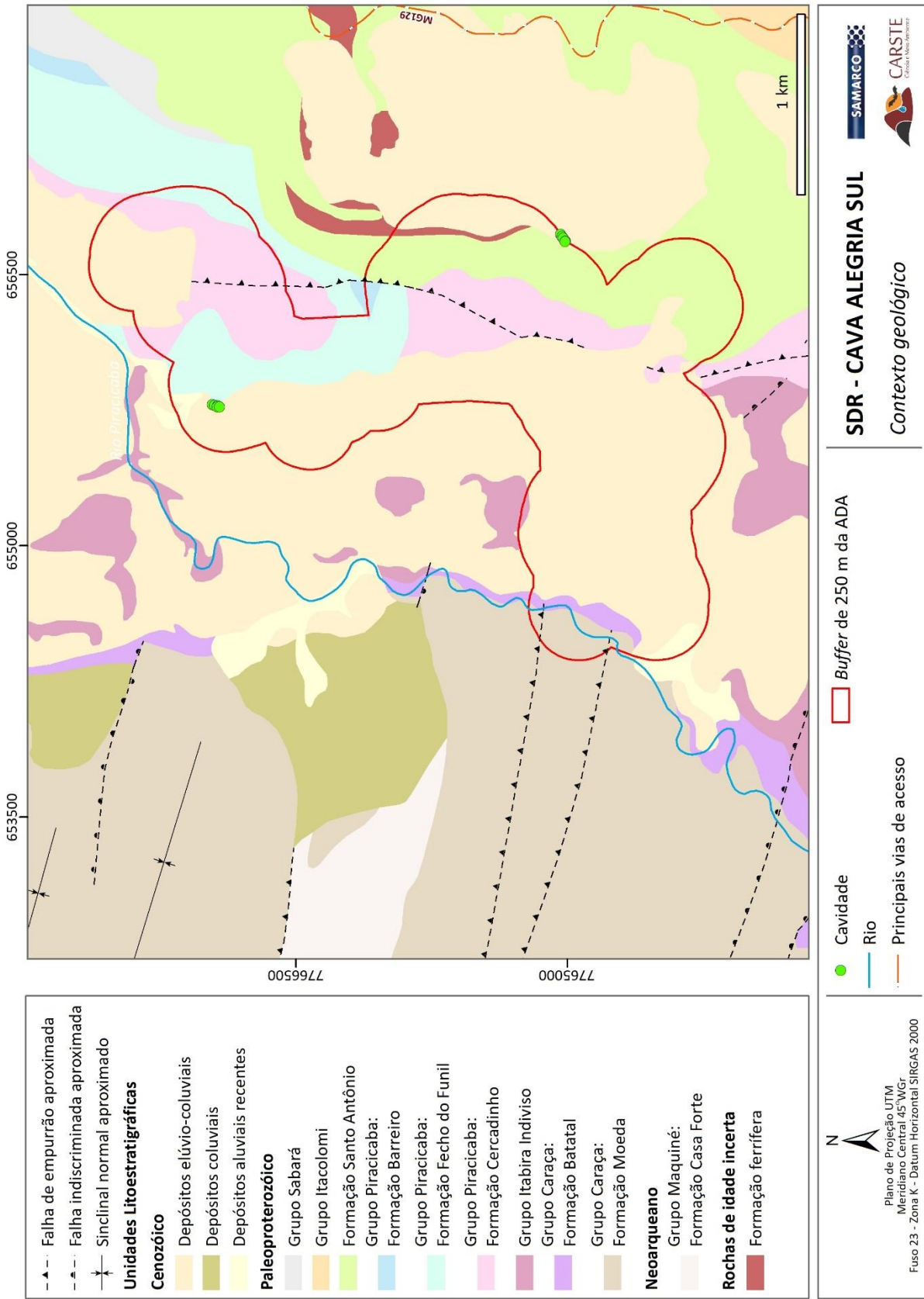
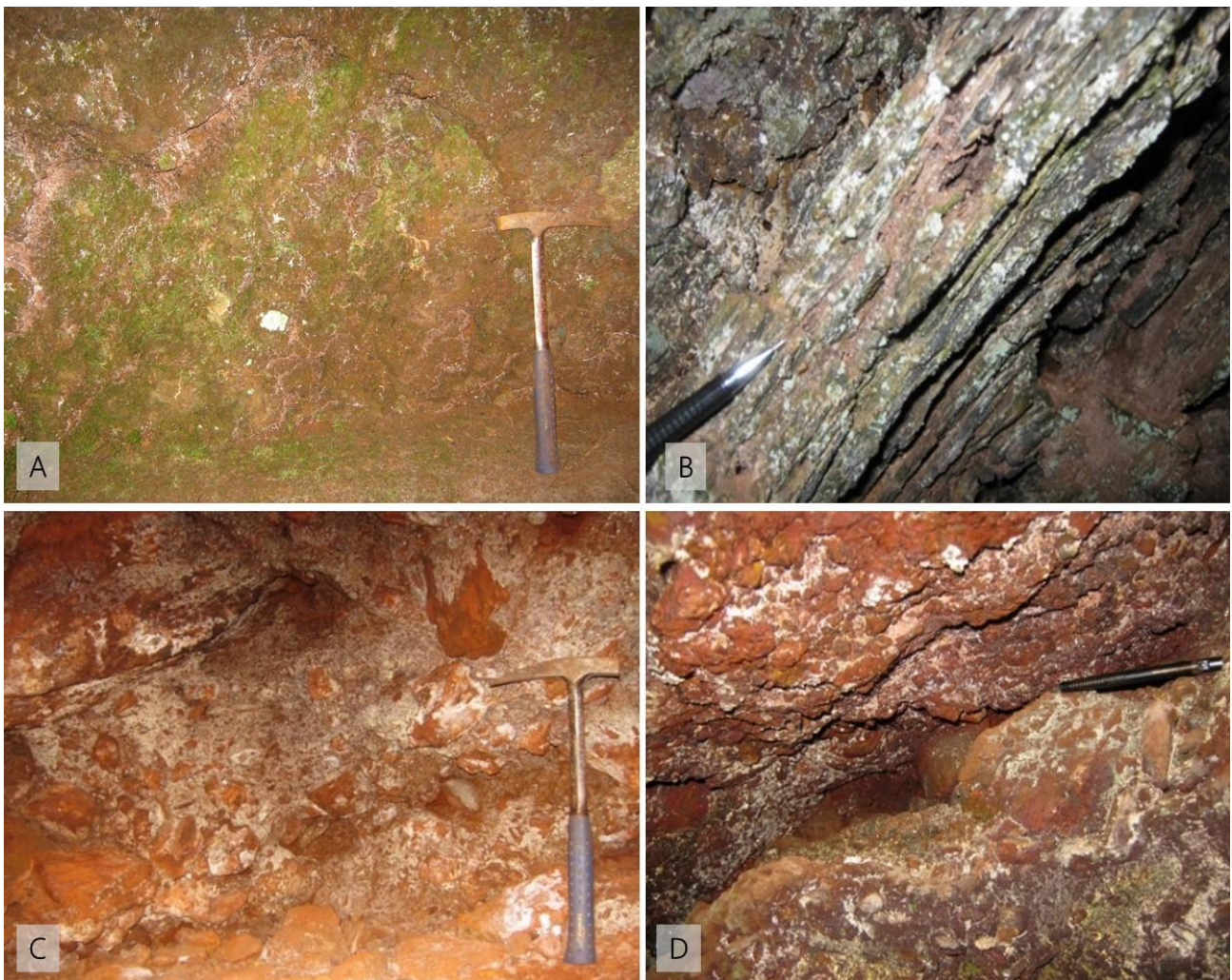


Figura 8. Geologia da área de estudo

Especificamente sobre as características litológicas das cavidades, estas ocorrem na canga e formação ferrífera. As cavidades GS-23, GS-24, GS-25, GS-26 e GS-27 estão, predominantemente, encaixadas em formação ferrífera alterada, de modo que não são visíveis os bandamentos desta rocha (Figura 9). O esvaziamento das bandas de quartzo, gerara grandes vazios, que, normalmente, estão preenchidos por material de granulometria fina. As demais cavidades (GS-28, GS-29, GS-30, GS-31 e GS-32) estão inseridas, exclusivamente, na canga detrítica. De forma geral, esta é formada por clastos angulosos a subangulares (seixos e calhaus) de formação ferrífera e hematita compacta, caoticamente arranjados e cimentados por limonita, normalmente composta de goethita, hematita e água (Figura 9).



**Figura 9. Características litológicas das cavidades: Minério de ferro alterado, recoberto por material fotossintetizante na cavidade GS-24 (A); Minério de ferro, com lâminas hematíticas de dimensões milimétricas intercaladas com vazios residuais, ocasionalmente preenchidas por matriz argilo-ferruginosa na cavidade GS-23 (B); Canga detrítica, alterada superficialmente com clastos cimentados por matriz argilosa na caverna GS-28 (C); Canga observada na cavidade GS-29, composta por clastos de tamanho calhau e matacão (D)**

Sobre o contexto estrutural regional, as diferentes discontinuidades foram geradas, majoritariamente, em dois grandes eventos principais (Chemale Jr *et al*/1991). O primeiro é extensional, que gerou megadobras e zonas de cisalhamento; e o segundo compressivo, que gerou dobras, empurrões, descolamentos e

falhas de rasgamento. Este último é observado somente na borda leste e caracteriza um movimento principal de E-W. Sobre essas estruturas ocorreram eventos de erosão e deposição de sedimentos recentes, dentre eles os depósitos lateríticos ferruginosos.

A análise das medidas de atitudes aferidas nas cavidades em conjunto com as fraturas e lineamentos estruturais regionais pode indicar a mesma origem. A partir das imagens sombreadas (Figura 10), foram obtidas as direções de 355 lineamentos que podem corresponder aos planos de fraturas da região.

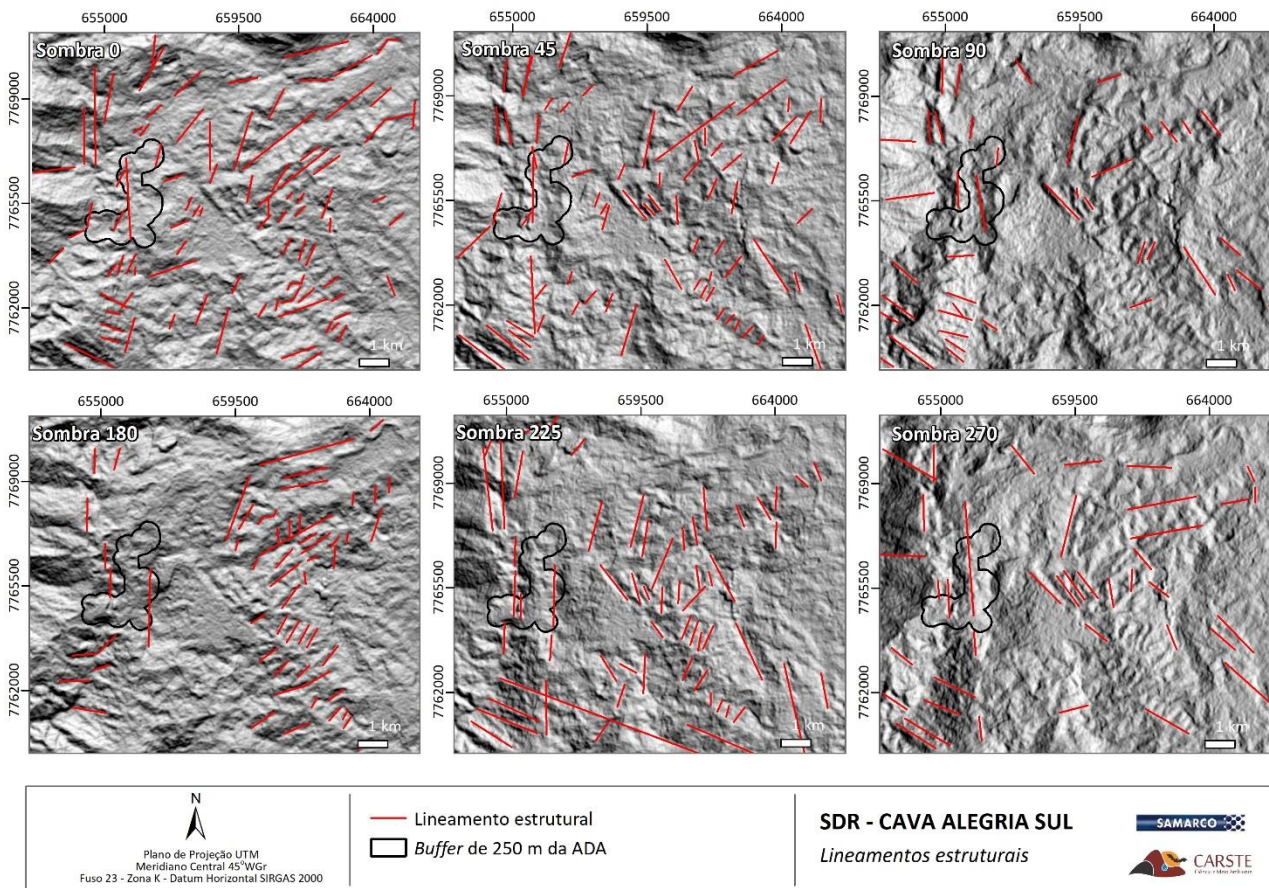


Figura 10. Lineamentos estruturais mapeados na região

O diagrama de rosetas construído a partir dessas medidas (Figura 11) indica uma dispersão de direções próximas ao eixo NE-SW. Os planos de fraturas foram medidos em 123 pontos nas cavernas de estudo. Através do diagrama de rosetas (Figura 12), é possível indicar uma disseminação dominante de direções no rumo N-S.

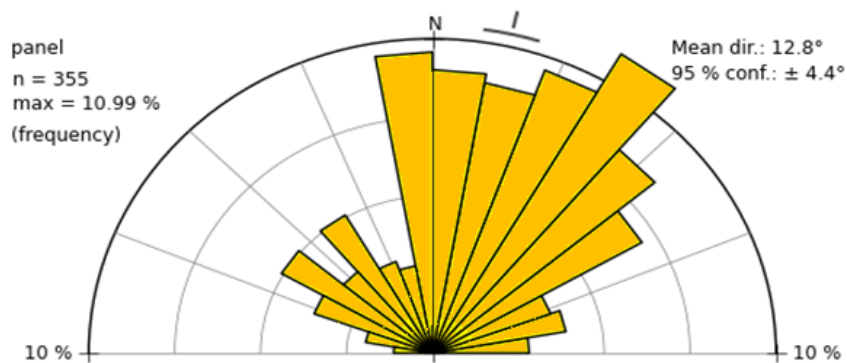


Figura 11. Diagrama de rosetas para os lineamentos interpretados a partir da imagem SRTM da região onde estão inseridas as cavernas e suas proximidades

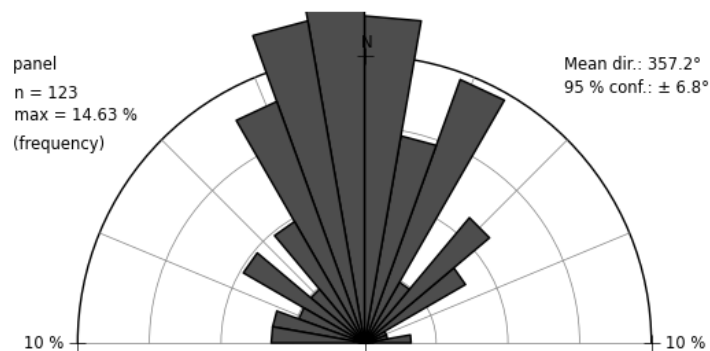


Figura 12. Diagrama de rosetas para planos de fratura medidos nas cavidades

A partir das informações discutidas anteriormente, é possível destacar a semelhança nas direções de fraturas e lineamentos. Dessa forma, a origem das discontinuidades estudadas nas cavidades não apresentou, a princípio, relação com os lineamentos estruturais regionais, formados por esforços tectônicos. Para as estruturas geológicas observadas em canga, a ocorrência de discontinuidades pode estar relacionada à alívio de pressão e reajustes estruturais (atectônica), ou seja, causadas por eventos mais recentes.

Cabe ressaltar que os lineamentos regionais podem ser gerados por diferentes estruturas geológicas, como o contato entre rochas de diversas litologias, foliações, entre outras. Ademais, as rochas da área de estudo foram sujeitas a deformações policíclicas ao longo do tempo geológico (Alkmim & Martins-Neto 2001), assim, estruturas mais antigas podem ter sido rotacionadas e ou até obliteradas.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E DE INSERÇÃO DAS CAVIDADES

Regionalmente, as cavidades estão inseridas na unidade geomorfológica denominada de “Escarpa Oriental do Caraça”. A espacialização desta unidade será apresentada no item 4.1. Esta unidade representa

um domínio de transição entre as serras alinhadas da porção leste do QF e as áreas dissecadas (Oliveira et al 2011). Predominam linhas de escarpamentos que bordejam a Serra do Caraça, de direção predominantemente E-W, com altitudes que superam 1200 m. Localmente, considerando as unidades morfológicas, a área de estudo apresenta relevo rebaixado na porção setentrional, associada a ocorrência da confluência entre o Rio Piracicaba e Córrego Macacos (Figura 13 e Figura 14). Esta baixada encontra-se confinada entre estruturas do Complexo a leste e entre fragmentos de platôs moldados sobre canga (Ampló 2017).



**Figura 13. Representação das áreas rebaixadas na porção setentrional da área de estudo contemplando as duas unidades morfológicas**

As demais áreas estão associadas a modelados antropogênicos (Figura 14), com a ocorrência de estruturas como o Dique B (Dique da oficina), Dique B11 (Dique dos Macacos), correias transportadoras e cava de Alegria Sul. Nestas áreas o relevo foi alterado de modo a abarcar as construções intrínsecas à atividade minerária. De forma individualizada, ocorrem morros residuais e vertentes de serras, sobretudo nas porções NW e a SW. Estes morros apresentam contornos irregulares, vertentes íngremes e alteradas pela atuação de fluxos superficiais concentrados, facilitando a existência de sulcos e ravinas.

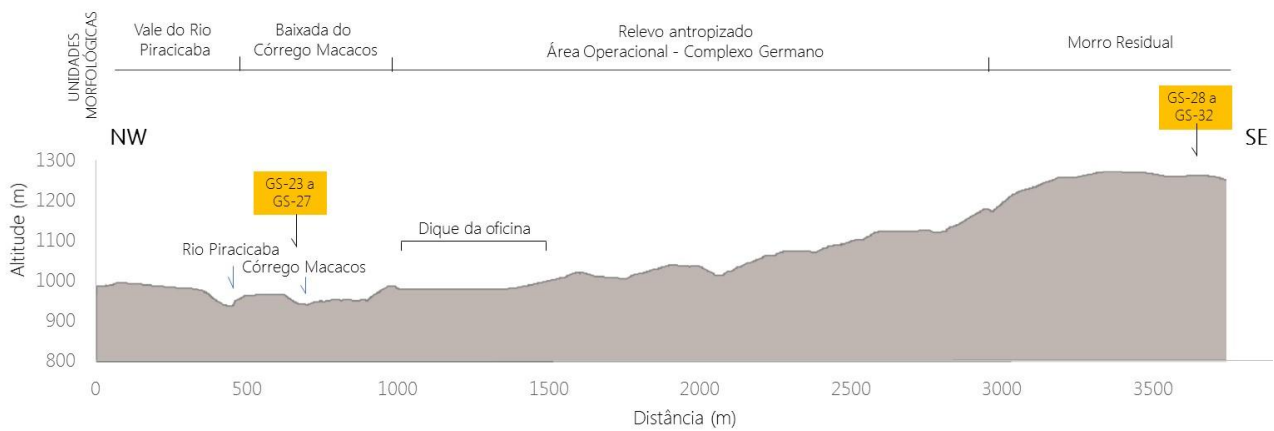


Figura 14. Perfil topográfico da área de estudo

Sobre a paisagem de inserção, as cavidades GS-23 a GS-27 estão inseridas na bacia do Córrego Macacos. Ocorrem, predominantemente, nas margens deste curso d'água, em escarpamento rochoso contínuo, irregular, paralelo à calha de drenagem e perpendicular à maior inclinação da vertente (Figura 15). A altura da escarpa varia de 2 a 5 m. As altitudes oscilam de 952 a 972 m, e a declividade no entorno é de baixa a alta, sendo as áreas de maior declive associada à trechos encachoeirados na drenagem (Figura 15). Cabe ressaltar que a cavidade GS-26 está na calha de drenagem do Córrego Macacos, nas proximidades de uma cachoeira, desenvolvendo-se no terço superior da escarpa rochosa (Figura 16).



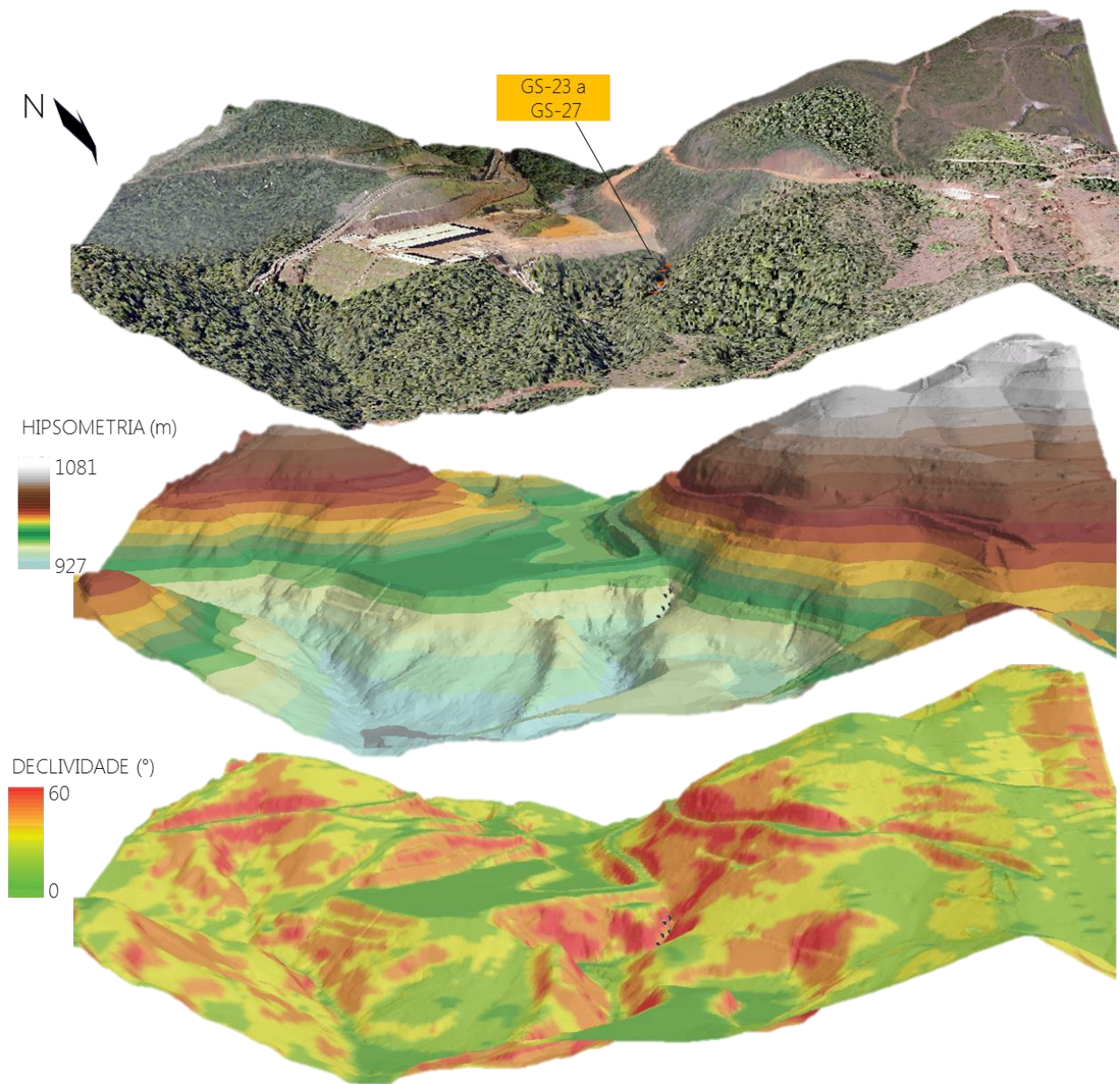


Figura 15. Representação tridimensional do contexto morfológico de inserção das cavidades GS-23 a GS-27



**Figura 16. Representação das entradas das cavidades. Caverna GS-23 (A); Caverna GS-27 (B); Caverna GS-24 (C); Caverna GS-26, localizada na calha do Córrego Macacos (D)**

Por sua vez, as cavidades GS-28 a GS-32 ocorrem em um morro à sudeste das instalações do Sistema de Disposição de Rejeito - Cava de Alegria Sul. Este morro possui contornos dissimétricos, ou seja, suas bordas apresentam declive não simétrico, indicando declividades altas a medianas na face oeste, sudoeste e sul e terreno suavizado nas demais porções (Figura 17). É sustentado por coberturas detrito-lateríticas geneticamente associadas aos itabiritos do Grupo Itabira. De maneira geral, as cavidades estão localizadas em alta vertente, relacionadas a afloramentos menores ou escarpamentos contínuos e irregulares, por vezes condicionando rupturas de declive (Figura 18). A altura da escarpa pode variar de 1,2 m (cavidades GS-28 e GS-30) a cerca de 4,0 m (GS-32).

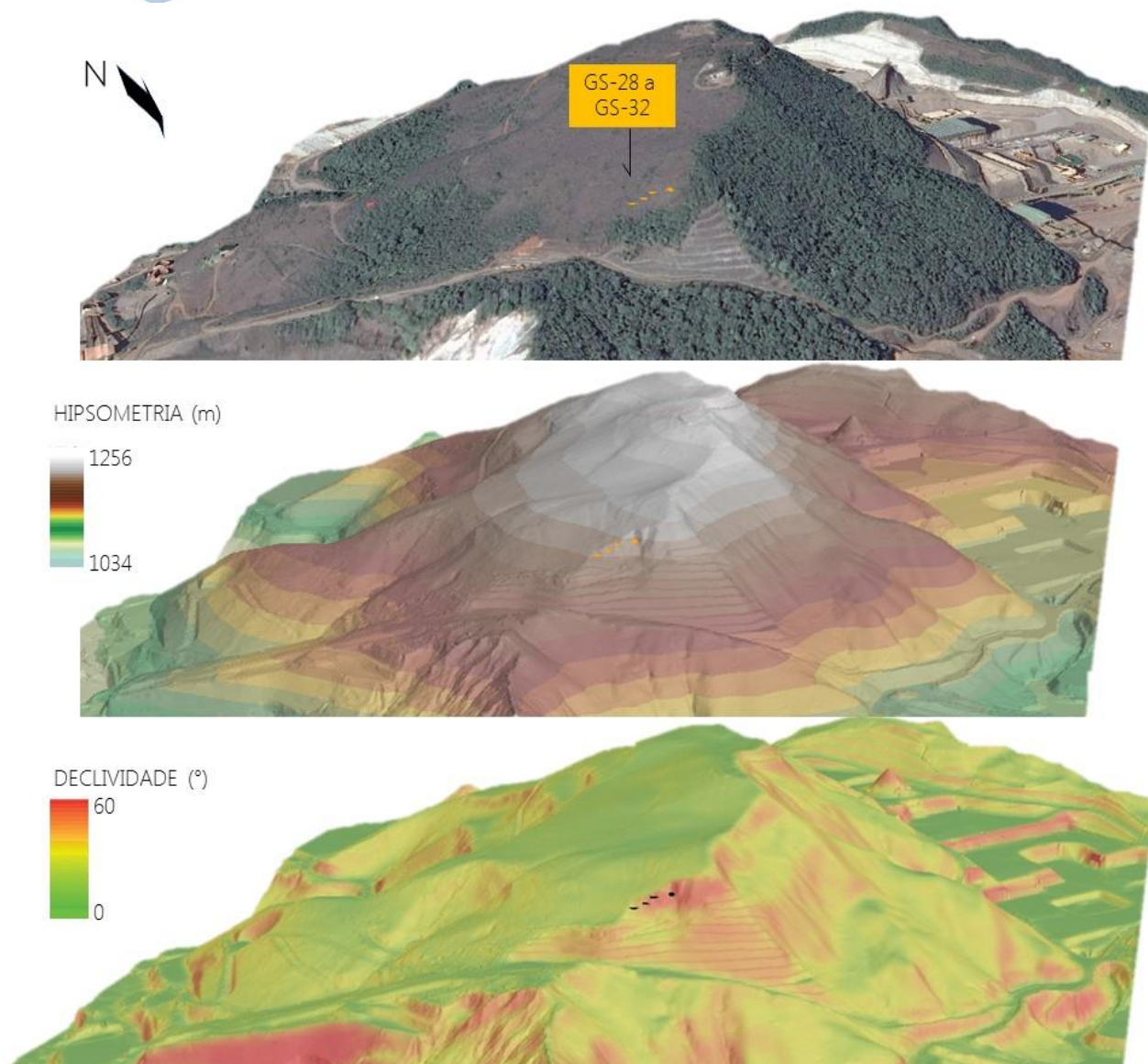


Figura 17. Representação tridimensional do contexto morfológico de inserção das cavidades GS-28 a GS-32



**Figura 18. Representação das entradas principais das cavidades inseridas na encosta de platô de canga. Cavidade GS-29 (A); Caverna GS-28 (B); Cavidade GS-30 (C); Caverna GS-31**

### 3.3. CONTEXTO HIDROLÓGICO REGIONAL

As cavidades estão inseridas na bacia do Córrego Macacos, que é afluente da margem direita do Rio Piracicaba e tem todo o seu curso associado às formações ferríferas (Figura 19). Cabe destacar que a maior parte deste curso d'água está canalizada na área operacional do empreendimento. O Rio Piracicaba corta a área da Samarco seguindo uma direção SW-NE. Outros afluentes importantes do Rio Piracicaba são: Córrego Palmital, Córrego João Manoel, Córrego Macaco Barbado e Córrego das Almas.

Em relação às unidades hidrogeológicas, as áreas de recarga dos principais aquíferos presentes na região ocorrem nos locais de afloramento destes e nas cotas topográficas elevadas (Ecoplan-Lume 2010). O Aquífero Cauê é a principal unidade aquífera da área e se constitui como um sistema confinado na base pelos xistos (aquicluda) e no topo pelos quartzitos e filitos do Grupo Piracicaba (Mdgeo 2016). Há o predomínio de porosidade intergranular em toda zona intemperizada, onde a lixiviação dos itabiritos foi mais intensa, e à medida que a rocha se torna mais compacta, o aquífero fraturado predomina. As coberturas detríticas se caracterizam como aquíferos de porosidade intersticial, livres, descontínuos e muito heterogêneos e anisotrópicos (Mourão, 2007). Estas coberturas possuem comportamento

hidroquímico similar ao aquífero Cauê e se diferenciam pelo comportamento hidrológico e tempo de residência (Mdgeo, 2016).

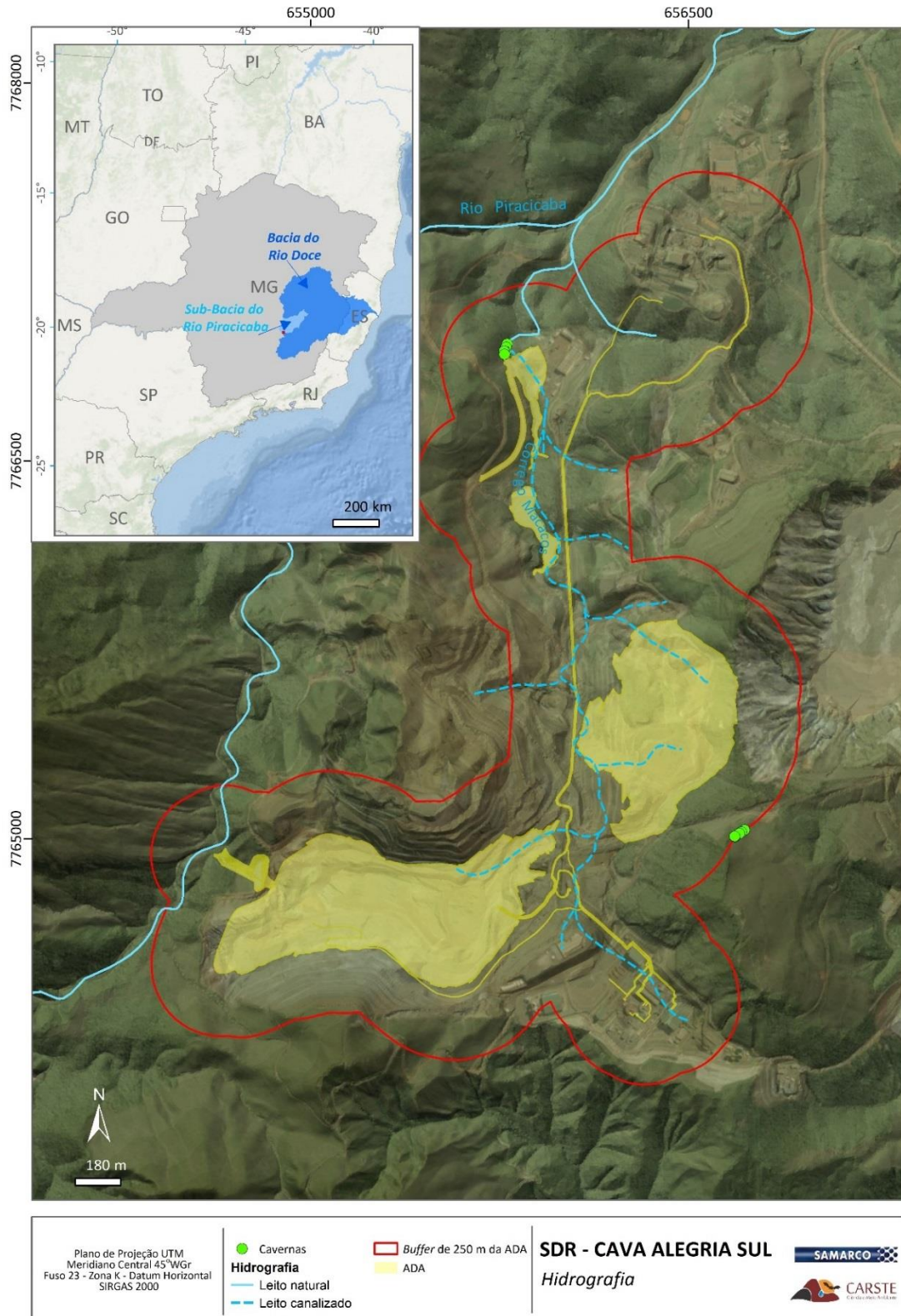


Figura 19. Hidrografia da área de estudo

## 4. DIAGNÓSTICO ESPELEOLÓGICO E ANÁLISE DE RELEVÂNCIA

O diagnóstico espeleológico será discutido a seguir em conjunto com a análise dos atributos de relevância das cavidades, debatendo os itens segundo sua disposição na legislação ambiental, de acordo com o Decreto 6640/2008 e a IN MMA N° 02/2017. Os levantamentos geoespeleológico e bioespeleológico das cavidades foram resumidos em quadros sínteses, apresentados no Anexo IV.

### 4.1. DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE ANÁLISE

As cavidades naturais subterrâneas localizadas na área de estudo correspondem a cavernas ferríferas, formadas em canga (coberturas elúvio-coluvionares cenozoicas), e formação ferrífera. A escala regional de análise é representada pela *Unidade Espeleológica Quadrilátero Ferrífero*, onde mais de 1.000 cavernas, de diferentes litotipos são registradas. A amostra regional adotada inclui 836 cavernas ferríferas. Já a escala local é representada pela *Unidade Geomorfológica Escarpa Oriental do Caraça* (Oliveira et al, 2011), que abarca 260 cavidades. Esta unidade está localizada na porção sul e sudeste do QF, compreendendo os municípios de Ouro Preto, Catas Altas e Santa Barbara. As elevações estão entre 800 m e 1400 m, é delimitada pelas planícies dos rios do Norte, Carmo, Velhas e Piracicaba (Valentim 2016), apresentando 267,62 Km<sup>2</sup> de área. A Figura 20 apresenta a localização das escalas local e regional para a análise de relevância da área de estudo.

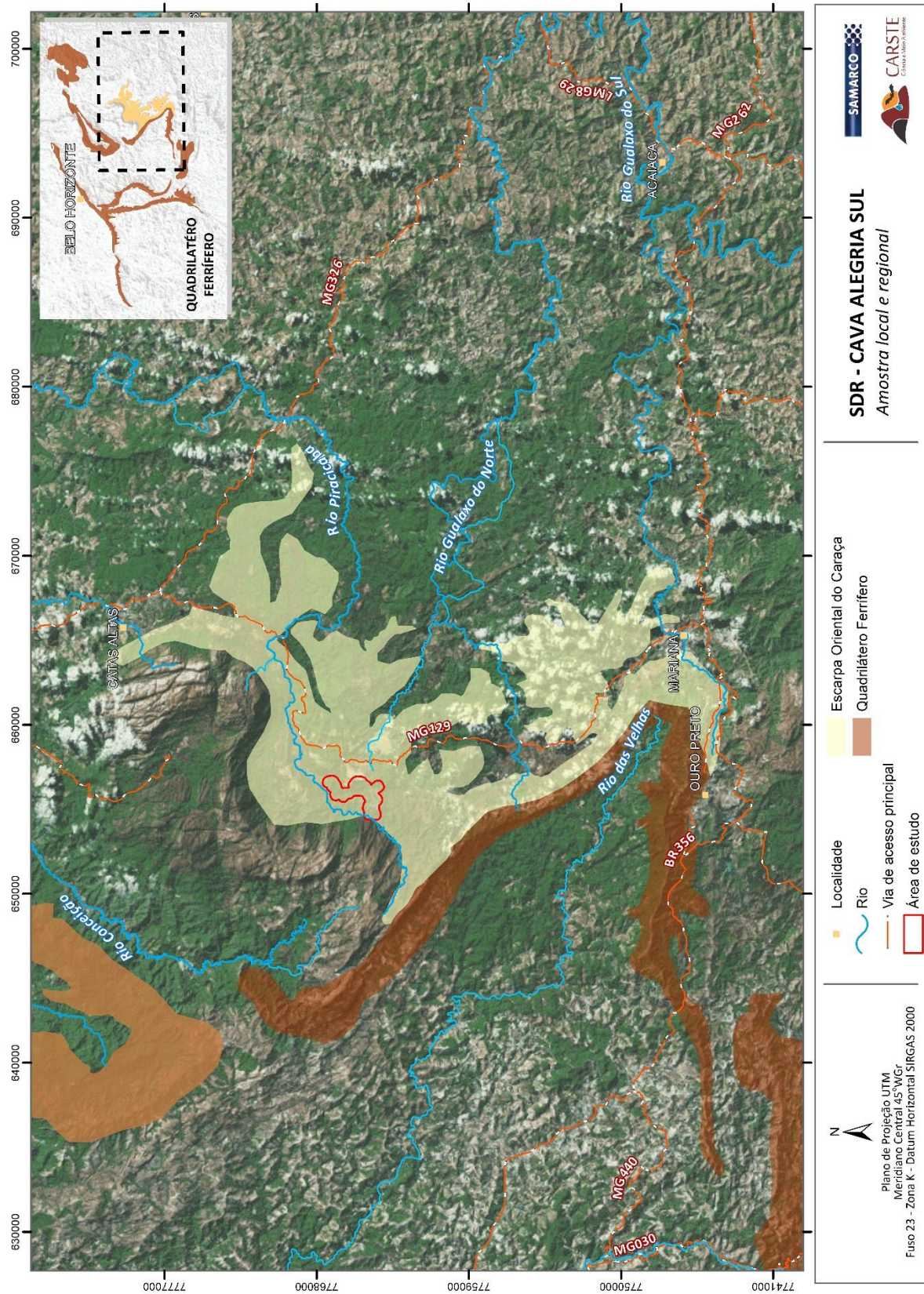


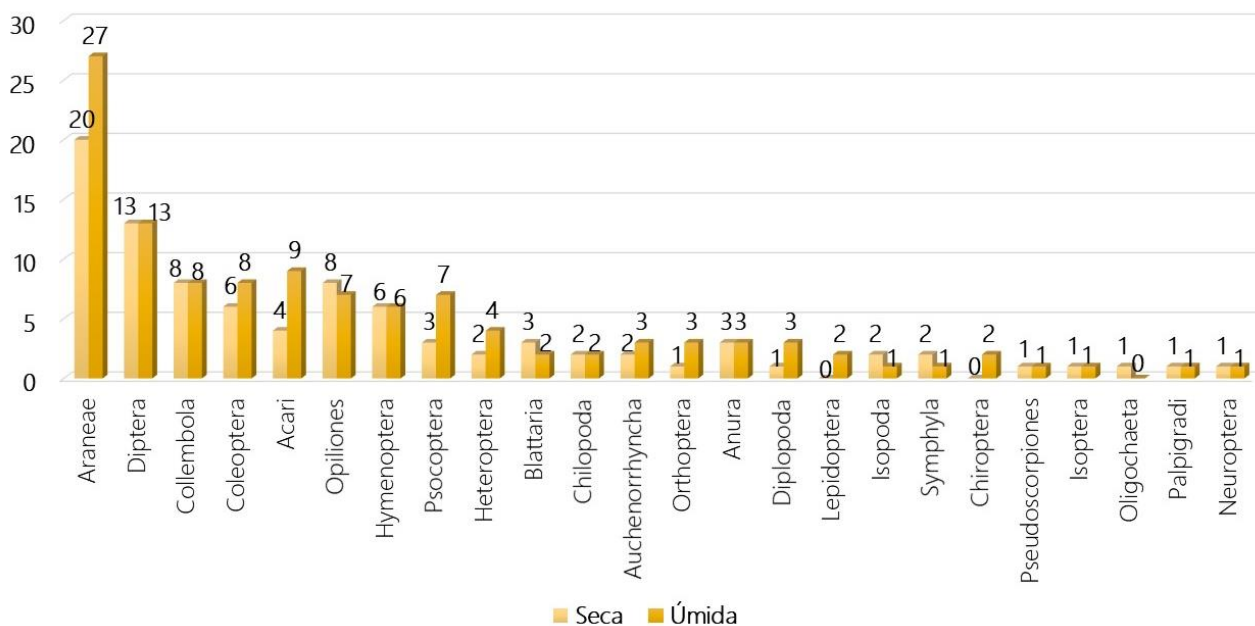
Figura 20. Representação das escalas regional e local consideradas no estudo de relevância

## 4.2. ATRIBUTOS DE RELEVÂNCIA ALTA, MÉDIA E BAIXA

### 4.2.1. Atributos relacionados ao ecossistema cavernícola nas escalas regional e local

O levantamento faunístico realizado nas dez cavidades do projeto, resultou em um total de 154 morfoespécies somando-se as duas campanhas de coleta de campo (149 invertebrados e cinco vertebrados foram amostrados). Os registros relacionados a cada cavidade estão apresentados no Anexo II.

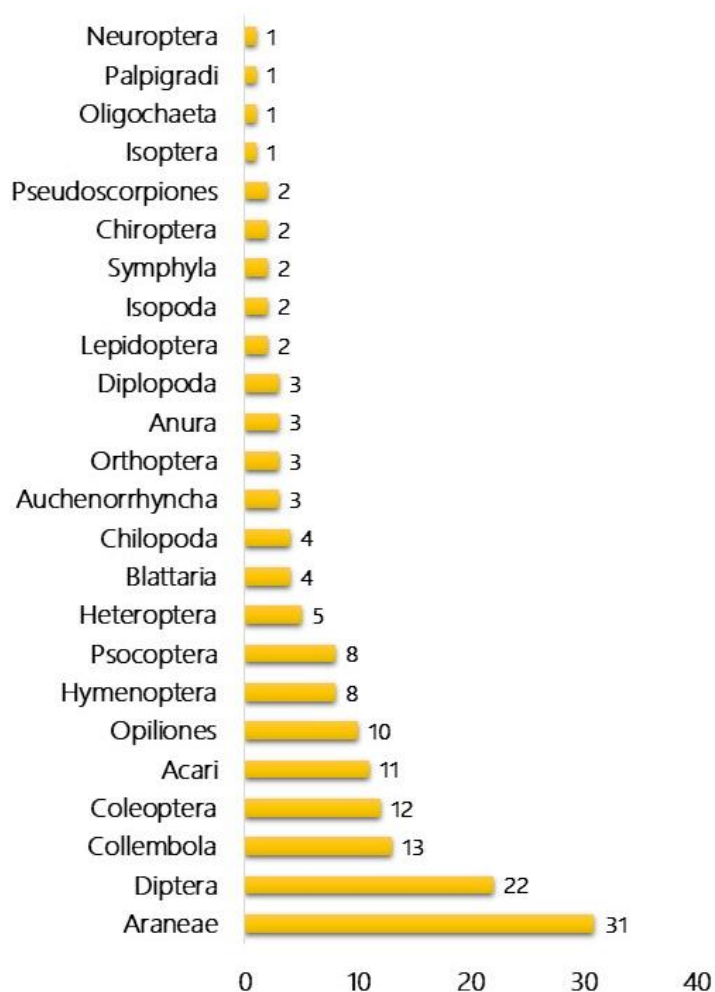
Do total inventariado, 25% dos morfótipos estiveram presentes apenas na estação seca (39), 41% apenas na estação úmida (63) e 34% foram amostrados em ambas as estações (52). Os grupos Araneae, Acari, Coleoptera, Psocoptera, Lepidoptera, Heteroptera, Auchenorrhyncha, Orthoptera, Diplopoda e Chiroptera foram responsáveis pela maior quantidade de espécies na estação úmida. Somente os grupos Opiliones, Blattaria, Isopoda, Oligochaeta e Symphyla se destacaram pela maior riqueza durante a estação seca. Diptera, Collembola, Palpigradi, Hymenoptera, Chilopoda, Anura, Isoptera, Neuroptera e Pseudoscorpiones apresentaram o mesmo número de morfótipos entre as duas estações (Figura 21).



**Figura 21. Riqueza de espécies por estação sazonal de amostragem**

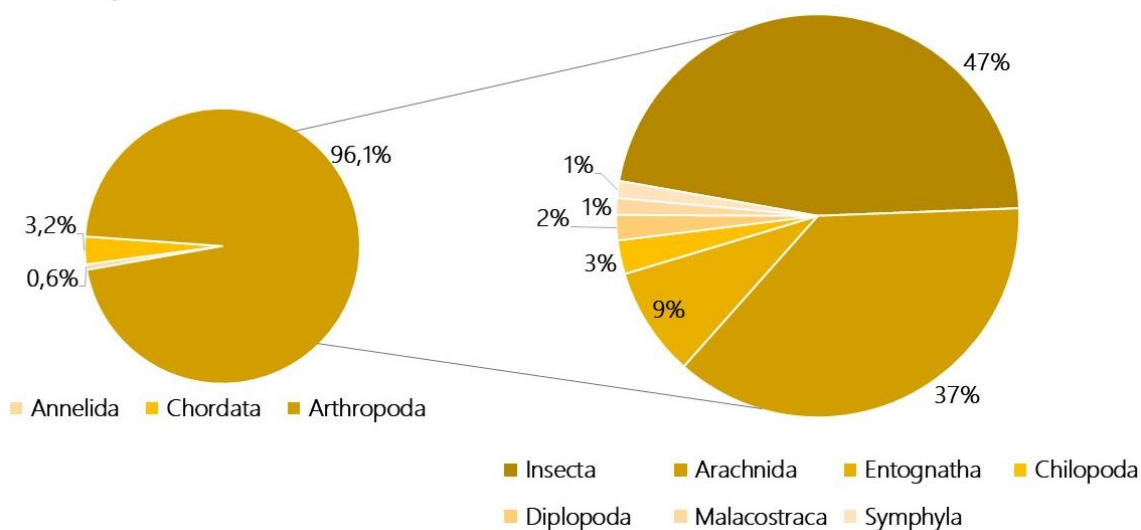
Os organismos coletados estiveram distribuídos em 24 grupos distintos, sendo que 79% da fauna inventariada foram representados por até 10 morfoespécies. Em posição intermediária, três grupos apresentaram riqueza entre 11 e 13 morfoespécies: Acari, Coleoptera e Collembola. Para as ordens, Araneae e Diptera o número de morfoespécies amostradas foi superior a 22, caracterizando-as, dessa forma, como as mais ricas. Juntas, tais ordens representaram 34,4% de todos os morfótipos inventariados no projeto (Figura 22).





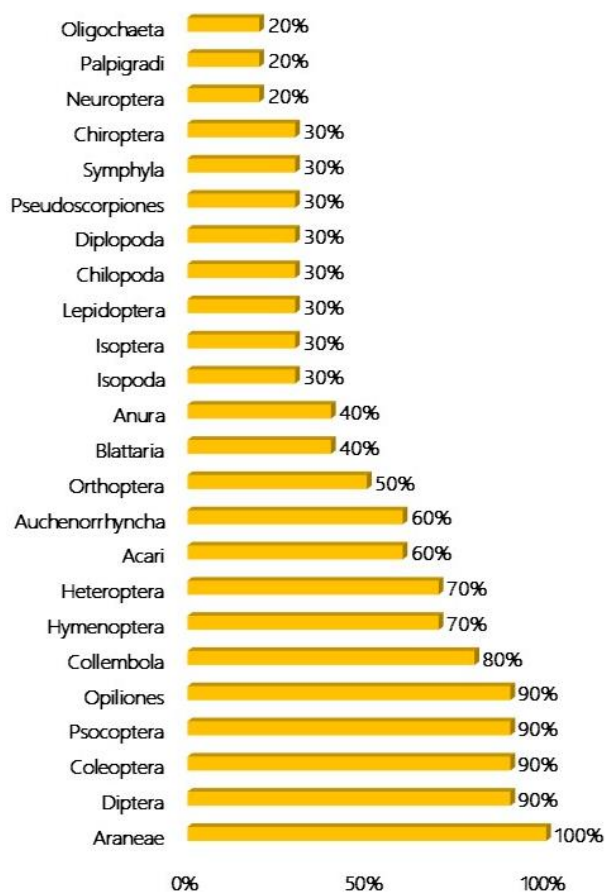
**Figura 22. Riqueza de morfótipos, por grupo taxonômico, amostrada nas cavidades inventariadas**

Ao todo, três filos foram coletados nas cavidades: Annelida, Chordata e Arthropoda (Figura 23). Os dois primeiros filos representaram, juntos, menos de 4% do total da fauna inventariada. Arthropoda foi filo com o maior número de representantes amostrados, correspondendo a mais de 96% fauna avaliada. Esse, por sua vez, foi distribuído em sete classes: Insecta, Arachnida, Entognatha, Diplopoda, Chilopoda, Symphyla e Malacostraca (Figura 23). A classe Insecta foi representada por um total de 69 morfótipos (47%) seguida por Arachnida, com 55 morfoespécies (37%). As demais classes corresponderam juntas, um total de 24 morfótipos, representado 16% dos Arthropoda inventariados.



**Figura 23. Filos amostrados no projeto e proporção das classes de Arthropoda coletados**

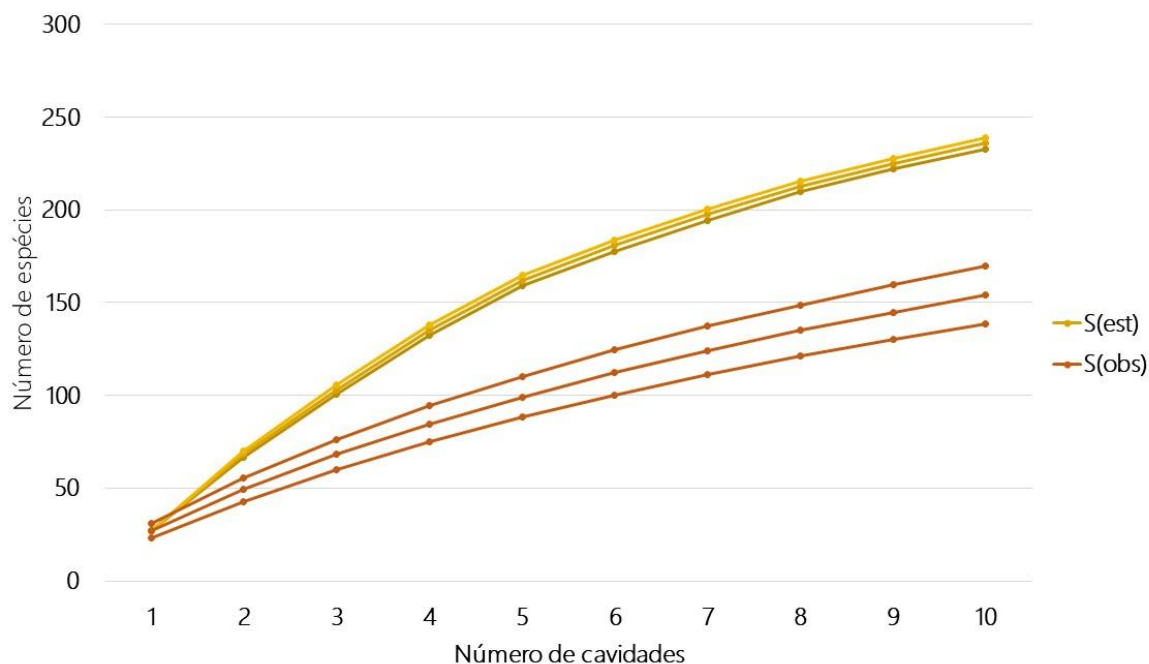
Ao se analisar a frequência de amostragem dos grupos faunísticos nas dez cavidades do projeto, percebeu-se que Araneae foi amostrado em todas das cavidades. As ordens Diptera, Coleoptera, Psocoptera e Opiliones estiveram presentes em nove cavidades. Orthoptera, Auchenorrhyncha, Acari, Heteroptera, Hymenoptera e Collembola encontraram-se distribuídos na faixa entre 50 % a 80% das cavidades. O restante dos grupos foi inventariado em 40% ou menos das cavidades do projeto (Figura 24).



**Figura 24. Frequência de coleta nos grupos faunísticos inventariados**

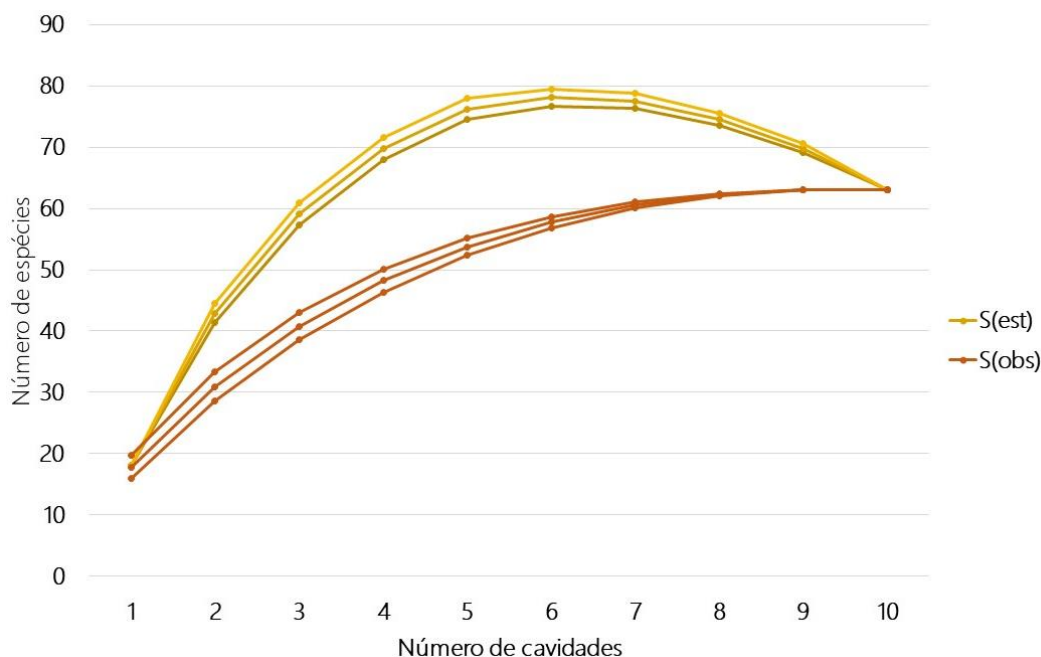
A curva de acumulação de espécies gerada para as duas etapas de coleta indicou amostragens, a princípio, não satisfatórias do número potencial de espécies presente na área (Figura 25). Caso o total de espécies presente na região tivesse sido amostrado, seria observada uma estabilização nas curvas (assíntota – a linha se curvaria tornando-se paralela ao eixo horizontal do gráfico), indicando que, o que existe, já foi amostrado.

Entretanto, ressalta-se que dificilmente atinge-se a assíntota em curvas de acumulação de espécies em estudos bioespeleológicos. Tendo em vista a constante contribuição de espécies acidentais, é provável que, para certos sistemas, a assíntota nunca seja atingida, já que a quantidade de espécies epígeas de grupos acidentais é imensa, especialmente quando se considera a região Neotropical, conhecida pela megadiversidade epígea (Mittermeier et al. 1997; Mittermeier et al. 2005; Brandão et al. 2000



**Figura 25. Curva de acumulação de espécies elaborada a partir do número real de espécies coletadas. S(est) = Riqueza Estimada Jackknife 1; e S(obs) = Riqueza Observada**

Realizou-se, então, uma análise exploratória para a variável “número de morfótipos por cavidade”. As morfoespécies que apareceram apenas uma vez no universo das amostras, no caso *singletons*, foram consideradas *outliers* (dados discrepantes). Acredita-se que a causa para seu aparecimento esteja relacionada ao fato das cavidades serem ambientes favoráveis à ocorrência de espécies epígeas acidentais. Sendo assim, optou-se por retirar esses *outliers* da amostra. A curva de acumulação de espécies com a retirada dos *singletons* está apresentada na Figura 26. Após o procedimento de exclusão dos *singletons* da amostra, pode-se perceber um reajuste na curva de rarefação e consequente estabilização da intensidade amostral.



**Figura 26. Curva de acumulação de espécies elaborada com a exclusão de *singletons* do universo amostral. S(est) = Riqueza Estimada Jackknife 1; e S(obs) = Riqueza Observada**

Destaca-se que a amostragem bioespeleológica realizada nas cavidades do projeto resultou em uma fauna diversificada. Vale destacar que todos os grupos coletados possuem representantes de ocorrência comum ao ambiente subterrâneo, ainda que essa presença possa ser considerada apenas acidental.

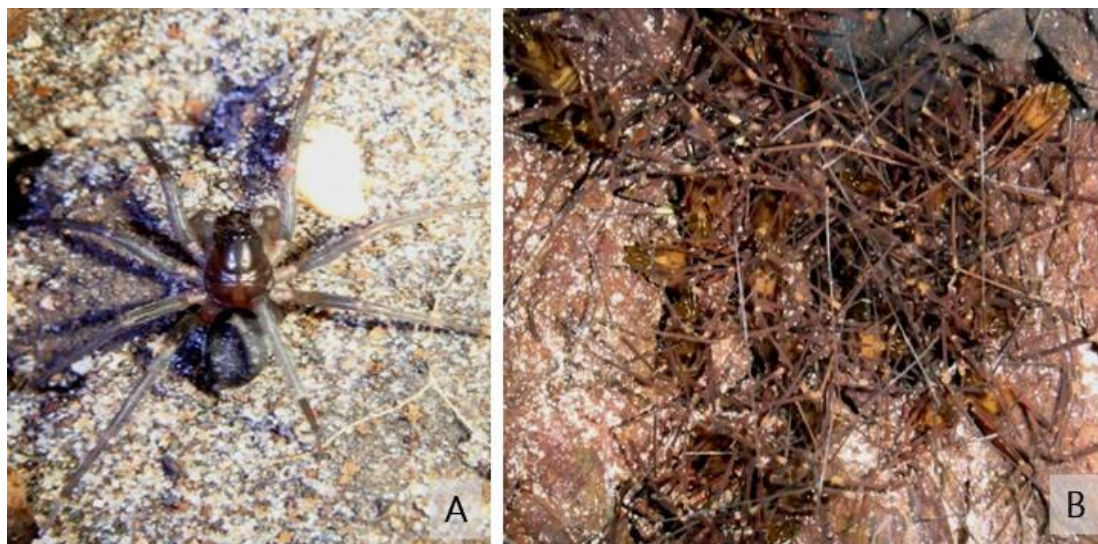
Em relação aos invertebrados, destaca-se que o filo Annelida foi representado pela subclasse Oligochaeta, pelo morfótipo terrestre Haplotaxida sp.2 ocorrendo no sedimento fino de duas cavidades (GS-28 e GS-31).

A classe Arachnida (Figura 27) foi representada subclasse Acari e pelas ordens Araneae, Opiliones, Palpigradi e Pseudoscorpiones. Exemplares de Acari distribuíram-se em 11 morfótipos pertencentes à nove famílias, sendo Galumnidae e Rhagidiidae as famílias mais frequentes, ocorrendo - cada uma - em três cavidades.

A ordem Araneae foi representada por 31 morfótipos, distribuídos em 13 famílias. As famílias mais ricas em espécies foram Theridiidae com cinco morfótipos, seguida por Linyphiidae e Pholcidae com quatro morfoespécies cada. A cavidade GS-28 foi caracterizada pela maior quantidade de indivíduos, devido, principalmente, à ocorrência dos morfótipos *Achaearanea* sp.1 e *Thymoites* sp.1.

Os exemplares da ordem Opiliones pertencem à duas famílias, Sclerosomatidae e Gonyleptidae, pertencentes às subordens Eupnoi e Laniatores, respectivamente. A família Gonyleptidae foi a mais rica, com oito morfótipos, e também a mais frequente, ocorrendo em nove cavidades. Agregados de Gonyleptidae jovens foram encontrados em reentrâncias nas paredes e no teto das cavidades GS-28 e GS-29.

A ordem Palpigradi foi representada por um morfótipo, *Eukoenia* sp.1, família Eukoenidae, ocorrendo em quatro cavidades (GS-25 e GS-28) geralmente na zona de penumbra. Quanto ao último grupo de Arachnida inventariado, os representantes da ordem Pseudoscorpiones pertencem à família, Chernetidae com exemplares jovens nas cavidades GS-25 e GS-30, e somente um adulto *Spelaeochernes* sp.1 na cavidade GS-26.



**Figura 27. Representantes da classe Arachnida: Corinnidae na zona de entrada, cavidade GS-26, estação úmida (A); Agregado de opiliões jovens da família Gonyleptidae, cavidade GS-28 (B)**

A classe Chilopoda foi representada por quatro ordens Geophilomorpha, Lithobiomorpha e Scolopendromorpha totalizando quatro morfótipos. Apresentam alguns exemplares anoftálmicos adaptados à vida em ambientes escuros do solo e folhiço, encontradas com maior frequência na zona de entrada, sob pequenos blocos de rocha em sedimento fino.

A classe Diplopoda foi representada por duas ordens, Polydesmida (GS-28) e Spirostreptida (GS-28, GS-30 e GS-32), sendo essa última com uma maior abundância de exemplares.

A classe Symphyla apresentou somente uma família (Scutigereidae), com dois morfótipos: *Scutigere* sp.1 (GS-28) e *Hanseniella* sp.1 (GS-28, GS-30, GS-32).

A classe Entognatha foi representada somente pela ordem Collembola. Os 13 morfótipos inventariados foram distribuídos em seis famílias: Entomobryidae, Isotomidae, Lepidocyrtidae, Paronellidae, Sminthuridae e Tomoceridae. A cavidade GS-28 apresentou a maior abundância, com mais de 20 indivíduos coletados. O morfótipo Paronellidae sp.1, foi o mais frequente, ocorrendo em seis cavidades do projeto.

A classe Insecta (Figura 28) foi representada por 11 ordens distintas. A ordem Blattaria foi distribuída em três famílias Blaberidae, Blattellidae e Polyphagidae. Os exemplares estiveram distribuídos em quatro cavidades, cada uma, com um morfótipo distinto.

A ordem Coleoptera apresentou 12 morfótipos inventariados em nove cavidades. Larvas de Tenebrionidae foram consideradas como a mais frequentes, se comparadas aos demais representantes da ordem. A cavidade GS-28 apresentou a maior quantidade de morfótipos (quatro).

A ordem Diptera abarcou um total de 15 famílias, sendo Tipulidae, Cecidomyiidae e Psychodidae consideradas as mais frequentes. Os morfótipos estiveram distribuídos, em sua maioria, em uma ou duas cavidades, ocorrendo destaque para Bruchomyiinae sp., Cecidomyiinae sp.1, Ceratopogonidae (larva) e Tipulinae sp., inventariados em três cavidades distintas. Na cavidade GS-28 houve a maior riqueza de Diptera, com nove morfoespécies amostradas.

A ordem Hemiptera foi composta por exemplares pertencentes às subordens Auchenorrhyncha (Homoptera) e Heteroptera. Homoptera esteve distribuída em duas famílias, sendo jovens de Cixiidae considerados como os mais frequentes, enquanto Heteroptera foi representada por três famílias, com destaque para os jovens de Reduviinae, presentes em sete cavidades do projeto.

A ordem Hymenoptera apresentou oito morfoespécies pertencentes à uma única família: Formicidae, sendo *Hypoponera* sp.1 e *Linepithema* sp.1 consideradas como as mais frequentes (cada uma, inventariada em quatro cavidades). As cavidades GS-26 e GS-28, apresentaram a maior riqueza de espécies, quando comparada às demais.

A ordem Isoptera foi representada por uma morfoespécie pertencente à família Termitidae e gênero *Nasutitermes*. A ordem Lepidoptera compreendeu apenas exemplares jovens e um morfótipo pertencente à subordem Glossata. A ordem Neuroptera foi representada por larvas predadoras de Myrmeleontidae, amostradas no fundo de suas depressões características formadas em sedimento fino, próximo da linha d'água das cavidades GS-25 e GS-31.

A ordem Orthoptera foi registrada pela presença de três morfótipos pertencentes às famílias Mogoplistidae e Phalangopsidae, sendo os representantes jovens, considerados os mais frequentes nas cavidades. As cavidades GS-25, GS-28 e GS-31 apresentaram a maior quantidade de morfótipos quando comparadas às demais.

A ordem Psocoptera esteve distribuída entre as subordens Psocomorpha e Trogiomorpha contemplando o inventário de oito morfótipos distintos. Destaca-se que jovens de Psocomorpha foram os mais frequentes, sendo amostrados em oito cavidades.



**Figura 28. Representantes da classe Insecta: Parte do duto de isópteros *Nasutitermes* no piso, cavidade GS-31 (A); Grilo falangopsídeo macho jovem *Endecous* sp., cavidade GS-28 (B);**

A classe Malacostraca foi representada pela ordem Isopoda, contemplando duas famílias: Dubioniscidae (duas cavidades) e Philloscidae (uma cavidade). *Dubioniscidae* sp.1. foi considerado como o morfótipo mais frequente.

Em relação aos vertebrados, destacam-se as classes Amphibia e Mammalia representadas pelas ordens Anura e Chiroptera, respectivamente. A ordem Anura, apresentou exemplares distribuídos em quatro cavidades do projeto, evidenciando-se as cavidades GS-28 e GS-31 pelo registro de morfótipos em ambas estações. Já a ordem Chiroptera, apresentou um número menor de registro, com exemplares inventariados somente em três cavidades, durante a estação úmida.

Destaca-se que a metodologia de inventário dos vertebrados no presente estudo priorizou a utilização de registros fotográficos para posterior identificação. Objetivou-se minimizar a interferência sobre a fauna local mantendo a integridade da dinâmica das populações, mesmo que o refinamento da identificação fosse comprometido. Dessa forma, verificou-se que as identificações efetuadas pelas análises dos registros fotográficos foram limitadas até onde houve possibilidade de reconhecimento de caracteres morfológicos utilizados para a distinção entre as espécies, gêneros ou famílias. Para o presente estudo, permitiu-se apenas a identificação em categorias taxonômicas hierarquicamente superiores. Entretanto, devido à importância de tais registros para o levantamento da fauna das cavidades, bem como para a aplicação dos atributos dispostos na IN MMA N°02/2017, preferiu-se incorporar tais resultados como forma de ampliar o conhecimento sobre a fauna cavernícola.





**Figura 29 Representante da classe Amphibia: *Scinax* gr. *ruber*, cavidade GS-31**

Em relação ao julgamento dos atributos pela IN MMA N°02/2017 relacionados ao ecossistema cavernícola na escala local, agruparam-se neste contexto, a “Presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante”, “População residente de quirópteros”, “Presença de população excepcional em tamanho”, “Constatação de uso da cavidade por aves silvestres como local de nidificação”, e “Constatação de uso da cavidade por espécies migratórias”.

Para a **presença de populações estabelecidas de espécies com função ecológica importante**, considerou-se o registro de populações de quirópteros polinizadores, dispersores de semente e insetívoros, conforme descrito na IN MMA N°02/2017. Apesar da referida norma não definir claramente o que deve ser entendida como população estabelecida, utilizou-se, neste relatório, como base de definição deste atributo, os critérios: presença de guano e de indivíduos com função ecológica importante em, ao menos, uma campanha do inventário. Assim, das dez cavidades avaliadas, somente na GS-32 atribui-se o critério devido à ocorrência de exemplares pertencentes à família Phyllostomidae e da presença de guano de morcegos de dieta frugívora. Tal cavidade foi caracterizada, portanto, pela ocorrência do atributo.

Já na análise do atributo **população residente de quirópteros**, dessa vez, a questão temporal torna-se importante na definição da variável a ser aplicada. O conceito adotado IN MMA N°02/2017 é bem claro quanto à necessidade de se levar em conta a presença contínua da população. Dessa forma, o atributo seria considerado presente quando indivíduos da mesma espécie de morcegos foram observados nas duas campanhas na mesma cavidade, fato esse, não identificado nas cavidades em análise.

A avaliação do atributo **presença de população excepcional em tamanho** - levando em conta que a IN MMA N°02/2017 não apresenta clara definição para o termo “excepcional” - foi subsidiada pela experiência da equipe técnica da Carste Ciência e Meio Ambiente. Neste caso, não foi constatada a presença de populações que destacassem a presença do atributo.

De acordo com os dados ambientais obtidos em campo, não foram observados representantes da classe Aves nas cavidades inventariadas, nem tampouco vestígios tais como ninhos, cascas de ovos ou outros,

que indicassem a **constatação do uso das cavidades por aves silvestres como local de nidificação**. Da mesma forma, não foi possível constatar o “Uso das cavidades por espécies migratórias”.

Já a avaliação dos atributos pela IN MMA Nº 2/2017 relacionados ao ecossistema cavernícola na escala regional, contemplou os elementos “Presença de composição singular de fauna”, “Presença de singularidade dos elementos faunísticos da cavidade”, “Riqueza de espécies” e “Diversidade de espécies”.

O atributo **presença de composição singular de fauna** foi considerado ausente para todas as cavidades estudadas devido à inexistência de populações estabelecidas de espécies de grupos pouco comuns ao ambiente cavernícola. Destaca-se que a fauna inventariada trata-se em sua maioria, de espécies comuns ao meio epígeo, sendo que o ambiente cavernícola se constituiu na maior parte das cavidades como uma área de transição entre o meio externo e o subterrâneo. Tal fato proporcionou a presença dessas espécies no interior das cavidades.

Comparando-se os elementos bióticos amostrados nesse estudo com os encontrados sob enfoque regional, em nenhuma das cavidades estudadas foi possível observar alguma especificidade ou endemismo que justificasse a **presença de singularidade dos elementos faunísticos**. Tal fato seria avaliado, caso tivessem sido amostrados elementos faunísticos com características diferentes das normalmente observadas em outros indivíduos, das mesmas espécies, presentes em cavidades da mesma unidade geomorfológica.

A análise da **riqueza de espécies** foi realizada conforme estabelecido no parágrafo 7º, artigo 15, da IN Nº 2/2017, que determina que o atributo deverá ser avaliado comparando os valores obtidos entre cavidades da mesma litologia, sob enfoque local.

A escala local denominada Escarpa Oriental do Caraça engloba as cavidades em estudo, que por sua vez encontram-se inseridas em rochas ferríferas. O agrupamento de cavidades a serem incluídas na análise desse atributo também levou em consideração somente as cavidades já contempladas com estudos bioespeleológicos e com material biológico pareado entre si. Tal seleção de amostra compreendeu, portanto, um total de 24 cavidades (Tabela 2).

Com base nos resultados obtidos para as cavidades da amostra local, aquelas com número de morfótipos maior ou igual a 46,68 (média + desvio padrão) foram consideradas de alta riqueza de espécies, as com número de morfótipos menor ou igual a 13,56 (média - desvio padrão) foram consideradas de baixa riqueza de espécies e as com número de morfótipos entre esses valores foram consideradas de média riqueza de espécies (Tabela 2).

**Tabela 2. Riqueza total de morfoespécies (*S*-Total) para as cavidades da amostra local e classificação do atributo para as cavidades incluídas do projeto**

Cavidades	<i>S</i> - total	Classificação
GS-23	11	BAIXA
GS-24	14	BAIXA
GS-25	28	MÉDIA
GS-26	30	MÉDIA
GS-27	16	MÉDIA
GS-28	59	ALTA
GS-29	15	MÉDIA
GS-30	36	MÉDIA
GS-31	34	MÉDIA
GS-32	25	MÉDIA
C-1	50	-
C-2	60	-
C-3	31	-
C-4	25	-
GS-05	15	-
GS-08	29	-
GS-10	14	-
GS-11	18	-
GS-12	27	-
GS-13	25	-
GS-20	19	-
GS-33	77	-
GS-35	36	-
GS-36	30	-
<b>Média</b>	<b>30,12</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>16,55</b>	

A análise do atributo **diversidade de espécies** considerou os mesmos critérios referentes ao agrupamento de cavidades na amostra da escala local realizado para a “Riqueza de espécies”.

A metodologia adotada para a análise da diversidade consistiu em três etapas. Na primeira, foram tabelados os valores de abundância absoluta disponível de cada morfoespécie obtidos durante as observações de campo e nas identificações do material coletado. Na segunda, calculou-se, com o auxílio do programa PAST 3.13, os valores dos índices de diversidade para cada cavidade da amostra local, utilizando-se o índice de Shannon. Por fim, calculou-se a média e o desvio padrão dos dados obtidos para a amostra.

Com base nos resultados obtidos para 24 cavidades da amostra local, as cavidades do projeto alvo do presente estudo com índices maiores que 3,43 (média + desvio padrão) foram consideradas de alta diversidade de espécies, as com índices menores que 2,68 (média - desvio padrão) foram consideradas

de baixa diversidade de espécies e as com índices entre esses valores foram consideradas de média diversidade de espécies (Tabela 3).

Tabela 3. Diversidade de espécies e classificação do atributo

Cavidades	H - Shannon	Classificação
GS-23	2,32	BAIXA
GS-24	2,21	BAIXA
GS-25	3,17	MÉDIA
GS-26	3,37	MÉDIA
GS-27	2,74	MÉDIA
GS-28	3,42	MÉDIA
GS-29	1,94	BAIXA
GS-30	3,42	MÉDIA
GS-31	2,90	MÉDIA
GS-32	2,83	MÉDIA
C-1	3,67	-
C-2	3,76	-
C-3	3,14	-
C-4	3,18	-
GS-05	2,606	-
GS-08	3,193	-
GS-10	2,752	-
GS-11	2,79	-
GS-12	3,18	-
GS-13	2,798	-
GS-20	2,524	-
GS-33	3,441	-
GS-35	3,351	-
GS-36	2,193	-
<b>Média</b>	<b>2,953</b>	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,485</b>	

#### 4.2.2. Atributos relacionados à ocorrência de espécies nas escalas regional e local

No que se refere à avaliação dos atributos pela IN MMA N°02/2017 relacionados à ocorrência de espécies na escala local, agruparam-se neste contexto a "Presença de táxons novos", "Presença de espécies troglomórficas" e a "Presença de troglóxeno obrigatório".

Em relação à **presença de táxons novos**, de acordo com os resultados apresentados pelos profissionais responsáveis pelas identificações, cinco morfótipos foram considerados como espécies novas, ou seja, táxons ainda não descritos formalmente. Tais morfoespécies pertencem às ordens Collembola, Araneae e Opiliones, sendo o atributo registrado para aquelas cavidades onde esses organismos foram inventariados: GS-25, GS-26, GS-27, GS-28 e GS-32 (Quadro 1).

**Quadro 1. Morfótipos categorizados como táxons novos e respectivas distribuições nas cavidades avaliadas**

Táxons novos	Cavidades
<i>Ochyroceratidae</i> sp.n.1	GS-28
<i>Eusarcus</i> sp.n.1	GS-26, GS-28
<i>Spinopilar</i> sp.n.1	GS-32
<i>Cyphoderus</i> sp.n.1	GS-28
<i>Pseudosinella</i> sp.1	GS-25, GS-27, GS-28
<i>Pararrhopalites</i> sp.n.2	GS-28

A análise do atributo **presença de espécies troglomórficas** levou em consideração o conceito proposto na IN MMA N°02/2017 definido como “animais cujas características morfológicas revelem especialização decorrente do isolamento no ambiente subterrâneo”. No entanto, ao se contrapor esse conceito com o estabelecido pela mesma norma para “troglóbios” (animais de ocorrência restrita ao ambiente subterrâneo), percebe-se certa sobreposição entre eles, uma vez que se a espécie é isolada ao ambiente subterrâneo, conseqüentemente ela é restrita a ele.

Deste modo, para análise dos atributos relacionados a esses conceitos, seguiram-se literalmente as definições estabelecidas na citada Instrução Normativa, tratando espécie troglóbia como sinônimo de espécie troglomórfica.

Nas cavidades em análise foram encontrados organismos com características que, se comparadas às demais espécies de seus grupos taxonômicos, apresentam troglomorfismos relacionados à vida no ambiente subterrâneo (redução de olhos ou anoftalmia e/ou coloração pálida do corpo). Tais representantes correspondem a uma espécie de aranha e a duas morfoespécies de colêmbolos (Quadro 2).

**Quadro 2. Distribuição das morfoespécies consideradas troglóbias**

Ordem	Troglomórfico/Troglóbio	Cavidades
Araneae	<i>Ochyroceratidae</i> sp.n.1	GS-28
Collembola	<i>Pseudosinella</i> sp.1	GS-25, GS-27, GS-28
	<i>Pararrhopalites</i> sp.n.2	GS-28

A aranha *Ochyroceratidae* sp.n.1 inventariada na cavidade GS-28, foi qualificada pelo especialista no grupo - Prof. Dr. Antônio Brescovit - como espécime desprovido de olhos, com longas e finas pernas e algumas variações morfológicas menores que o caracteriza como troglóbio (Figura 30).



**Figura 30. Vista dorsal de um exemplar de Ochyroceratidae sp.n.1, Mariana, MG**

Quanto aos representantes da ordem Collembola, segundo o especialista Prof. Dr. Douglas Zeppelini, o morfótipo *Pseudosinella* sp.1 encaixa-se em um grupo que necessita maiores estudos taxonômicos, uma vez que agrupa organismos com características morfológicas distintas e que, provavelmente, originarão espécies distintas. Preliminarmente, suspeita-se da existência de sete espécies dentro do morfótipo *Pseudosinella* sp.1, havendo possibilidade de alteração. Neste conjunto, pelo menos duas seriam troglóbias. Como essa definição necessita de estudos detalhados e complexos de descrição das espécies, *Pseudosinella* sp.1 (inventariada nas cavidades GS-25, GS-27 e GS-28) está sendo considerada, atualmente, troglóbia por precaução, conforme recomendação do especialista.

O colêmbolo Sminthuridae *Pararrhopalites* sp.n.2, encontrado na cavidade GS-28, tem redução dos olhos, apêndices alongados e redução de pigmentos, endossando a presença de características troglomórficas. De acordo com o taxonomista - Prof. Dr. Douglas Zeppelini Filho -, foi considerada espécie possível troglóbia.

Nesse sentido, a ocorrência de espécies que apresentaram características troglomórficas/troglóbias categorizaram o registro do atributo nas cavidades GS-25, GS-27 e GS-28.

Para a **presença de troglóxeno obrigatório**, considerando-se as observações de campo e o inventário faunístico realizado nas cavidades deste estudo, nenhuma espécie troglóxena apresentou populações com indícios de obrigatoriedade de utilização das cavidades para completar seu ciclo de vida. Sendo assim, o atributo em discussão tem a variável ausente para todas as cavidades estudadas.

Já a avaliação dos atributos pela IN MMA N°02/2017 relacionados à ocorrência de espécies na escala regional, contemplou os elementos "Presença de espécie rara" e "Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos".

No diagnóstico do atributo **presença de espécie rara**, foram desconsideradas as espécies troglóbias e analisadas, apenas, as espécies cavernícolas pouco comuns e com distribuição geográfica restrita. Da mesma forma que em outros atributos anteriormente discutidos, a experiência da equipe técnica da Carste

Ciência e Meio Ambiente, juntamente com a literatura especializada em casos específicos, baseou a análise ora apresentada. Nessas condições, não foi identificado nenhum indivíduo que apresentasse pouca ocorrência e distribuição geográfica restrita, pelo que até o momento é conhecido sobre as espécies coletadas.

No que se refere à **presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos**, a avaliação do atributo considerou distintas interpretações, conforme disposto a seguir:

O embasamento técnico sobre a determinação da raridade de espécies troglóbias foi subsidiado pelas orientações dispostas no “Workshop Técnico Científico Troglóbios Raros”, realizado em Belo Horizonte nos dias 03 e 04 de março de 2011. Tais orientações englobam o registro de três critérios, bastando o troglóbio se enquadrar em apenas um desses para ser considerado como raro:

Critério I - aquele troglóbio presente em até três cavidades,

Critério II - aquele troglóbio registrado por um único exemplar em cada cavidade ou,

Critério III - aquele troglóbio presente em cavidades distribuídas dentro de um raio de 500 m.

Levando-se em consideração sobre o que já é conhecido sobre a ocorrência das espécies *Ochyroceratidade sp.n.1*, *Pseudosinella sp.1* e *Pararrhopalites sp.n.2*, os especialistas dos grupos afirmam tratar-se de morfótipos amplamente distribuídos.

O morfótipo *Ochyroceratidade sp.n.1*, apresenta o registro em, no mínimo, dez cavidades, segundo o Prof. Dr. Antônio Brescovit. Atualmente, a confirmação exata de sua ocorrência é incerta devido aos empecilhos de pareamento gerados pelo incêndio acometido ao Instituto Butantan em 2010. A distribuição da morfoespécie abarca distintas localizações, conforme disposto no Quadro 3:

**Quadro 3. Ocorrência de *Ochyroceratidade sp.n.1***

Município	Projeto	Cavidades	Observações
Mariana (MG)	Projeto Fábrica Nova	FN-27	(2011, R. Andrade); (2010, R. Andrade);
Mariana (MG)	Projetos Samarco	GS-11, GS-28, GS-33, GS-35, GS-11 (jovem), GS-33 (jovem)	-
Mariana (MG)	Projeto Conta História	CHT-07, CHT-19, CHT-27	Coleção I, Butantan. Exemplares ainda não localizados devido ao incêndio na instituição
Morro do Pilar (MG)	Projeto Morro do Pilar	MPL-01B, MPL-01, MPL-01A	Coleção I, Butantan. Exemplares ainda não localizados devido ao incêndio na instituição
Itabirito (MG)	Projeto Mina do Pico	(am. 12, 13, 15, 16)	-
Rio Acima (MG)	Projeto Vargem Grande	VG-40	-

Segundo o especialista grupo Collembola - Prof. Dr. Douglas Zeppelini -, *Pseudosinella* sp.1 é amplamente distribuído, sendo o morfótipo recorrentemente amostrado em diversas cavidades brasileiras. O mesmo pode ser elucidado para *Pararrhopalites* sp.n.2 que apresenta distribuição reconhecida para outra cavidade da Serra do Caraça, além de cavidades localizadas nos municípios de Barão de Cocais, Mariana, Brumadinho, Vargem Grande, Rio Acima, Luislândia e Itabirito (Minas Gerais).

Dessa forma, em relação ao Critério I em análise, afirma-se que todas as morfoespécies troglóbias inventariadas no estudo, têm registro reconhecido em mais de três cavidades.

Em relação ao Critério II, as espécies *Pseudosinella* sp.1 e *Pararrhopalites* sp.n.2 não foram consideradas raras por apresentarem mais de um indivíduo por cavidade, computando também, a extensa ocorrência em diversas localidades do estado de Minas Gerais e do país (Tabela 4).

Tabela 4. Número de indivíduos de Collembola troglóbios registrados nas cavidades do projeto e demais localidades de ocorrências

Troglóbio	Abundância/Estação		Cavidades	Outros registros
	Seca	Úmida		
<i>Pseudosinella</i> sp.1	1	0	GS-25	Barão dos Cocais, Brumadinho, Caeté, Conceição do Mato Dentro, Congonhas, Itabirito, Luminárias, Mariana, Matozinhos, Morro do Pilar, Nova Lima, Pains, Pedro Leopoldo, Rio Acima, Santa Bárbara, Santo Antônio do Rio Abaixo, São José da Lapa, Sete Lagoas e Vargem Grande (MG)
	2	0	GS-27	
	1	0	GS-28	
<i>Pararrhopalites</i> sp.n.2	0	2	GS-28	Barão dos Cocais, Brumadinho, Conceição do Mato Dentro, Itabirito, Luislândia, Mariana, Rio Acima, e Vargem Grande (MG)

Levando-se em consideração somente as cavidades inseridas em empreendimentos da Samarco, verifica-se também, que o morfótipo *Ochyroceratidae* sp.n.1 não se enquadra no segundo critério de raridade devido o número de exemplares inventariados, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Número de indivíduos de *Ochyroceratidae* sp.n.1 ocorrentes nas cavidades inseridas em empreendimentos da Samarco

Troglóbio	Abundância/Estação		Cavidades
	Seca	Úmida	
<i>Ochyroceratidae</i> sp.n.1	1	1	GS-28
	1	4	GS-33
	0	2	GS-35
	0	1	GS-11

A aplicação do Critério III do workshop demonstrou que, para os três morfótipos considerados troglóbios, as cavidades de ocorrência estão distribuídas em limites que extrapolam o município de Mariana (fato que determina que cavidades já estariam, indubitavelmente, além da área estabelecida de um raio de 500 m).



O fundamento técnico sobre a determinação de troglóbio endêmico considerou as informações relatadas pelos especialistas nos grupos. Para o morfótipo troglóbio *Ochyroceratidae* sp.n.1, a sua distribuição é reconhecida em cavidades inseridas na Serra da Moeda (Quadrilátero Ferrífero) e na Serra do Caraça. A sua ocorrência em distintas Unidades Geomorfológicas descarta, portanto, a possibilidade de endemismo na escala local do projeto, conforme demonstrado na Figura 31. Sobre esse equivalente parâmetro, o mesmo pode ser elucidado para os colêmbolos *Pseudosinella* sp.1 e *Pararrhopalites* sp.n.2, com registros reconhecidos em cavidades localizadas em diversas litologias do Estado de Minas Gerais e do país.

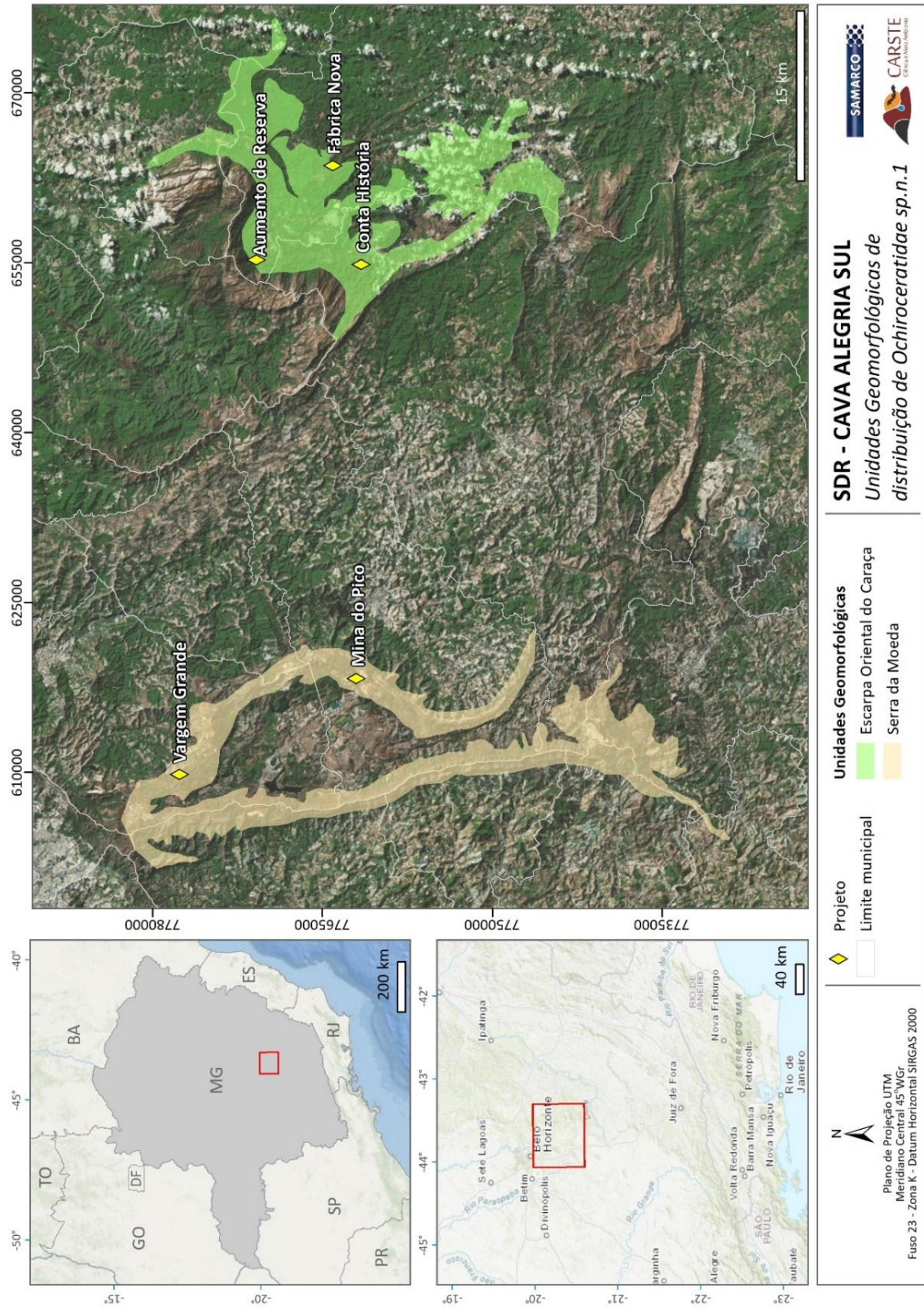


Figura 31. Distribuição de Ochyroceratidae sp.n.1 em distintas unidades geomorfológicas

Por fim, a análise sobre a ocorrência de troglóbios relictos filogenéticos ou geográficos, foi subsidiada também, pelo conhecimento atual das espécies pelos especialistas dos grupos. Segundo Prof. Dr. Antônio Brescovit., as aranhas da família Ochyroceratidae congregam comumente, espécies com seis olhos. Caracterizam-se por serem bem distribuídas em ambientes epígeos e reconhecidas por frequentemente habitarem ambientes úmidos e com pouca iluminação, como a serapilheira em florestas tropicais. Levando-se em consideração o mesmo nível taxonômico em que foi identificada, ou seja, o nível de família, a morfoespécie Ochyroceratidae sp.n.1 possui parentes próximos epígeos, descartando assim, a possibilidade de se tratar de um relicto filogenético. Em adição, para tal morfoespécie reconhece-se a presença de parentes epígeos (mesmo que categorizados em níveis taxonômicos superiores) na mesma região geográfica, não as enquadrando como relicto geográfico. Para as duas morfoespécies de Collembola consideradas como troglóbias, descarta-se também a possibilidade de se tratarem de relictos filogenéticos e geográficos, pelo fato de possuírem parentes próximos epígeos e na mesma região geográfica.

Dessa maneira, seguindo os embasamentos técnicos apresentados, as três morfoespécies troglóbias amostradas (Ochyroceratidae sp.n.1, *Pseudosinella* sp.1 e *Pararrhopalites* sp.n.2), foram consideradas não raras, endêmicas ou relictas na presente análise, sendo, portanto, o atributo considerado presente nas cavidades: GS-25, GS-27 e GS-28.

#### 4.2.3. Atributos relacionados à sedimentação química e clástica na escala local

Os depósitos químicos foram observados em todas as cavidades do estudo (Figura 32). De forma geral, são espeleotemas triviais ao litotipo estudado, como crostas (de óxidos/hidróxidos de ferro e crostas brancas) de dimensões e formatos distintos (Figura 33). A ocorrência de crostas ferruginosas, geralmente delgadas, foi frequente (observada nas 10 cavidades), bem como a presença de coraloides, de dimensões milimétricas a centimétricas (nove cavidades apresentaram esta tipologia de depósito). Por sua vez, escorrimentos, por vezes associados a pingentes, foram registrados em duas cavidades (Figura 32).

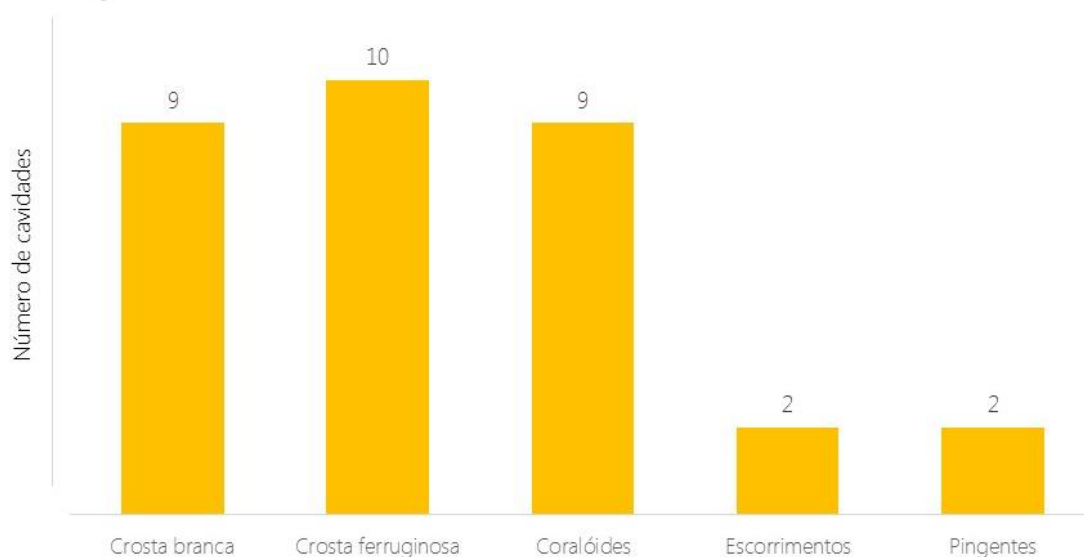


Figura 32. Tipologia de espeleotemas encontrado nas cavidades de estudo

Sobre a **diversidade destes depósitos**, este atributo é definido na IN MMA N° 02/2017 e refere-se à complexidade da deposição secundária de minerais em solução, em relação aos tipos de espeleotemas e processos formadores. Com base na classificação de Guimarães (1966), há três processos principais de deposição química:

- Depósitos de Águas Circulantes – são espeleotemas depositados através de águas meteóricas que se infiltram verticalmente a partir da superfície ou fluem pelo interior da cavidade. Entre os exemplos existentes em escala regional estão: crosta ferruginosa; crosta fosfática; escorrimento; estalactite; cortina; pingente; estalagmite; travertino e coluna.
- Depósitos de Águas de Exsudação – são formados por soluções hídricas que ocorrem nos espaços vazios da rocha (porosidade tanto primária quanto secundária) e exsudam para a superfície, gerando formas que não dependem de gotejamentos ou infiltração de água. Na escala regional estão os coralóides e alguns tipos de crostas, tais como crostas brancas e crostas negras (possivelmente manganêsíferas).
- Depósitos de Águas Estagnadas – formados em bacias no piso ou sobre patamares e palepisos onde há acúmulo intermitente de água. A evaporação resulta na precipitação dos minerais contidos na água, formando os espeleotemas. Exemplos deste tipo na escala regional são as crostas de óxido-hidróxido de ferro e as crostas fosfáticas. Destaca-se que estes tipos de crosta podem também se formar por águas circulantes.

Como referencial para a classificação da diversidade de espeleotemas, tem-se como premissa o reconhecimento de 11 tipos de espeleotemas para as cavidades do Quadrilátero Ferrífero. Dessa forma, determinou-se que a identificação de menos que 50% (valor inferior a 5) dos tipos presentes na unidade espeleológica é considerada como “poucos tipos” e, a partir de 50% (valor superior a 5) tem-se a correspondência com a classe “muitos tipos”. Todas as cavidades do projeto foram agrupadas na classe “Poucos tipos de espeleotemas ou processos de deposição” (Quadro 4).



Quadro 4. Tipos de espeleotemas registrados nas cavernas estudadas

Cavidade	Crosta branca	Crosta de óxido-hidróxido	Coraloides	Escorrimentos	Pingentes	Total
GS-23		X				1
GS-24	X	X	X			3
GS-25	X	X	X			3
GS-26	X	X	X			3
GS-27	X	X	X			3
GS-28	X	X	X	X	X	5
GS-29	X	X	X			3
GS-30	X	X	X	X	X	5
GS-31	X	X	X			3
GS-32	X	X	X			3

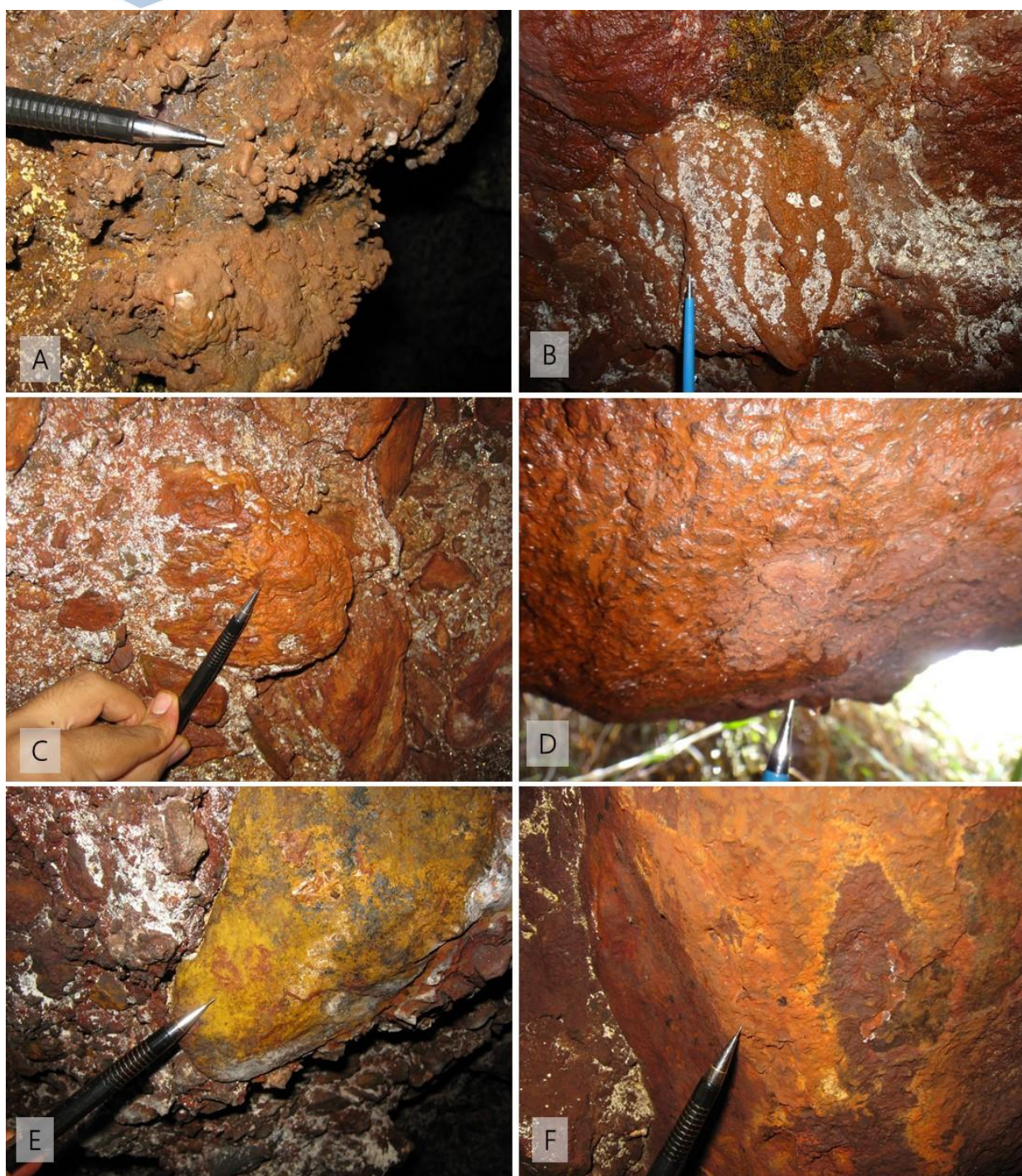


Figura 33. Tipologias de espeleotemas visualizadas nas cavidades do estudo. Observa-se crosta branca, delgada, associada a coraloides de ponta arredondada na cavidade GS-25 (A); Escorrimento na cavidade GS-28 (B); Crosta ferruginosa delgada na cavidade GS-28 (C); Crosta ferruginosa na caverna GS-30 (D); Crosta amarelada, delgada, observada nas paredes e teto da cavidade GS-31 (E); Crosta alaranjada na cavidade GS-30 (F)

A **configuração notável** destes depósitos foi analisada sob o enfoque local, de acordo com duas variáveis: (i) notável e (ii) pouco significativa. A IN MMA N° 02/2017 não estabelece parâmetros para a distinção entre o que é notável e o que é significativo. Para fins de análise, considerou-se que depósitos químicos notáveis apresentam destaque em relação à maturidade e desenvolvimento no conjunto de cavernas estudadas, bem como em comparação com as tipologias em escala regional. Também foram considerados como critérios, espeleotemas ou conjuntos de espeleotemas que apresentam abundância, beleza cênica e dimensão. Na área de estudo, nenhuma tipologia foi considerada notável, de modo que todos os depósitos apresentaram dimensões diminutas, apresentando-se, geralmente, de forma pontual ou limitada.

Neste grupo de atributos, considerado a IN MMA N° 02/2017, também são caracterizados **os depósitos clásticos**. Estes compreendem todo material transportado e depositado ao longo dos condutos das cavernas. Em relação à granulometria dominante, 60,0% das cavidades apresentam predominância de sedimentos de granulometria fina, sobretudo da fração argilo arenosa a argilo siltosa, compostos por argilominerais (Figura 34). Apresentam coloração bruno avermelhada a bruno escuro e ocorrem de forma generalizada no interior das cavernas. Nas cavidades GS-24 e GS-26, a influência da deposição esporádica de sedimentos aluviais, favorece a acumulação de sedimentos de granulometria areno siltosa de coloração branca acinzentada, de origem aluvionar, compostos primordialmente por quartzo.

Por sua vez, os sedimentos de granulometria grosseira, predominante em 40,0% da amostra (Figura 34), são das frações calhau e matacão, apresentam-se angulosos a subangulosos e compostos de canga. Sua ocorrência pode ser generalizada, como nas cavidades GS-30 e GS-32, ou se concentrarem, sobretudo, nas porções proximais das cavidades.

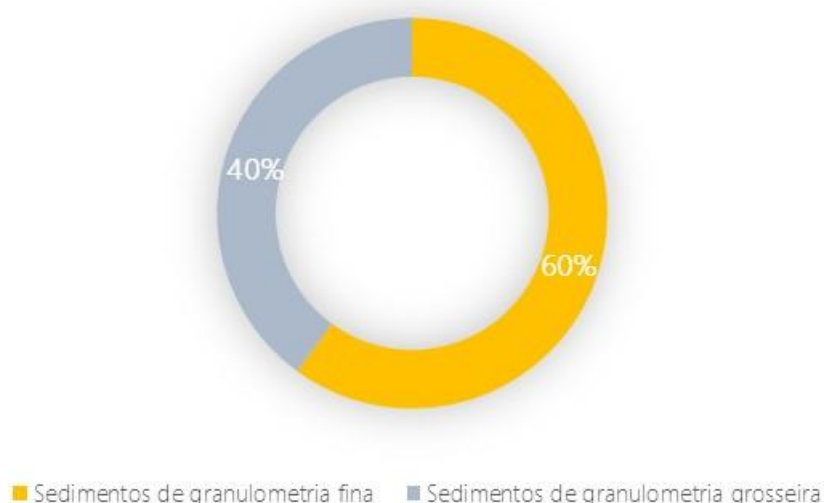


Figura 34. Granulometria predominante nas cavidades do estudo

Os sedimentos visualizados nas cavidades podem ter origem autóctone, gerado pelos resíduos insolúveis da rocha ou de sedimentos derivados de abatimentos no interior da cavidade, alóctone, oriundo de aporte

de sedimentos da paisagem externa, por meio de discontinuidades da rocha ou presença de mesofeições de aporte, como canalículos e claraboias ou mista. Nas cavidades da área, a origem do material grosseiro é associada a origem autogênica, gerada, sobretudo, por processos de abatimento. O esvaziamento da matriz terrígena da canga, também pode ser fator influenciador da ocorrência maior de clastos. No que diz respeito aos sedimentos de granulometria fina, estes são, sumariamente, de origem mista, oriundo da alteração do substrato encaixante ou a partir de canalículos e discontinuidades da rocha como juntas e fraturas.

Sobre as formas de acumulação, destaca-se a presença de cone de sedimentos finos que ocupa parte considerável do piso na porção central da cavidade GS-25. Cabe destacar que este cone está atualmente inativo, de modo que não há aporte de material para a feição no atual estágio evolutivo da cavidade. A origem desta forma se deu em etapas passadas, em condições ambientais diferenciadas que favoreciam a entrada de sedimentos de forma considerável para o interior da cavidade. O recuo da escarpa de inserção da cavidade, com geração e o alargamento de entrada pode ter alterado a dinâmica sedimentar e provocado a interrupção do aporte externo considerando este cenário. Na cavidade GS-30 foram observadas rampas de sedimentos, sendo a mais expressiva localizada no conduto de interligação entre os ambientes leste e oeste. Esta rampa é composta por sedimentos de granulometria fina e sedimentos de fração grosseira de forma pontual e concentradas na base da rampa, próximo à entrada leste.



**Figura 35. Ocorrência de formas de deposição nas cavidades: Cone de sedimentos na cavidade GS-25 (A); Rampa de sedimentos na caverna GS-31**





Figura 36. Caracterização dos sedimentos clásticos. Predomínio de sedimentos de matacões e calhau no piso da cavidade GS-30 (A); Sedimentos de granulometria grosseira no piso da cavidade GS-32 (B); Matacões de dimensões métricas na cavidade GS-30 (C); Sedimentos aluviais na cavidade GS-24 (D); Sedimentos de granulometria fina na cavidade GS-23 (E)

Para os depósitos clásticos, a IN MMA Nº 02/2017 contempla a existência de “**interesse/importância científica ou didática (biológica, climática, paleoclimática, antropológica, paleontológica)**”. Sobre os depósitos clásticos, não foram observados pacotes sedimentares estruturados, que representam diferentes ciclos de sedimentação no interior das cavidades e que podem ser representativos para a interpretação dos processos evolutivos das mesmas e de seus contextos de inserção. Em relação aos depósitos químicos, não foi observada singularidade em relação às tipologias que justifique a atribuição da importância científica ou didática. Desta forma, os depósitos clásticos ou químicos das cavidades da área de estudo não apresentam aspectos que denotem valor científico.

#### 4.2.4. Atributos relacionados à hidrologia nas escalas regional e local

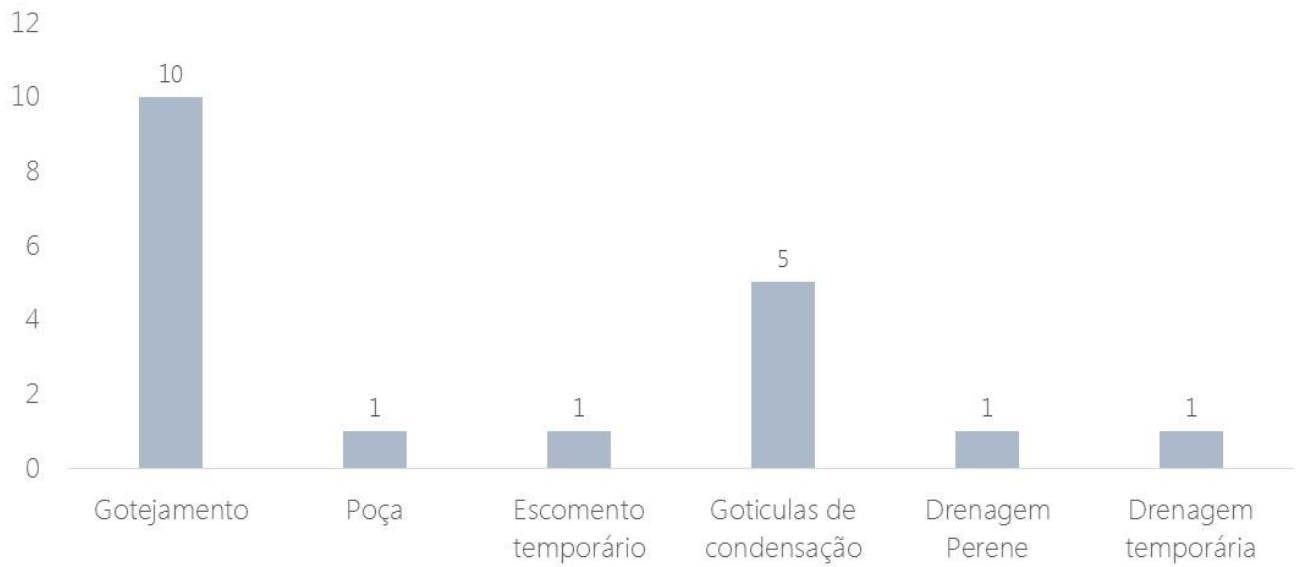
De forma generalizada, a entrada de aporte hídrico é influenciada pela presença de descontinuidades da rocha, sobretudo juntas de alívio e fraturas (Figura 37). A localização das cavidades, próximas à superfície, também favorece a entrada de fluxos superficiais que escoam via vertente, sendo este cenário observado em cavidades como GS-28 e GS-30 (Figura 37). Ademais, a ocorrência de canalículos junto ao terço inferior das paredes contribui de forma considerável para a entrada de água, como observado nas cavidades GS-24 e GS-28.



**Figura 37. Atributos que favorecem o aporte hidrossedimentar para o interior das cavidades. Pouca espessura do pacote rochoso de inserção das cavidades, localizando-se próximo a superfície favorece a entrada de água, como no caso da caverna GS-28 (A); e aporte condicionado a estruturas - cavidade GS-24 (B)**

Todas as cavidades estudadas apresentaram feições hidrológicas ativas durante a visita, ocorrida em época chuvosa (Figura 38). A ocorrência de gotejamentos foi percebida em todas as cavidades do projeto. Podem ocorrer de forma generalizada, como nas cavidades GS-28 e GS-30, ou concentradas na porção de entrada, a exemplo do cenário identificado na cavidade GS-27. Gotículas de condensação foram identificadas em 50,0% das cavidades. Escoamento e drenagem temporária ocorrem em apenas em 10,0%

do total. Cabe ressaltar que a maior parte destas feições hidrológicas observadas têm características intermitentes e ocorrem, na maioria dos casos, em resposta à eventos pluviais e ao impacto direto de águas meteóricas.



**Figura 38. Tipologias de feições hidrológicas visualizadas nas cavidades de estudo**

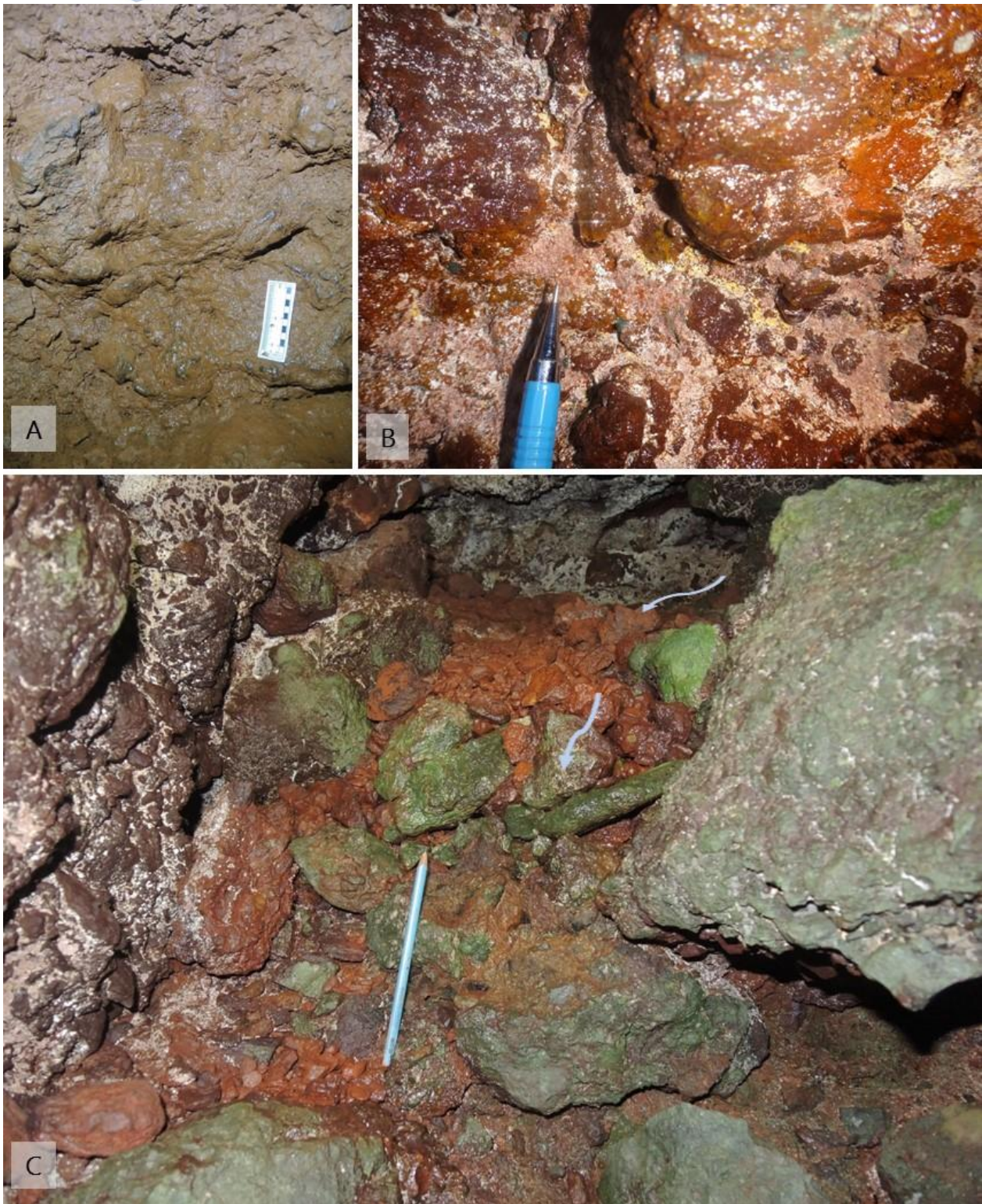


Figura 39. Exemplo de feições hidrológicas nas cavidades do estudo. Percolação associada à pequena abertura na parede da cavidade GS-28 (A); Gotejamento e percolação na cavidade GS-31 (B); Percolação na cavidade GS-32 (C);

Em relação ao julgamento dos atributos hidrológicos pela IN MMA N°02/2017 na escala regional, considera-se a presença de drenagem subterrânea e presença de lago. As cavidades do projeto não apresentam lago, contudo há drenagem subterrânea na cavidade GS-26. Por sua vez, na escala local, é analisada a presença de água de percolação e de condensação pela “infiltração de água através de poros, diáclases, falhas”. As cavidades GS-23, GS-24, GS-25, GS-28 e GS-31 apresentam ocorrência de um ou os dois tipos de feições hidrológicas supracitada (Quadro 5).

Quadro 5. Cavidades que apresentam água de percolação e gotículas de condensação

Cavidade	Percolação	Gotículas de condensação
GS-23	X	X
GS-24		X
GS-25		X
GS-26		
GS-27		
GS-28	X	X
GS-29		
GS-30		
GS-31		X
GS-32		

#### 4.2.5. Atributos relacionados à espeleometria nas escalas regional e local

A análise das dimensões das cavidades considerou quatro atributos principais: i) projeção horizontal; ii) desnível; iii) área, iv) volume. Os mapas topográficos das cavidades são apresentados no Anexo III. Para as cavidades do projeto, a projeção horizontal variou de 7,7 m (GS-32) a 23,2 m (GS-28), com média de 12,6 m e desvio padrão de 5,4 m. Por sua vez, a média de desnível nas cavidades foi de 1,9 m e o maior desnível foi observado na cavidade GS-25 (8,0 m). Sobre os dados de área (m<sup>2</sup>) e volume (m<sup>3</sup>), os maiores valores foram visualizados na caverna GS-26 (85,9 m<sup>2</sup> e 167 m<sup>3</sup>, respectivamente). Em relação a mediana, que corresponde ao valor que divide a amostra ao meio, o valor foi de 10,2 m para a projeção horizontal, enquanto que para o desnível, área e volume, os valores calculados foram 2,2 m, 24,7 m<sup>2</sup> e 46 m<sup>3</sup>, respectivamente. Ainda sobre o posicionamento dos valores no universo amostral, o percentil 20 foi de 8,7 m para projeção horizontal e 1,0 m<sup>2</sup> para área, ou seja, 20% dos dados estão abaixo dos valores supracitados.

**Tabela 6. Estatística descritiva dos parâmetros espeleométricos considerados**

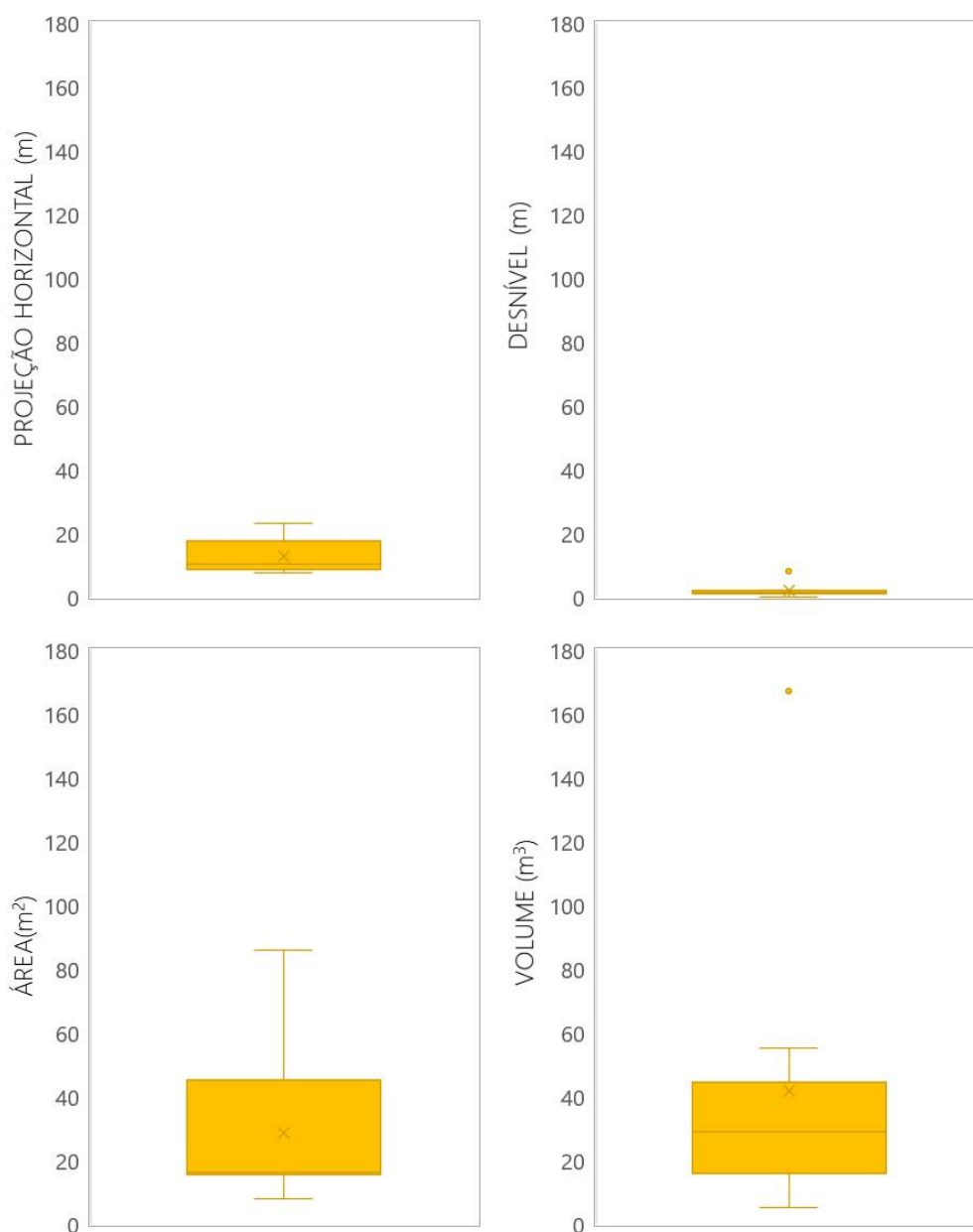
Parâmetros	PH (m)	Desnível (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Mínimo	7,7	0,0	8,0	5
Máximo	23,2	8,0	85,9	167
Média	12,6	1,9	28,5	42
Desvio Padrão	5,4	2,2	24,7	46
Mediana	10,2	1,4	16,3	29
Percentil (P20)	8,7	1,0	15,5	16

Ao analisar os *boxplots*<sup>1</sup> (Figura 40), gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados, nota-se que o valor de projeção horizontal apresenta linha da mediana próximo ao Q1, indicando assimetria positiva, com variabilidade relativamente grande. Sobre os valores de desnível considerando o universo amostral do estudo, há pouca variabilidade dos dados, refletindo distribuição simétrica dos dados. Contudo, nota-se a ocorrência de *outlier*<sup>2</sup>, representada pela cavidade GS-25. Em relação aos valores de área é observada distribuição assimétrica positiva, com variabilidade relativamente grande e a presença de *outlier* (cavidade GS-26). De forma semelhante, a caverna GS-26 também foi considerada uma cavidade “atípica”, em relação aos parâmetros espeleométricos, quando se avalia o volume. Sobre este parâmetro, verifica-se grande variabilidade e distribuição simétrica dos dados.

---

<sup>1</sup> Neste gráfico são apresentadas 5 estatísticas: o primeiro quartil (limite inferior da caixa), a mediana (linha intermediária), o terceiro quartil (limite superior da caixa), o máximo e o mínimo (linha superior e inferior).

<sup>2</sup> *Outliers* aparecem como pontos fora da caixa e são considerados valores discrepantes, refletindo no comportamento do universo amostral avaliado. A existência de *outliers* implica, tipicamente, em prejuízos à interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados às amostras.

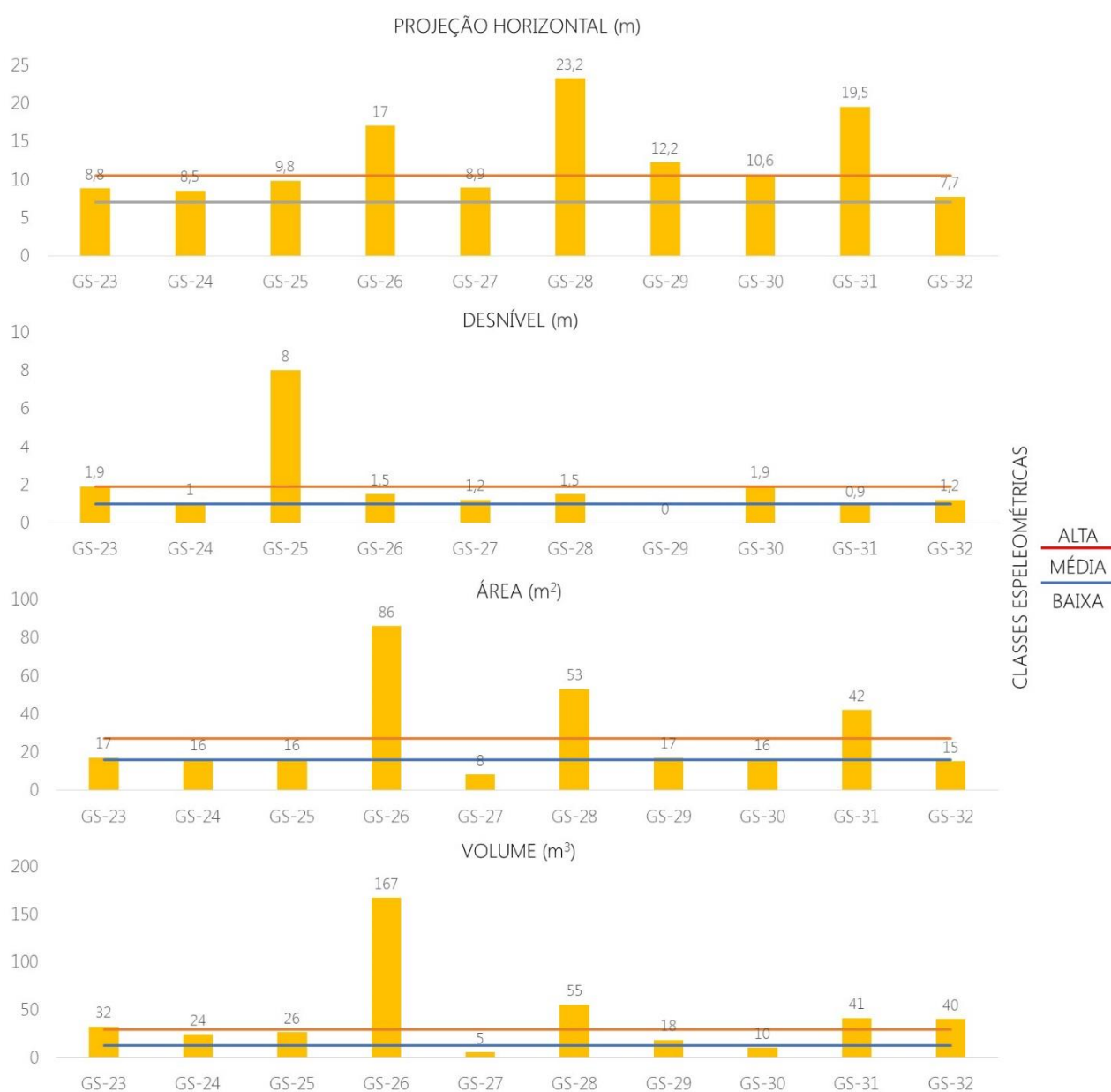


**Figura 40. Boxplots dos parâmetros espeleométricos das cavidades da área de estudo**

Segundo o Anexo II da IN Nº 02/2017, **projeção horizontal, desnível, área e volume** são classificados em relação aos percentis 20 e 50 observados nas cavidades nas escalas regional e local. Os valores de referência para a classificação constam na Tabela 8. Considerando os valores de referência para a classificação **na escala local** (Tabela 7 e Figura 41) as cavidades GS-26, GS-28, GS-29, GS-30 e GS-31 foram agrupadas na categoria "alta" em relação a projeção horizontal. Para o desnível, as cavidades GS-29, GS-31 e GS-24 foram alocadas na categoria "baixa" e as cavernas GS-23, GS-25 e GS-30 estão na classe "alta". Sobre as áreas, as cavidades GS-27 e GS-32 estão na categoria "baixa", enquanto as cavernas GS-26, GS-28 e GS-31 foram alocadas na categoria "alta" por apresentarem valores de área superior a 27 m<sup>2</sup>. Para o volume, as cavidades GS-23, GS-26, GS-28, GS-31 e GS-32 foram agrupadas na categoria alta (Figura 41).

**Tabela 7. Valores classificatórios para a espeleometria considerando a escala local**

Escala local (N=260)	Projeção Horizontal (m)	Desnível (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Percentil 20	7,0	1,0	15,7	12
Percentil 50	10,5	1,9	27,0	29
Alto (> percentil 50)	10,6	2,0 e 1,9	27,1	30
Médio (Intervalo entre percentil 20 e percentil 50)	7,0 e 10,5	1,0	15,7 e 27,0	12 e 29
Baixo (<percentil 20)	6,9	0,9	15,6	11


**Figura 41. Classes espeleométricas para a escala local e espeleometria das cavidades**



Para projeção horizontal, considerando a **escala regional**, três cavidades (GS-26, GS-28 e GS-31) foram inseridas na categoria alta, enquanto que as demais cavidades estão na categoria “média”. Para os valores de desnível, a cavidade GS-25 está alocada na categoria “alta”, enquanto que nesta categoria, para os valores de área, apenas as cavidades GS-26 e GS-31 apresentaram valores acima do estipulado (Figura 42).

Tabela 8. Valores classificatórios para a espeleometria considerando a escala regional

Escala regional (N=836)	Projeção Horizontal (m)	Desnível (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Percentil 20	7,3	0,9	15,7	12
Percentil 50	12,2	2,0	31,0	31
Alto (> percentil 50)	12,3	2,1	31,1	32
Médio (Intervalo entre percentil 20 e percentil 50)	7,3 e 12,2	0,9 e 2,0	15,71 e 31	12 e 30,58
Baixo (<percentil 20)	7,2	0,8	15,6	11



**Figura 42. Classes espeleométricas para a escala regional e espeleometria das cavidades**

#### 4.2.6. Atributos relacionados a interesse científico na escala local

A avaliação dos atributos pela IN MMA N° 02/2017 concernentes ao **interesse científico na escala local**, agrupou os elementos "Localidade tipo" e "Presença de registro paleontológicos".

Até o momento, nenhuma das cavidades inseridas na área do projeto em análise foram citadas como **local geográfico de exemplar tipo**, utilizado na descrição de espécies ou táxon superior. Provavelmente, as coletas de fauna que embasaram a análise em discussão foram as únicas realizadas nessas cavidades. Dessa maneira, esse atributo será considerado ausente para as cavidades em análise

Não foram registrados **vestígios paleontológicos** sobre os pisos das cavernas analisadas. Material paleontológico ainda não foi identificado em cavernas de minério de ferro, itabirito e canga, nas regiões do Quadrilátero Ferrífero e de Carajás (Carste 2009). Dois aspectos podem ser determinantes para essa ausência de material paleontológico. Os processos sedimentares são muito lentos nessas cavernas (baixa energia), ocasionando um longo período de exposição do material biológico (potencial) às intempéries. Em importantes jazidas paleontológicas, o rápido soterramento de carcaças ou material ósseo é condição fundamental para a conservação dos vestígios paleontológicos. As cavidades de minério de ferro, itabirito e canga são muito úmidas (proximidade com a superfície e rápida resposta aos eventos pluviais), ocasionando a degradação muito rápida do material biológico.

Neste item, também se avalia a **ocorrência de estruturas geológicas de interesse científico**. Como anunciado no item 3.1, foram visualizadas estruturas comuns da litologia de inserção como fraturas e juntas de alívio. Também não foram observados contatos litológicos ou estruturas singulares que justifique a atribuição do interesse científico para as cavidades do estudo.

#### 4.2.7. Atributos relacionados aos geossistemas

Diz respeito à influência da cavidade sobre as demais **estruturas e funções do sistema cárstico**, inclusive sua importância para a manutenção da estabilidade estrutural do sistema, a exemplo de subsidência, configurando-se sob dois aspectos, alta ou baixa. As cavernas GS-24 e GS-26 apresentam influência de drenagens de ordem temporária ou perene. Nestes casos, considerando uma análise holística da paisagem, foi atribuída importância para o sistema hidrológico, já que a dinâmica das feições hidrológicas inseridas nas cavidades está relacionada aos processos naturais que ocorrem no contexto da bacia hidrográfica de inserção como recarga, escoamento superficial, sedimentação, erosão, entre outros.

Sobre a **inter-relação da cavidade com outra de relevância máxima**, o item será avaliado ao final do relatório, após as análises dos atributos desta classe de relevância (item 4.3)

#### 4.2.8. Atributos histórico-culturais e socioeconômicos na escala local

Refere-se ao reconhecimento do valor paisagístico atribuído à cavidade (paisagem subterrânea ou superficial). Não há o reconhecimento do valor estético/cênico das cavidades estudadas. No que diz respeito à visita pública, de interesse difuso ou por grupo de usuários com interesse específico à investigação ou exploração espeleológica, recreação ou esporte, não há indicativo desse tipo de uso nas cavidades estudadas. Cabe mencionar que as cavernas se localizam em área de propriedade particular, com acesso restrito e controlado desde então.

### 4.3. ATRIBUTOS DE RELEVÂNCIA MÁXIMA

#### 4.3.1. Gênese única ou rara

A gênese de cavernas em formação ferríferas pode estar associada a diversos fatores, como litotipo ou contato entre diferentes tipos de rocha, posição na vertente e influência hidrológica. As interpretações acerca da gênese tornam-se limitadas pelas reduzidas dimensões da maioria das cavidades do estudo, de modo que não são visíveis as manifestações de feições ou padrões diagnósticos de origem e evolução.

De forma geral, a maior parte das cavidades parece ter sido formada a partir do aumento da porosidade da rocha emulado pelas variações do nível freático e pelos processos de lixiviação de minerais como sílica e dolomita (como nas cavidades GS-23, GS-28, GS-29, GS-31, GS-32). Nos atuais estudos envolvendo a espeleogênese em cavidades de ferro, os processos denudacionais também podem ser associados à fatores biológicos (Parker et al. 2013). A atividade microbiana que ocorre na zona interna da rocha (intemperizada e não muito profunda), é responsável pela redução do óxido de ferro ( $Fe^{+3}$ ), não solúvel, em ferro solúvel, hidróxido de ferro ( $Fe^{+2}$ ). A partir do carreamento destes elementos, tem-se um aumento considerável da porosidade das rochas.

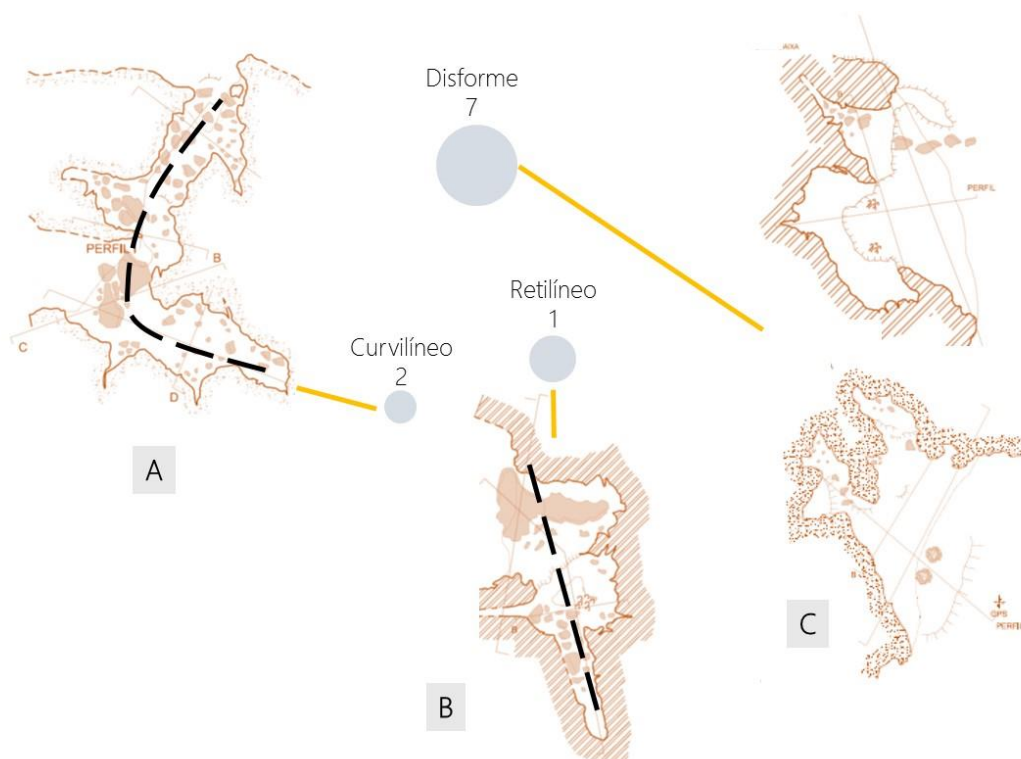
Sobre as fases de evolução subsequentes, a erosão fluvial foi indicada como um dos processos de desenvolvimento das cavidades GS-23, GS-24 e GS-26. Ademais, a ampliação por meio de canálculos contribuiu para o desenvolvimento da cavidade GS-27, refletindo a configuração do padrão planimétrico das mesmas (similar ao retilíneo). Cabe destacar que os processos de abatimento são fundamentais para o entendimento da história evolutiva das cavidades GS-23, GS-24, GS-26, GS-29, GS-30 e GS-31, e podem estar associados à própria evolução do relevo no qual se inserem. O recuo da escarpa rochosa de inserção das cavidades influi expressivamente no atual estágio evolutivo da maior parte destas cavidades, de modo a influenciar na atual conformação morfológica destas cavidades.

Diante do contexto apresentado, conforme indicação do Anexo I da IN N° 02/2017, nenhuma cavidade do estudo apresenta **gênese única ou rara**, sendo as hipóteses levantadas comuns para as cavidades com a litologia corresponde.

#### 4.3.2. Morfologia única

Sobre a morfologia das cavidades do estudo, constatou-se a ocorrência de três tipos de padrão planimétrico: retilíneo, curvilíneo e disforme (Figura 43). Cavernas retilíneas são formadas por condutos únicos ou simples, e seguem, normalmente, única direção preferencial de desenvolvimento, por vezes condicionada por fratura, junta ou pela direção inclinada do plano do bandamento da rocha. A caverna GS-27 apesar de suas pequenas dimensões, apresenta tendência retilínea. O padrão curvilíneo foi observado nas cavidades GS-28 e GS-30. As cavernas curvilíneas são formadas por um conduto principal que apresenta sinuosidade em seu eixo de desenvolvimento. Essa sinuosidade pode estar condicionada a interseção entre diferentes planos (fraturas e/ou plano do bandamento). As cavidades com padrão disforme são aquelas que não apresentaram morfologia definida em planta. Na área de estudo, estas são formadas, predominantemente, por câmaras compostas, com dutos menores, de tendência retilínea, e

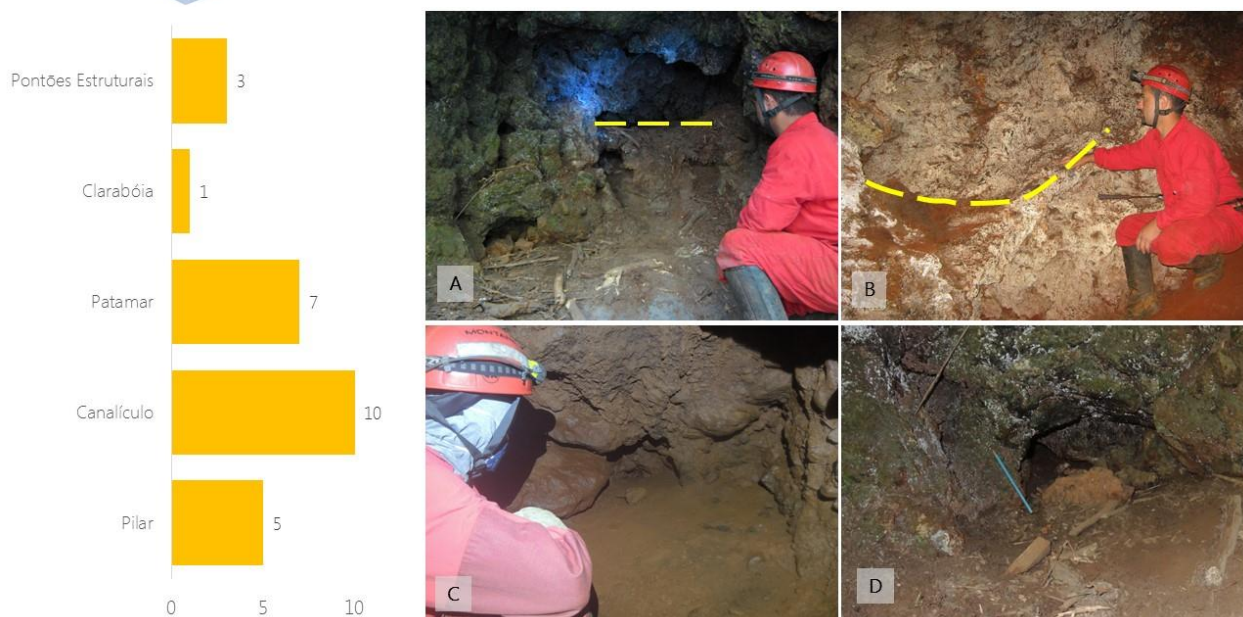
sala que conecta os diversos recuos, normalmente com formato retangular (como as cavidades GS-24, GS-25, GS-29).



**Figura 43. Padrão planimétrico das cavernas de estudo. Exemplos representativos de cada categoria: GS-30 (A); GS-27 (B); GS-23 e GS-24 (D)**

De forma geral, as seções transversais das cavidades são irregulares, sobretudo nas cavidades inseridas em canga, na qual as formas das paredes e teto se mostram disformes, influenciadas pela própria composição do depósito. Em relação as cavidades GS-28 a GS-32, as seções apresentam tendências mais regulares, controladas frequentemente pelas superfícies inclinadas do bandamento da rocha.

As meso e microfieções estão dispostas nas paredes, tetos e piso das cavidades. Foram identificadas seis tipologias de feições (Figura 44). Canalículos, pequenos condutos associados ao aporte hídrico sedimentar, foram observados em todas as cavidades, sendo comumente visualizados nos terços inferiores das paredes, próximos ao piso, ocorrendo também em pontos mais elevados, associados a patamares. Estes evoluem a partir de fraturas, juntas de alívio ou mesmo de pequenos poros existentes na rocha. Patamares foram visualizados em 50,0% das cavidades visitadas, sendo que estes correspondem a áreas elevadas em relação ao entorno. Por sua vez, pilares foram visualizados em 42,9% das cavidades, e alvéolos foram frequentemente (28,6%) visualizados em áreas onde a rocha apresenta-se alterada, devido à existência de zonas de fraqueza, como fraturas, juntas de alívio ou dobras, podendo ser um reflexo da maior porosidade da rocha. Outras feições menos frequentes são pontões estruturais e claraboia.



**Figura 44. Exemplo de mesofeições visualizadas nas cavidades do estudo. Patamares nas cavidades GS-24 (A); e GS-25 (B); Ocorrência de canalículo nas cavernas GS-28 (C) e GS-24 (D)**

Segundo o Anexo I da IN MMA Nº 2/2017, apresenta **morfologia única** a “cavidade que, no universo de seu entorno (escala local ou regional) e sua litologia apresente algum diferencial em relação à forma, organização espacial das galerias e/ou feições morfológicas internas (*espeleogens*), considerando o todo ou parte da cavidade”. As cavidades analisadas apresentam padrão planimétrico, morfologia das seções e mesoformas comuns em cavidades ferríferas, na escala local.

#### 4.3.3. Dimensões notáveis em extensão, área e/ou volume

Para a classificação de relevância máxima das cavernas com base nos valores espeleométricos, o termo “dimensões notáveis” foi definido, conforme Anexo I da IN MMA Nº 02/2017, para as cavidades que apresentem extensão (horizontal ou vertical), área ou volume superiores a 8 vezes a mediana relativa ao enfoque local ou regional. O desenvolvimento vertical foi avaliado a partir do desnível de cada cavidade. O cálculo estatístico para cada parâmetro espeleométrico (Tabela 9), considerando as amostras regional e local, indica que nenhuma cavidade do estudo apresenta dimensões notáveis nas escalas consideradas.

**Tabela 9. Critérios para a classificação no atributo dimensões notáveis**

ESCALA REGIONAL				
	PH (m)	DESNÍVEL (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME ESTIMADO (m <sup>3</sup> )
Mediana	12,2	2,0	31,0	31
Valor de referência para o atributo dimensão notável (8 x mediana)	97,7	16,0	248,0	245
Número amostral	836	789	789	789
ESCALA LOCAL				
	PH (m)	DESNÍVEL (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME ESTIMADO (m <sup>3</sup> )
Mediana	10,5	1,9	27,0	29
Valor de referência para o atributo dimensão notável (8 x mediana)	84,2	15,2	216,3	234
Número amostral	260	260	260	260

#### 4.3.4. Espeleotemas únicos

Para a avaliação deste atributo, os critérios considerados, também citados no Anexo I da IN MMA Nº 02/2017, dizem respeito a presença de depósitos químicos pouco comuns ou excepcionais em tamanho e mineralogia, bem como beleza cênica, considerando as escalas local e regional. Como comentado no item 4.2.3, foram visualizadas tipologias comuns em todas as cavidades como crostas e coraloides, sem destaque em relação ao tamanho e beleza cênica destes depósitos, de modo que nenhuma cavidade da área de estudo apresentou **espeleotemas únicos**.

#### 4.3.5. Isolamento geográfico

As cavidades do estudo não se enquadram na definição de **isolamento geográfico**, tendo em vista o elevado número de cavidades registradas na região do Quadrilátero Ferrífero (escala regional). Como demonstrado no item 2.3.1.1, são conhecidas, atualmente, mais de 1.000 cavidades de diferentes litologias nesta unidade espeleológica.

#### 4.3.6. Abrigo essencial para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de animais em risco de extinção, constantes de listas oficiais

Para a análise desse atributo, levou-se em conta a Deliberação Normativa COPAM Nº 147, de 30 de abril de 2010 (lista oficial das espécies da fauna ameaçadas de extinção para o estado de Minas Gerais), bem como as Portarias MMA nº 444/2014 e nº 445/2014 (listas oficiais federais das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção). Com base na listagem apresentada nas referidas normas e considerando-se os resultados das identificações apresentados pelos especialistas em cada grupo taxonômico aqui

apresentado, não foram amostradas espécies tidas como ameaçadas de extinção. Dessa forma, nenhuma cavidade apresentou tal atributo.

#### 4.3.7. Habitat para a preservação de populações geneticamente viáveis de espécies de troglóbios endêmicos ou relictos

Conforme discutido nos “Atributos relacionados à ocorrência de espécies nas escalas regional e local”, a análise da “Presença de espécies troglomórficas” e “Presença de troglóbios que não sejam considerados raros, endêmicos ou relictos” apontou que os morfótipos *Ochyroceratidae* sp.n.1 (Araneae), *Pseudosinella* sp.1 e *Pararrhopalites* sp.n.2 (Collembola), foram categorizados como troglóbios não endêmicos ou relictos. Desta forma, não houve registro do atributo para nenhuma cavidade do projeto.

#### 4.3.8. Habitat de troglóbio raro

Segundo o diagnóstico que subsidiou a discussão dos “Atributos relacionados à ocorrência de espécies nas escalas regional e local” o *status* de raridade (seguindo os três critérios indicados no Workshop Técnico Científico “Troglóbios Raros”), não foi aplicado para nenhum morfótipo considerado troglóbio no presente estudo. Dessa forma, o atributo foi considerado ausente nas cavidades avaliadas.

#### 4.3.9. Interações ecológicas únicas

De acordo com a IN Nº 2/2017, são consideradas únicas as interações duradouras, raras ou incomuns, incluindo interações tróficas, considerando-se o contexto ecológico-evolutivo. Entretanto, para as cavidades avaliadas, não foram observadas em campo, interações ecológicas que se enquadrassem com o conceito exposto.

#### 4.3.10. Cavidade testemunho

Tal atributo é definido como “cavidade testemunho de processos ambientais ou paleoambientais expressivos ou cavidade com grau de relevância alto apontada como salvo conduto para liberação de impactos a outra cavidade”. Considerando os critérios supracitados, nenhuma cavidade da área apresentou processos ambientais de destaque, sendo a maior parte deles influenciado pelo ambiente epígeo. Além disso, até o momento, nenhuma cavidade foi utilizada como compensação para impacto irreversível em outras cavidades. Desta forma, não há **cavidades testemunho** na área de estudo.

#### 4.3.11. Destacada relevância histórico cultural ou religiosa

O atributo é definido pela IN MMA Nº 02/2017 como “cavidades que apresentam testemunho de interesse arqueológico da cultura paleoameríndia do Brasil, tais como: inscrições rupestres, poços sepulcrais, jazigos, aterrados, estearias, locais de pouso prolongado, indícios de presença humana através de cultos e quaisquer outras não especificadas aqui, mas de significado idêntico a juízo da autoridade competente”.

O julgamento deste atributo foi baseado no estudo arqueológico específico (LUME 2018), que teve como objetivo investigar o potencial arqueológico das 14 cavidades existentes na área de influência direta do



empreendimento (Anexo VI). A pesquisa envolveu ainda a busca de vestígios arqueológicos e o reconhecimento da relevância histórico cultural conforme artigos 3 e 12 da IN MMA N° 02/2017. A prospecção arqueológica realizada em campo teve caráter não interventivo, de modo que foram levantadas o potencial de ocorrência da manifestação arqueológica em cada cavidade.

Em relação as cavidades deste estudo, não foi constatada **relevância histórica** em nenhuma delas, seja pelo baixo potencial de habitabilidade, relativo as pequenas dimensões da maioria delas, pela dificuldade de acesso e pela não ocorrência de grafismos rupestres, lítico e cerâmicos. Para algumas cavidades (GS-23, GS-29, GS-31), o potencial para ocorrência de artefatos líticos e cerâmico é médio, sobretudo pela existência de recobrimento sedimentar no piso das mesmas, contudo, estes não foram encontrados considerando a metodologia não interventiva. Os detalhes deste estudo constam no Anexo VI.

**Quadro 6. Resultado do levantamento arqueológico (histórico, cultural e religioso) nas cavidades do estudo (LUME 2018)**

Caverna	Relevância Histórica	Relevância Cultural	Relevância Religiosa
GS-23	Não	Não	Não
GS-24	Não	Não	Não
GS-25	Não	Não	Não
GS-26	Não	Não	Não
GS-27	Não	Não	Não
GS-28	Não	Não	Não
GS-29	Não	Não	Não
GS-30	Não	Não	Não
GS-31	Não	Não	Não
GS-32	Não	Não	Não

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação de relevância para as cavidades do projeto Disposição de Rejeito – Cava Alegria Sul foi baseada na avaliação dos atributos considerados na IN MMA N° 02/2017. A memória de cálculo da classificação considerando todos os atributos avaliados está no Anexo VII. Os atributos foram analisados de acordo com os grupos de análise, que por sua vez apresentam diferentes parâmetros, com pesos diferenciados. A pontuação final de cada grupo de atributos para escala local (Figura 45) demonstra que a ocorrência de espécies e a caracterização hidrológica foram influentes na classificação de relevância nesta escala.

Quanto aos atributos relacionado a ocorrência de espécies, 50,0% das cavernas apresentaram valores acima do considerado significativo quanto a ocorrência de espécie (90). Ademais, os grupos de atributos relacionados a hidrologia (presença de água de percolação e gotículas de condensação) e aos parâmetros espeleométricos foram considerados importantes para todas as cavidades da amostra. As cavidades GS-26 e GS-28 apresentaram destaque em relação a este parâmetro, sobretudo na projeção horizontal, área e volume. Após a apresentação dos atributos de relevância máxima, pode-se avaliar o item “Atributos relacionados aos geossistemas” referente a inter-relação com cavidades com alguma de máxima

relevância. Como constatado no item 4.3, nenhuma cavidade foi considerada como de relevância máxima, portanto a avaliação da inter-relação não se aplica neste projeto. Não foram observados atributos relacionados ao interesse científico e valores histórico-culturais e socioeconômicos.

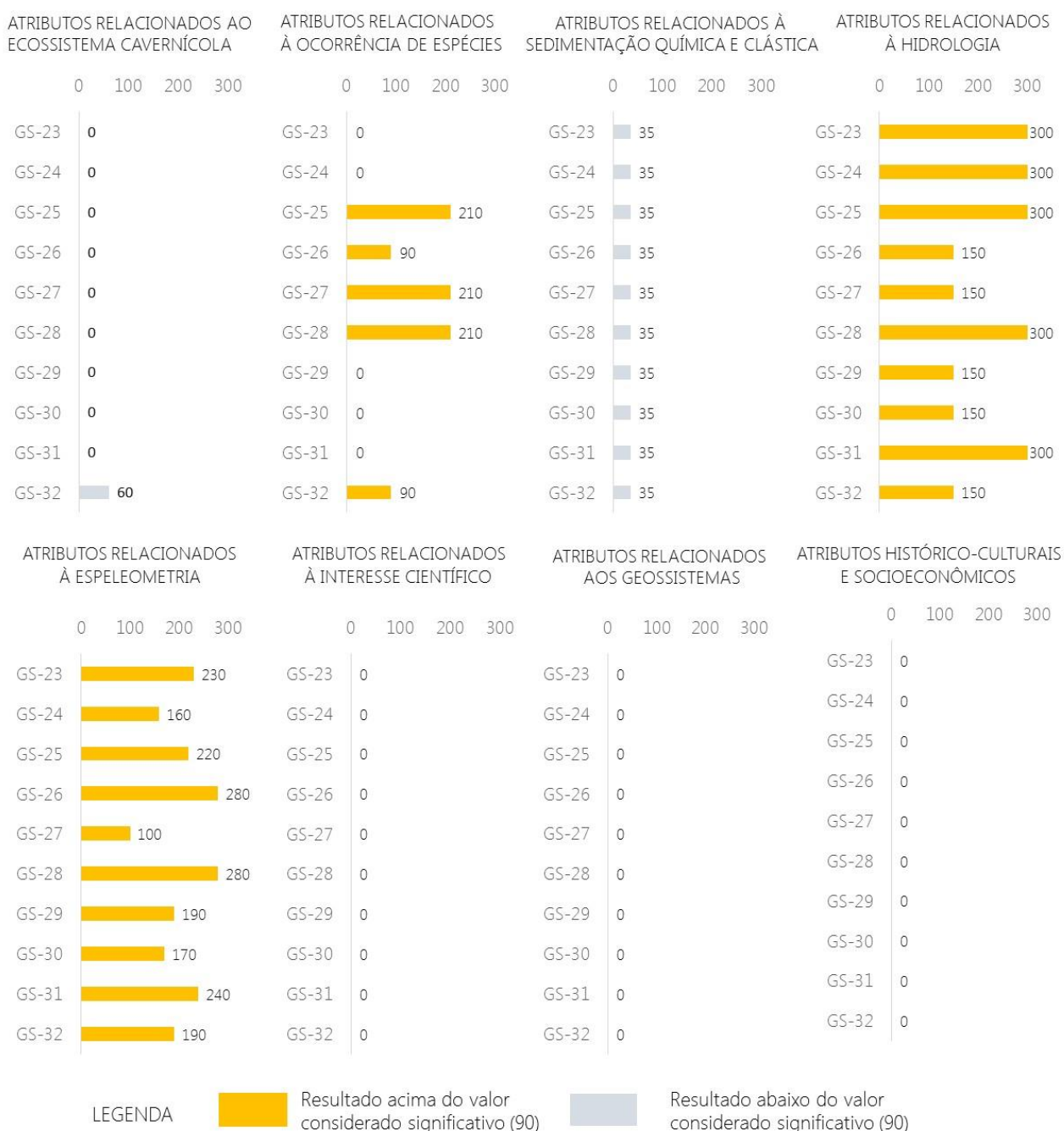


Figura 45. Resultado final da análise de relevância por grupos de atributos na escala local

Considerando a escala regional, 70,0% das cavidades apresentaram importância em relação aos atributos relacionados ao ecossistema cavernícola. Em relação a ocorrência de espécies, 30,0% das cavernas apresentaram valores acima do minimamente significativo para ser considerado na classificação de

relevância. Sobre a espeleometria, considerando a análise por atributos, todas as cavidades apresentaram valores acima do considerado importante (90). Assim como na escala local, as cavidades GS-26 e GS-28 apresentaram destaque neste conjunto de atributos. A presença de drenagem subterrânea na cavidade GS-26 foi fator importante para a pontuação desta caverna (150).

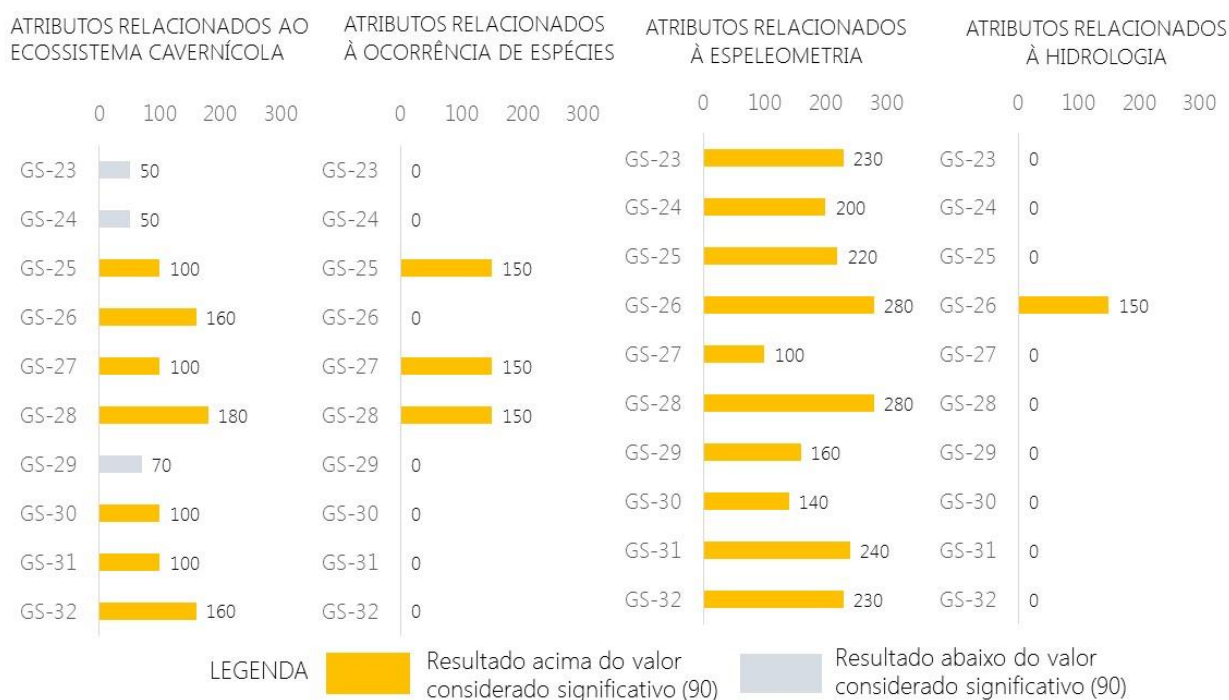


Figura 46. Resultado final da análise de relevância por grupos de atributos na escala regional

Segundo a IN N° 02/2017, a importância relativa dos atributos das cavidades naturais subterrâneas nas escalas local e regional, considera o número de grupos de atributos minimamente significativos. Para a escala local, todas as cavidades do estudo apresentaram importância significativa, enquanto que, na escala regional, sete cavidades exibiram importância acentuada (Tabela 10). A proposta final da classificação de relevância (Tabela 10 e Figura 47) demonstra que 70,0% das cavidades foram consideradas como de alta relevância, enquanto que 30,0% são de relevância média.

Tabela 10. Classificação de relevância das cavidades de estudo

Cavernas	Enfoque local		Enfoque Regional		RELEVÂNCIA
	Número de grupos considerados minimamente significativos	Importância	Número de grupos considerados minimamente significativos	Importância	
GS-23	2	Significativa	1	Significativa	RELEVÂNCIA MÉDIA
GS-24	2	Significativa	1	Significativa	RELEVÂNCIA MÉDIA
GS-25	3	Significativa	3	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA
GS-26	2	Significativa	3	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA
GS-27	2	Significativa	3	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA
GS-28	3	Significativa	3	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA
GS-29	1	Significativa	1	Significativa	RELEVÂNCIA MÉDIA
GS-30	1	Significativa	2	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA
GS-31	2	Significativa	2	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA
GS-32	2	Significativa	2	Acentuada	RELEVÂNCIA ALTA

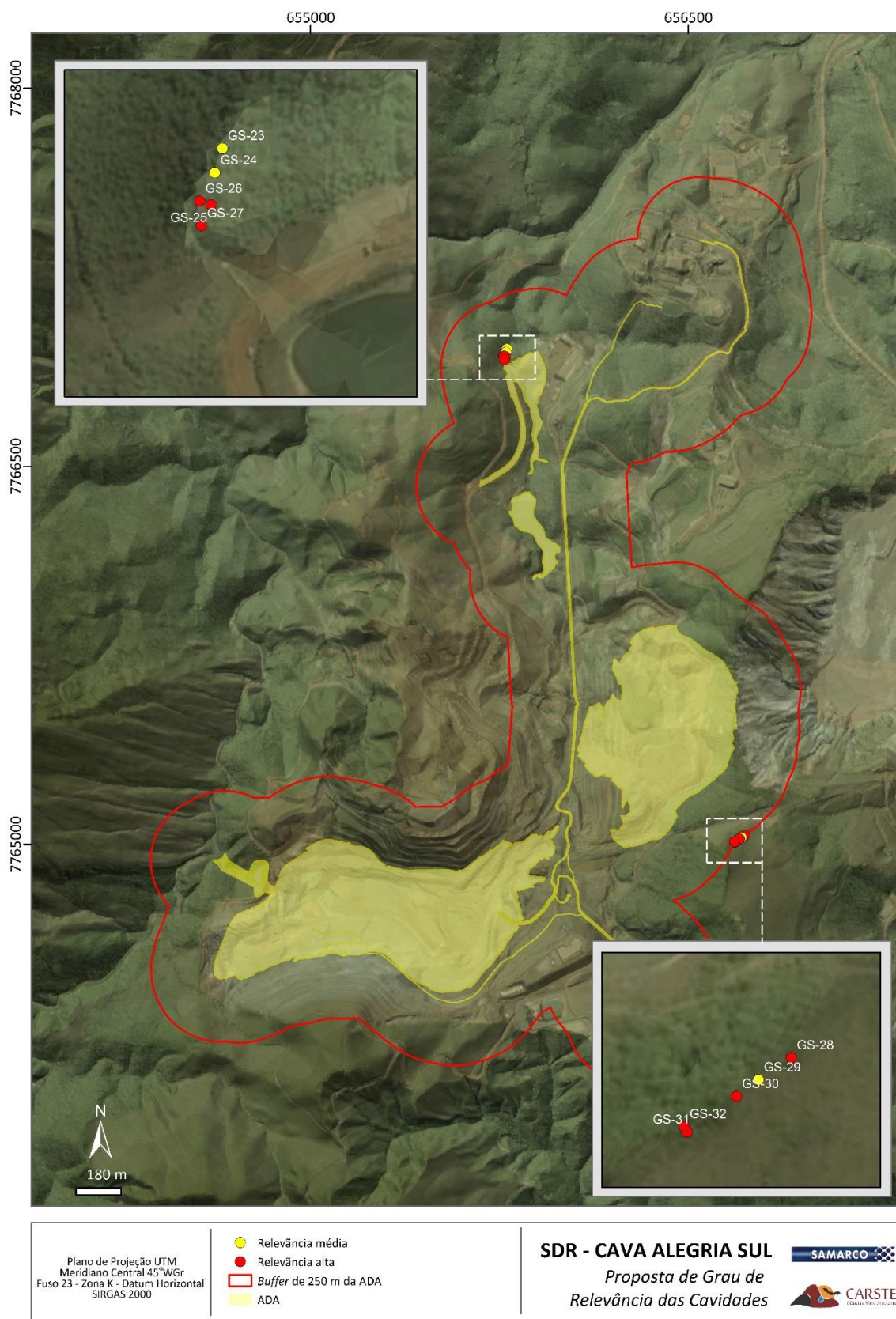


Figura 47. Classificação de relevância das cavidades de estudo

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agroflor (2014) Estudo de Impacto Ambiental – EIA (LP), viabilidade e implantação do empreendimento Sistema de Disposição de Mirandinha– SDR Mirandinha, Mariana/MG

Alkmim FF & Martins-Neto MA, (2001) A Bacia Intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto C.P., Martins-Neto M.A. (eds.) Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. Belo Horizonte: SBG-MG, p. 9-30.

AMPLO (2017) Complexo de Germano, Estudo de Impacto Ambiental do Complexo de Germano. Estudo de Impacto Ambiental. Relatório Técnico, Belo Horizonte.

Andrade R (2007a) Fauna cavernícola da FLONA Carajás, Pará. p.106. II Encontro Brasileiro de Estudos do Carste. Resumos

Andrade R (2007b) Arachnids recorded in caves at Carajas National Forest, Para, Brazil. In: 17th International Congress of Arachnology, São Pedro-SP. Resumos

Atzingen NV, Scherer R, Dos Santos, Furtado MB (2007) Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ouro Preto, MG. Sociedade Brasileira de Espeleologia

Auler A, Piló L, Parker CW, Senko JM, Sasowsky ID, Barton HA (2014) Hypogene cave patterns in iron ore: convergence of forms or processes? Waters Inst Special Publ 18:15–19

Auler AS, Piló LB (2007) Perímetro de proteção das cavernas relevantes da Mina do Pico, Itabirito, MG. Minerações Brasileiras Reunidas – MBR. BH-MG

Braga PLM, de Souza Sá F, Guadanucci JPL (2011) Ecologia populacional de aranhas troglófilas *trechona* sp. (mygalomorphae, dipluridae) na Gruta Monte Cristo, Diamantina, Minas Gerais. Apresentado no 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ponta Grossa, Paraná, 21-24 julho 2011

Brandão, C.R.F.; Canello, E.M. & Yamamoto, C.I. 2000. Avaliação do estado do conhecimento da diversidade biológica do Brasil. Invertebrados terrestres – versão preliminar. Available at: <http://www.mma.gov.br/porUsbf/chm/doc/invter1.pdf>. 38p.

BRANDT (2007) Mina de Alegria E - Ampliação da Lavra e Pilhas de Estéril. Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Relatório Técnico, Belo Horizonte.

BRANDT (2009) Terceiro Concentrador de Germano, Adutora e Linha de Transmissão. Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Relatório Técnico, Belo Horizonte.

Brasil (2009) Instrução Normativa Nº 2 do Ministério do Meio Ambiente, de 20 de Agosto de 2009. Dispõe sobre a metodologia e critérios para classificação de cavidades naturais subterrâneas e dá outras providências

Brasil (2011) Portaria Nº444 do Ministério do Meio Ambiente, de 17 de Dezembro de 2014. Reconhece como espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção", trata de mamíferos, aves, répteis, anfíbios e invertebrados terrestres e indica o grau de risco de extinção de cada espécie

Brasil (2014) Portaria Nº445 do Ministério do Meio Ambiente, de 17 de Dezembro de 2014. Reconhece como espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos"

Brasil (2017) Instrução Normativa Nº 2 do Ministério do Meio Ambiente, de 30 de Agosto de 2017. Define a metodologia para a classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas, conforme previsto no Art. 5º do Decreto no 99.556, de 1o de outubro de 1990

Brichta A, Paternoster K, Scholl WU, Turinsky F (1980) Die Gruta do Salitre bei Diamantina, Minas Gerais, Brasilien, Kein "Einsturzloch". Zeitschrift für Geomorphologie, 24: 236-242

Calux (2016) Guia de Boas Práticas Ambientais na Mineração de Calcário em Áreas Cársticas. Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2016, in Sánchez, L.E.; Lobo, H.A.S. (Orgs.)

Carste (2009). Estudos espeleológicos na área de Alegria 8. Relatório técnico. Belo Horizonte.

CECAV (2004) Termo de Referência para Elaboração de Estudos Espeleológicos Vinculados ao EIA/RIMA

CECAV (2013) Relatório sobre oficina sobre Área de Influência de Cavidades Naturais Subterrâneas

CHABERT, C.& WATSON, R.A.-1981 – Mapping and Measuring Caves, a Conceptual Analysis. NSS Bulletin, vol.43, 1, January, p.3 – 11.

Chemale F, Rosière CA, Endo I (1991) Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais-Um modelo. In Pesquisas em Geociências, v 18, n 2, p. 104-127, Rio Grande do Sul.

Colwell, RK (2013) EstimateS, Version 9.1: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software and User's Guide)

Corrêa Neto AV (1997) Cavernas em Quartzitos da Serra do Ibitipoca, Sudeste de Minas Gerais. Anais do Seminário de Pesquisa sobre o Parque Estadual de Ibitipoca, p 43-51

Corrêa Neto AV, Anísio LCC, Brandão CP (1993) Um endocarste quartzítico na Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. Anais do VII Simpósio de Geologia de Minas Gerais- SBG Núcleo MG – Bol. 12: 83-86

Dorr JVN (1969) Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional Paper, 641A, 110 p

- ECOPLAN-LUME (2010) Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Estudo Hidrológico. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- Eichler J (1967) Das physikalische Millieu bei der Verwitterung von Itabiriten in Minas Gerais/Brasilien. *Chemie der Erde*, 26(2): 119 – 132
- Fabri FP (2011) Estudos das Cavernas Quartzíticas da Região de Itambé do Mato Dentro, Serra do Espinhaço Meridional - MG. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte
- Ferreira RL (2005) A vida subterrânea nos campos ferruginosos. *O Carste*, 17(3): 106 – 115
- Gotelli N, Colwell, RK (2001) Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4:379-391
- Grohmann, C. H; Campanha, G. A. C. 2010. OpenStereo: Open Source, Cross-Platform Software for Structural Geology Analysis. In book: Abstract IN31C-06 presented at 2010 Fall Meeting, Publisher: American Geophysical Union.
- Hammer H, David AT, Paul DR (2001) Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, issue 1, art. 4: 9p
- Hill C, Forti P (1997) *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society, p 463
- Instituto do Carste (2011) Workshop técnico científico “TROGLÓBIOS RAROS” Incertezas e encaminhamentos. Belo Horizonte
- Jansen DC, Cavalcanti LF, Lamblém HS (2012) Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil, na escala 1:2.500.000. *Revista Brasileira de Espeleologia*, v 2, n 1, Brasília
- Ludwig JA, Reynolds JF (1988) *Statistical ecology*. New York: John Wiley, 337p
- LUME (2018) ADA – SDR - Projeto Arqueológico Trecho complementar do Canal de Adução Alegria – Relatório de Prospecção Arqueológica nas Cavidades. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- Machado N, Feng R, Noce CM (1993) Datação U-Pb de zircoões de sequências proterozóicas na região do Quadrilátero Ferrífero, borda sul do Craton do São Francisco: considerações sobre áreas-fonte e idades de sedimentação. In: SIMP. CRATONSÃO FRANCISCO, 2, Salvador, 1993. Anais. Salvador, SBG/Ba-SGM/Ba, p.149-151
- Marques Neto RM (2008) Evolução de caverna em quartzito e processos cársticos em São Thomé das Letras-MG: contribuição ao estudo de sistemas cársticos em rochas silicáticas. *Geosul*, 23(45):105-122
- MDGEO (2016) Mina Alegria Sul - Estudo Hidrogeológico para Enchimento da Cava da Mina de Alegria Sul com Rejeitos do Processamento do Minério de Ferro. Relatório Técnico, Belo Horizonte.
- Medina AI, Dantas ME, Saadi A (2005) Projeto Sul RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Belo Horizonte, SEMAD/CPRM



- Minas Gerais (2010) Deliberação Normativa Nº 147 do Conselho Estadual de Política Ambiental, de 30 de abril de 2010. Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais
- Mittermeier, R. A., Gil, P. R., & Mittermeier, C. G. (1997). Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations. CEMEX/Agrupación. Sierra Madre, Mexico City, Mexico.
- Mittermeier, R. A., Fonseca, G. D., Rylands, A. B., & Brandon, K. (2005). Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. *Megadiversidade*, 1(1), 14-21.
- Moreira JRA, Paiva RS (1988) Levantamento bioespeleológico preliminar da Serra dos Carajás Pará – Brasil. Anais Congresso de Espeleologia da América do Sul e Caribe 142-150
- Mourão MAA (2007) Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG – Tese de Doutorado, Escola de Engenharia da UFMG.
- Noce CM, Tassinari C, Lobato LM (2007) Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belts. *Ore Geology Reviews*, 32(3):500-510
- Oliveira OAB, Olivito JPR, Rodrigues-Silva D (2011) Caracterização da unidade espeleológica e das unidades geomorfológicas da região do Quadrilátero Ferrífero – MG. *EspeleoTema*, v. 22, n. 1, p. 61-80
- Paiva RS, Moreira JRA (1988) Levantamento bioespeleológico preliminar das Grutas do Piriá –Pará – Brasil. Anais Congresso de Espeleologia da América do Sul e Caribe, p 132-141
- Palmer AN (1991) Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103(1):1-21
- Renger FE, Noce CM, Romano AW, Machado N (1994) Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Revista Geonomos* 2(1), Belo Horizonte
- Rosière CA, Chemale Jr F (2000) Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – uma visão geral e discussão. *Geonomos* 8(2), Belo Horizonte: 27-42
- Rubbioli E, Moura V (2005) Mapeamento de Cavernas: guia prático. São Paulo, Redespeleo Brasil
- Schorscher JHD (1992) Arcabouço petrográfico e evolução crustal de terrenos pré-cambrianos do sudeste de Minas Gerais: quadrilátero ferrífero, espinhaço meridional e domínios granito-gnáissicos adjacentes. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo
- Silva MS, Nicolau JC, Ferreira RL (2011) Comunidades de invertebrados terrestres de três cavernas quartzíticas no Vale do Mandembe, Luminárias, MG. *Espeleo-tema*, 22(1), 155-167
- Trajano E, Bichuette ME (2010) Diversity of Brazilian subterranean invertebrates, with a list of troglomorphic taxa. *Subterranean Biology* 7: 1-16

Valentim, R F (2016) Classificação Geomecânica da Caverna Natural Subterrânea BRU\_0005, Município de São Gonçalo do Rio Abaixo, MG. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP, Ouro Preto.

Wiegand J, Fey M, Haus N, Karmann I (2004) Geochemical and hydrochemical investigation on the genesis of sandstone and quartzite karst of the Chapada Diamantina and the Iron Quadrangle (Brazil). Z.d.t.geol. Ges. 155:61-90; Stuttgart

Willems L, Rodet J, Pouclet A, Melo S, Rodet MJ, Compère P, Hartet F, Auler AS (2008) Karsts in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña, vol 33



## ANEXO I - GUIAS DE ENVIO DE MATERIAL BIOLÓGICO ÀS INSTITUIÇÕES DEPOSITÁRIAS



## ANEXO II – LISTA DE ESPÉCIE



## ANEXO III – MAPA TOPOGRÁFICO DAS CAVIDADES



## ANEXO IV – QUADRO SÍNTESE DE CAVIDADES



## ANEXO V – AMOSTRA REGIONAL E LOCAL



## ANEXO VI – RELATÓRIO DE ARQUEOLOGIA





## ANEXO VII – MEMÓRIA DE CÁLCULO DA CLASSIFICAÇÃO DE RELEVÂNCIA



## ANEXO VIII – ARTs