

GEOESPELEOLOGIA DE CAVERNAS EM QUARTZITO E FORMAÇÕES FERRÍFERAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, REGIÃO DE CONGONHAS (MG)

GEOESPELEOLOGY OF QUARTZITE AND IRON CAVES IN THE QUADRILATERO FERRIFERO, CONGONHAS (MG)

Juliana Barbosa Timo & Mariana Barbosa Timo

Spelayon Consultoria, Belo Horizonte MG.

Contatos: juliana.spelayon@gmail.com; mariana@spelayonconsultoria.com.br.

Resumo

O Quadrilátero Ferrífero representa uma unidade espeleológica com ocorrência de cavidades principalmente em rochas ferríferas e, subordinadamente, em rochas siliciclásticas e carbonáticas. Foi realizada geoespeleologia de 20 cavidades no município de Congonhas (MG), inseridas na Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste. Entre as cavidades analisadas, 18 são desenvolvidas em rochas siliciclásticas e 2 em rochas ferríferas, que foram associadas aos afloramentos da Formação Moeda, Formação Cauê e coberturas lateríticas recentes, pertencentes ao Supergrupo Minas. A caverna CV 8/9/16 se destaca pelas dimensões, com 214 m de projeção horizontal, presença de importante drenagem subterrânea e espeleotemas pouco comuns na região. Quanto às cavidades em rochas ferríferas, estão posicionadas na região mais alta da encosta, onde a cobertura de canga forma uma quebra brusca no relevo. Destaque para a caverna CV 06 com 46,5 m de projeção horizontal, que representa o segundo maior valor de todo o conjunto. Pretende-se com este artigo apresentar a caracterização e descrição física de todo o conjunto de cavernas conhecidas na área de estudo.

Palavras-Chave: Geoespeleologia, Quadrilátero Ferrífero, Quartzito, Canga, Itabirito.

Abstract

The Quadrilatero Ferrifero features a speleological unit with occurrence of cavities especially in banded iron rocks and, subordinate, in siliciclastic and carbonate rocks. It was performed the geoespeleology of 20 cavities in the municipality of Congonhas (MG), inserted in the Quadrilatero Oeste geomorphological unit. Between the cavities analyzed, 18 are developed on siliciclastic rocks and 2 in banded iron rocks, which were associated with outcrops of Moeda Formation, Cauê Formation and recent lateritic cap, belonging to the Minas Supergroup. The CV 08/09/16 cave stands out by the size, with 214 m of horizontal projection, presence of significant underground drainage and unusual speleothems in the region. As for the cavities in banded iron rocks, these are positioned in the upper of the slope, where the lateritic cap cover forms a sudden break in the relief. Highlighting for the CV 06 cave, with 46,5 m of horizontal projection, which is the second highest value of the whole. The aim of this article is the characterization and physical description of the entire set of known caves in the study area.

Key-Words: Geoespeleology, Quadrilatero Ferrifero, Quartzite, Lateritic cap, Itabirite.

1. INTRODUÇÃO

No Quadrilátero Ferrífero (QF), as primeiras investigações espeleológicas publicadas vieram através do norte americano George Simmons, em 1963. O trabalho clássico de Simmons (1963) contempla diversas cavidades na Serra do Batateiro, na Serra do Tamanduá, no Morro da Queimada e na Serra do Curral, todas em litologias ferríferas. Além da descrição, Simmons elabora um interessante modelo genético e detalha a mineralogia das grutas. Nos últimos anos, um grande número de cavernas em litologias ferríferas vem sendo identificadas no

QF, o que está associado ao novo regramento jurídico para a espeleologia no Brasil (BELO DE OLIVEIRA, 2011).

As cavernas inseridas na formação ferrífera e na canga são em geral de pequenas dimensões, poucas vezes superando 100 m de projeção horizontal. De acordo com Auler; Piló (2007), em torno de 70% das cavidades nestas litologias no QF estão no intervalo entre 20-30 m de projeção horizontal. A maior caverna nesses litotipos, até o momento, encontra-se na Serra da Piedade. Localizada no município de Sabará (MG), a Gruta

da Piedade apresenta 365 m de projeção horizontal (PEREIRA, 2012).

Além das cavernas ferríferas, o QF também abriga cavidades em rochas siliciclásticas e carbonáticas, porém em menor número. Até a data da publicação deste artigo a maior ocorrência de cavidades na região está registrada no grupo das rochas ferríferas, com aproximadamente 1.000 cavernas cadastradas em cangas, minério de ferro, itabiritos, hematita compacta e laterita. O grupo das rochas siliciclásticas apresenta 91 cavidades em quartzitos e conglomerados e o grupo das rochas carbonáticas apresenta 16 cavidades em dolomitos e calcários (CNC, 2015; CECAV, 2015).

O potencial de cavernas em quartzito no Brasil é enorme. No Quadrilátero Ferrífero existem várias unidades geológicas que apresentam esta litologia, contudo o principal distrito espeleológico localiza-se na Serra do Caraça. Segundo Dutra (2002), dentre os picos mais elevados da Serra do Caraça destacam-se o Pico do Sol com 2.072 m e o Pico do Inficionado com 2.068 m de altitude. Nos quartzitos do Pico do Inficionado desenvolvem-se grandes abismos e cavidades, das quais se destaca a Gruta do Centenário (SBE_MG1081) com 3.800 m de desenvolvimento linear e 484 m de desnível (DUTRA, 2002). Recentemente esta cavidade perdeu o status de caverna mais profunda do mundo em quartzito para o Abismo Guy Collet (SBE AM_3), localizado no município de Barcelos (AM), que possui 670 metros de desnível (AYUB, 2007).

Devido à grande ocorrência de cavidades, o Quadrilátero Ferrífero pode ser considerado uma Unidade Espeleológica condicionada ao Supergrupo Minas (DORR, 1969) e às rochas cronocorrelatas (CPRM, 2003), como definido por Belo de Oliveira et al (2011). A partir da interpretação de imagens de ortofotos de alta resolução utilizando-se dados espeleológicos, geológicos, aerogeofísicos e de sondagem, a Unidade Espeleológica Quadrilátero Ferrífero pode ser dividida em Unidades Geomorfológicas (BELO DE OLIVEIRA et al., 2011).

As cavidades caracterizadas neste estudo localizam-se no município de Congonhas (MG), que está inserido na Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste (BELO DE OLIVEIRA et al., 2011), no domínio da Unidade Espeleológica Quadrilátero Ferrífero. A amostra constitui-se de 20 cavidades localizadas no entorno do Projeto MINA VIGA, empreendimento sob responsabilidade da FERROUS RESOURCES DO BRASIL S/A.

A Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste possui 391 km² de área e se localiza na borda oeste do Quadrilátero Ferrífero, imediatamente a sul de Belo Horizonte, seguindo até as cidades de Jeceaba e Congonhas (Figura 1). Trata-se de uma unidade geomorfológica de serra, com continuidade espacial, embora apresente inflexões em sua direção e variações de toponímia – Serras do Curral, Moeda e Itabirito (BELO DE OLIVEIRA et al, 2011). A delimitação da unidade geomorfológica é feita a partir da área de afloramento das rochas dos grupos Caraça e Itabira, pertencentes ao Supergrupo Minas.

Os dados desta pesquisa foram obtidos durante o estudo para a classificação da relevância das cavidades localizadas no entorno da MINA VIGA e atendimento da legislação ambiental vigente, principalmente o Decreto Federal nº 6.640/2008 e a Instrução Normativa MMA nº 02/2009. O objetivo deste trabalho é apresentar a descrição e caracterização física destas cavidades, ampliando o conhecimento geoespeleológico das cavernas do Quadrilátero Ferrífero.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A origem e evolução das cavernas envolve interações complexas entre a geologia, processos químicos e os mecanismos de fluxo de água subterrâneos. De acordo com Palmer (2007), chamamos este conjunto de disciplinas de espeleogênese ou geoespeleologia.

Para obtermos o conjunto de dados necessário para o estudo da geoespeleologia das cavidades estudadas, estas foram analisadas quanto à localização geomorfológica, hidrologia, geologia, depósitos sedimentares existentes, aspectos socioeconômicos e estado de conservação.

Inicialmente foi feito o levantamento do contexto regional da área de estudo e uma caracterização dos aspectos fisiográficos onde as mesmas se inserem. Conforme o posicionamento geográfico, a área foi classificada quanto à unidade espeleológica e unidade geomorfológica a que pertence. Foi feita também uma busca por informações a respeito de cavidades naturais subterrâneas existentes no domínio espeleológico da área de estudo.

Os equipamentos utilizados para o levantamento de campo foram: martelo *Gedore*, bússola tipo *Brunton* e GPS *Garmin 60CSx*. Foi avaliada a importância dos atributos físicos de cada caverna e preenchida uma ficha de descrição geoespeleológica.

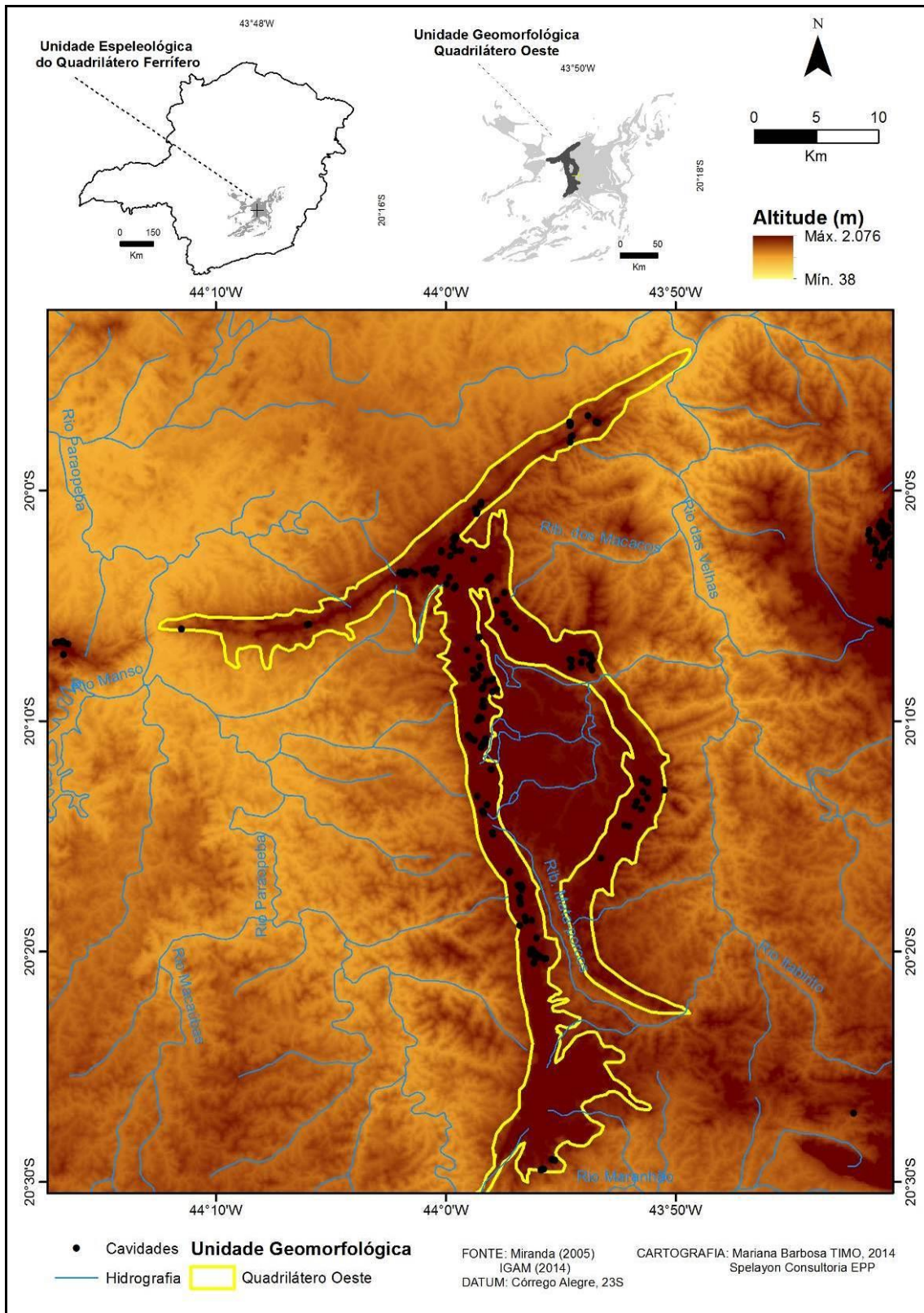


Figura 1: Mapa hipsométrico com destaque para os limites da Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste, inserida na Unidade Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: modificado de Belo de Oliveira et. al (2011).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo localiza-se na divisa entre os municípios de Congonhas e Jeceaba. Tais municípios estão inseridos na região centro-sul do

Quadrilátero Ferrífero, na microrregião de Conselheiro Lafaiete, estado de Minas Gerais.

O clima da região é do tipo temperado úmido (Cwa), segundo a classificação de Köppen-Geiger para o Brasil, com inverno seco e verão quente (SAMPAIO et al., 2011), e apresenta normais de

temperatura com média anual de 20,5° C (INMET, 2015). O regime pluviométrico desta área é tipicamente tropical, apresentando uma média anual de 99 mm para o ano de 2015 (INMET, 2015). Essa região está em uma zona de transição entre os biomas da Mata Atlântica e do Cerrado (MYERS et al., 2000), apresentando características da flora e da fauna de ambos. Campo Rupestre em solo ferruginoso ocorre nas encostas e topos das serras.

O município de Congonhas está inserido na Macro Região Hidrográfica do Rio São Francisco. Devido à sua extensão e aos diferentes ambientes que percorre, esta bacia hidrográfica está dividida em Alto, Médio, Sub-Médio e Baixo São Francisco (CBHRSF, 2013). A região estudada está localizada no Alto São Francisco, mais precisamente na bacia hidrográfica do alto rio Paraopeba, que é um importante afluente do rio São Francisco. A principal sub-bacia que compõe a bacia do Paraopeba no local é a do rio Maranhão. Todo o deflúvio superficial escoar para tributários do rio Maranhão, sendo que o córrego do Bichento é o mais importante para o conjunto de cavernas analisado.

A área em estudo encontra-se no extremo sudoeste do Quadrilátero Ferrífero. As cavernas analisadas estão inseridas no domínio de rochas do Supergrupo Minas, com predomínio de rochas da Formação Moeda e subordinadamente rochas da Formação Cauê em associação a cobertura laterítica recente.

A Formação Moeda faz parte do Grupo Caraça e é constituída por metaconglomerados, filitos e quartzitos. O quartzito tem coloração esbranquiçada, de granulação grossa, foliado devido à grande quantidade de sericita. O filito é cinza

claro, com granulação muito fina, foliado e com tato sedoso. A Formação Cauê pertence à base do Grupo Itabira e abriga os maiores depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Compreende rochas como itabirito (usualmente com laminação de quartzo e hematita, às vezes de magnetita, dolomita e anfibólio), itabirito dolomítico, itabirito anfibolítico e pequenas lentes de xisto, filito e marga. Itabiritos são formações ferríferas metamórficas e fortemente oxidadas, apresentando descontinuamente corpos de minério de alto teor (>64% Fe), de morfologia mais ou menos lenticular e dimensões variáveis desde alguns decímetros até centenas de metros. A Cobertura Cenozóica, também chamada de canga, compõe os topos de serra com uma morfologia aplainada na forma de platô. Recobre parte da área, ocorrendo sobre as rochas da Formação Cauê. Os depósitos de canga do Quadrilátero Ferrífero têm uma espessura média entre 2 e 10 m, são compactos e resistentes a erosão mecânica. Nas bordas do platô as rupturas do relevo formam escarpas verticais, onde se desenvolve grande parte das cavidades neste litotipo. Chapadas de canga são depósitos elúvio-coluvionares com seixos, calhaus e matações de formação ferrífera e hematita com matriz argilosa-laterítica. Também ocorrem na forma de solo laterítico residual.

A amostra analisada é composta por 20 cavernas, sendo 18 desenvolvidas em rochas siliciclásticas, associadas à Formação Moeda, e 2 desenvolvidas em rochas ferríferas, associadas à Formação Cauê e à cobertura laterítica recente. Na Tabela 1 estão destacadas a localização das cavidades, as características espeleométricas, além da litologia. Na Figura 2 pode ser observada a localização de cada cavidade na foto aérea da região.

Tabela 1: Localização (Datum SAD69, zona 23S) e principais características das cavidades.

Nº	Nome (CECAV)	UTM_E	UTM_N	Altitude (m)	PH (m)	Desnível (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Litologia
1	CV 01	610765	7732292	946	13,08	4,79	36,53	58,16	Quartzito
2	CV 02	610754	7732320	965	44,99	4,43	177,05	400,26	Quartzito
3	CV 03	611581	7733856	1163	19,25	2,74	44,16	45,45	Quartzito
4	CV 04	611707	7733887	1190	12,02	5,26	52,6	67,32	Quartzito
5	CV 05	612573	7734587	1271	11,15	0,59	14,54	16,72	Canga e Itabirito
6	CV 06	612318	7734643	1267	46,51	1,34	152,5	183	Canga
7	CV 07	611847	7732684	943	9,9	2,18	47,96	23,5	Quartzito
8	CV 08/CV 09/ CV 16	611480	7733617	1096	214,15	41,31	1104,71	2187,72	Quartzito
9	CV 10	611543	7733580	1097	8	3,32	29	67,86	Quartzito
10	CV 11	611511	7733805	1159	13,14	1,7	51,82	54,41	Quartzito
11	CV 12	611430	7733532	1120	8,79	2,43	38,32	63,22	Quartzito
12	CV 13/CV 17	611512	7733611	1098	37,62	5,61	118,66	547,02	Quartzito
13	CV 14	611436	7733611	1126	9,82	4,23	17,29	24,37	Quartzito
14	CV 15	611437	7733589	1129	5,22	1,16	8,98	8,53	Quartzito

Nº	Nome (CECAV)	UTM_E	UTM_N	Altitude (m)	PH (m)	Desnível (m)	Área (m²)	Volume (m³)	Litologia
15	CV 18	611530	7733572	1093	10,77	8,42	146,31	197,51	Quartzito
16	CV 19	611554	7733555	1122	12,75	6,89	51,88	129,7	Quartzito
17	CV 20	611552	7733528	1092	10,32	3,55	20,97	46,34	Quartzito
18	CV 21	611667	7732807	988	7,89	1,12	18,1	17,37	Quartzito
19	CV 22	611892	7732989	1077	34,32	5,93	82,86	128,43	Quartzito
20	SPE 01	611492	7733571	1129	38,45	4,31	127,06	280,8	Quartzito

Localização das Cavidades Analisadas

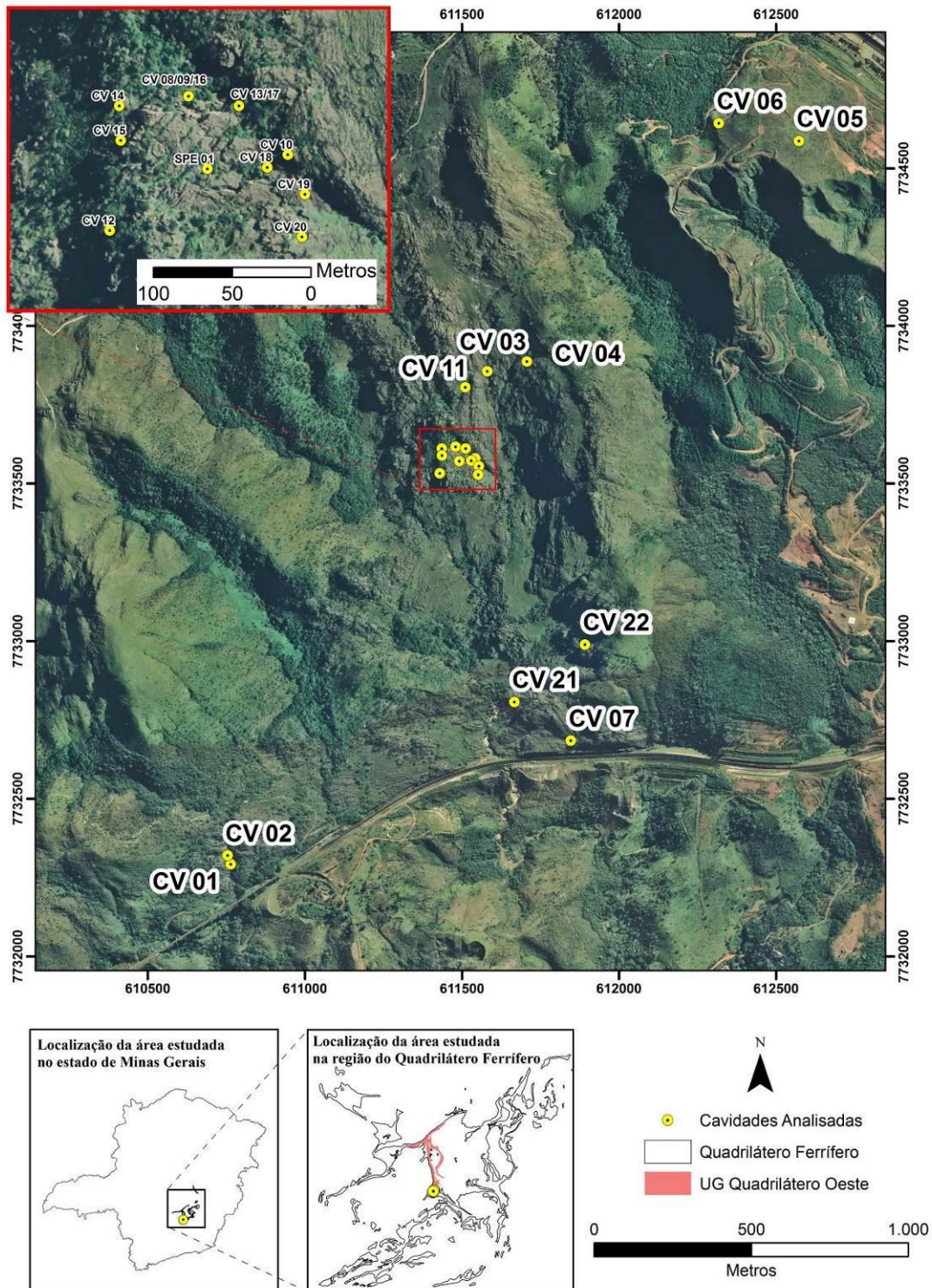


Figura 2: Mapa de localização das cavidades.

4. GEOESPELEOLOGIA DAS CAVIDADES

Dentro do grupo de cavidades desenvolvidas nas rochas das formações siliciclásticas, foram observados dois domínios geomorfológicos distintos: 10 cavidades estão desenvolvidas em meio a matacões abatidos e sobrepostos depositados na encosta (CV 01, CV 02, CV 03, CV 10, CV 11, CV 15, CV 13/17, CV 19, CV 21 e CV 22) e 8 cavidades estão desenvolvidas na base de expressivos afloramentos rochosos (CV 04, CV 07, CV 12, CV 14, CV 8/9/16, CV 18, CV 20 e SPE01). O depósito de tálus recobre parte da encosta da serra e é formado por matacões gigantes sobrepostos, inseridos em meio aos afloramentos. Esses fragmentos de rocha são angulosos e estão parcialmente envoltos por solo. As cavidades deste domínio se desenvolvem nos espaços vazios gerados entre os matacões e o solo. Já os afloramentos são significativos maciços rochosos que predominam no topo da serra, mas ocorrem em toda a encosta (Figura 3). As cavidades se inserem na base da escarpa, em fendas na rocha ou acompanhando a foliação.



Figura 3: Encosta formada por afloramentos e matacões rolados e basculados de quartzito.

De acordo com o posicionamento altimétrico, as cavidades estão situadas entre as cotas 943m e 1.190m e podem ser divididas em baixa, média e alta vertente, sendo a superfície do terreno em alta declividade. Estão em baixa vertente 2 cavidades, a CV 01 e CV 02. Em média vertente estão posicionadas 10 cavidades, quais sejam, CV 07, CV 10, CV 8/9/16, CV 13/17, CV 18, CV 19, CV 20, CV 21, CV 22 e SPE01. Em alta vertente estão as outras 6 cavidades (CV 03, CV 04, CV 11, CV 12, CV 14 e CV 15).

As duas cavidades inseridas no grupo de rochas ferríferas estão em um terceiro domínio geomorfológico relacionado à resistente cobertura laterítica. A canga ocorre em pacotes com 2 a 3

metros de espessura, recobrando o itabirito como um platô no topo e encosta de serra. Esta cobertura forma extensas áreas de relevo suave com uma morfologia de chapada de canga. Nas bordas do platô de canga formam-se desníveis abruptos, onde a quebra brusca do relevo gera escarpas verticalizadas que apresentam extensas continuidades laterais. Estes locais são propícios para o desenvolvimento de cavidades (Figura 4).



Figura 4: Quebra brusca do relevo na borda do platô de canga.

As cavernas CV 05 e CV 06 estão posicionadas na quebra do platô de canga, localizadas em alta vertente. Essas cavernas são as mais elevadas do conjunto estudado, com cota de aproximadamente 1.270m.

Ocorrem expressivos afloramentos rochosos, com pontos de alta declividade em escarpas. Foram observadas rochas metassedimentares como quartzito e itabirito; e sedimentos recentes como a canga, depósitos de tálus e colúvio.

Em grande parte da área aflora um quartzito compacto, observado em 18 das 20 cavernas analisadas. A coloração é esbranquiçada com partes avermelhadas devido ao intemperismo. A granulação varia de fina a média na maior parte da rocha, com certa quantidade de minerais micáceos. O quartzito apresenta forte grau de deformação, com textura foliada devido à presença da mica. Ocorrem níveis centimétricos mais resistentes à erosão, que se sobressaem no afloramento de quartzito e são concordantes à foliação. Esses níveis ocorrem com espaçamento métrico e apresentam ligeira diferença na composição e granulação, com presença de minerais micáceos ferruginosos em aglomerados, como pórfiros de tamanho areia muito grossa.

No interior das cavidades foram observados ainda veios de quartzo leitoso de espessura centimétrica, dispostos ora de forma discordante

(Figura 5) e ora de forma concordante com a foliação. Em alguns pontos os veios de quartzo apresentam forma sigmoidal. A rocha está disposta em camadas onde podem ser observados estratos discretos, devido ao grau de intemperismo. Este litotipo pode ser associado à Formação Moeda do Grupo Caraça.

Os planos de fratura aferidos apresentam duas direções principais nas cavidades visitadas. A fratura mais frequente tem direção preferencial E-W com mergulho mediano para sul, variando entre 50 e 65 graus. Este plano é bastante repetitivo e pode condicionar o desenvolvimento de cavidades. Outro plano de fratura constante nas cavidades tem orientação NE-SW, com mergulho de alto ângulo ora para NW e ora para SE. Os planos de foliação das cavidades analisadas em quartzito foram medidos e sua atitude é constante com direção principal N-S e mergulho mediano para leste, variando entre 35 e 65 graus (Figura 6). Essas discontinuidades são determinantes no desenvolvimento das cavidades, que são condicionadas principalmente pela interseção das estruturas.



Figura 5: Veio de quartzo (em destaque) discordante com a foliação do quartzito, Caverna SPE01.



Figura 6: Foliação do quartzito evidenciada pela erosão diferencial, na CV 14.

No extremo nordeste da área foi observado o itabirito, bastante intemperizado, coberto por uma carapaça laterítica. O itabirito, observado apenas na cavidade CV 05, apresenta textura bandada em níveis centimétricos intercalados com diferença na composição, o que define a variação na coloração. Bandas quartzosas são esbranquiçadas e bandas ricas em hematita são cinza escuro, ambas com granulação fina. O bandamento é uma descontinuidade muito persistente e repetitiva. Foi medido o plano de bandamento no afloramento de itabirito da CV 05 e sua atitude é 110/60. Essa rocha corresponde à Formação Cauê (Figura 7).

A cobertura laterítica recente recobre o itabirito na maior parte da região alta da serra, na forma de um platô. Além da CV 05 a canga também ocorre na CV 06, porém nesta última é a única litologia observada (Figura 8). O litotipo está semi-intemperizado com aspecto compacto. É formado por clastos de formação ferrífera, cimentados por matriz limonítica. Os clastos apresentam tamanho de seixo a grânulo, são subangulosos e estão caoticamente distribuídos em meio à matriz. A matriz, que ocorre em pequena quantidade, é constituída pela limonita (hematita + goethita + água).



Figura 7: Itabirito no final da CV 05, em destaque os planos de bandamento.



Figura 8: Canga compacta na CV 06.

As estruturas observadas nas cavidades ferríferas foram fraturas e planos de bandamento, além do contato geológico. As descontinuidades são de grande importância no desenvolvimento de cavernas, principalmente em minério de ferro e canga, pois condicionam a circulação da água no interior da rocha, como também contribuem para a atuação de processos de abatimentos de blocos do teto e paredes.

O contato geológico, observado na CV 05, é uma significativa descontinuidade condicionante do desenvolvimento das cavidades ferríferas. Além de ser uma importante superfície para percolação da água, ocorre diferença de reologia ou competência entre os materiais, contribuindo para a erosão diferencial. A canga, que sempre ocorre no topo, apresenta grande compacidade e resistência à erosão. Já o itabirito, que predomina na base, encontra-se muitas vezes alterado e friável. Essa diferença de competência pode facilitar o desenvolvimento de cavidades por erosão mecânica e abatimento. A superfície de contato da canga é irregular e tem a mesma direção da vertente.

Os planos de fratura também são importantes descontinuidades que podem condicionar o desenvolvimento de espaços subterrâneos. Principalmente na canga as fraturas e diáclases facilitam a circulação de água. Por ser uma rocha com ausência de deformação, a orientação das fraturas nesta litologia não segue um padrão. A superfície da fratura não é homogênea, com mudanças na orientação do plano.

Cada grupo de rocha reage de forma particular frente aos processos erosivos que condicionam a formação de cavernas. A localização das cavidades analisadas no contexto geológico pode ser observada na Figura 9, a seguir.

Foi avaliada a presença de corpos hídricos nas cavernas, além das águas de percolação e condensação, com o objetivo de determinar a dinâmica hidrológica. Na área em estudo, dominada por rochas siliciclásticas, ocorre uma rede de drenagens superficiais. Nas encostas da serra grandes matacões acumulam na vertente e o fluxo de água corre soterrado entre os fragmentos. Localmente, quando ocorrem no interior das cavernas, cursos d'água se tornam subterrâneos. Porém, não foi observada uma comunicação entre os canais de drenagem, sendo que não caracteriza um sistema ou rede de cursos d'água subterrâneos.

Todo o deflúvio superficial das áreas onde estão as cavernas escoam para tributários do rio

Maranhão. A área das cavernas CV 01 e CV 02 é drenada pela micro-bacia do córrego Cruz. A maioria das cavernas é drenada pela micro-bacia do córrego do Bichento. Já o escoamento superficial das cavernas CV 05 e CV 06 flui para N-NW em direção à micro-bacia do córrego Casa de Pedra.

Ocorre água na maioria das cavidades em rochas siliciclásticas, apenas nas cavernas CV 12, CV 14, CV 15, CV 20 e CV 21 não foi observada. Nas demais cavernas ocorre água na forma de condensação, surgência, lago, sumidouro, escoamento, gotejamento, empoçamento, percolação e drenagem ativa.

A condensação ocorre apenas em 4 das 18 cavernas analisadas em quartzito (CV04, CV16, CV22, SPE01). Ocorre de forma localizada nas paredes e teto como gotículas de água. Gotejamento e percolação ocorrem em 12 das cavernas siliciclásticas de forma localizada, aproveitando planos de descontinuidade. Em alguns condutos o gotejamento e a percolação constante de água forma empoçamentos.

Surgências foram observadas em 5 cavernas (CV 01, CV 02, CV 04, CV 8/9/16 e SPE01), todas de caráter intermitente (Figura 10). São pequenas nascentes localizadas, observadas em pontos das paredes e piso dos condutos. Apresentam baixo fluxo de água, mas com quantidade significativa para as cavidades.

Escoamento ocorre em 11 das 18 cavidades em rocha siliciclástica. São fluxos de água que passam pelas cavidades, adentram na porção mais montante do conduto e fluem direção à jusante, saindo da cavidade na forma de uma calha de drenagem ou na forma de sumidouro. Os sumidouros foram observados em 6 cavidades da amostra (Figura 13). Os escoamentos e surgências formam empoçamentos no interior dos condutos e quando represada a água se acumula na forma de pequenos lagos, observados em 4 cavidades (CV 02, CV 07, CV 8/9/16 e CV 22).

Escoamento perene ocorre em 6 cavidades (CV 01, CV 02, CV03, CV 8/9/16, CV 18 e SPE01) desenvolvidas em rochas siliciclástica. O fluxo é moderado e escoam por toda a extensão dos condutos. Destaque para as cavernas CV 02 e CV 8/9/16, onde a água ocorre na forma de diversas feições e promove a formação de espeleotemas (Figuras 11 e 12). Na cavidade CV 02 foi construído um barramento no local de saída da água do interior do conduto. É um impacto na cavidade, onde se formou um lago artificial.

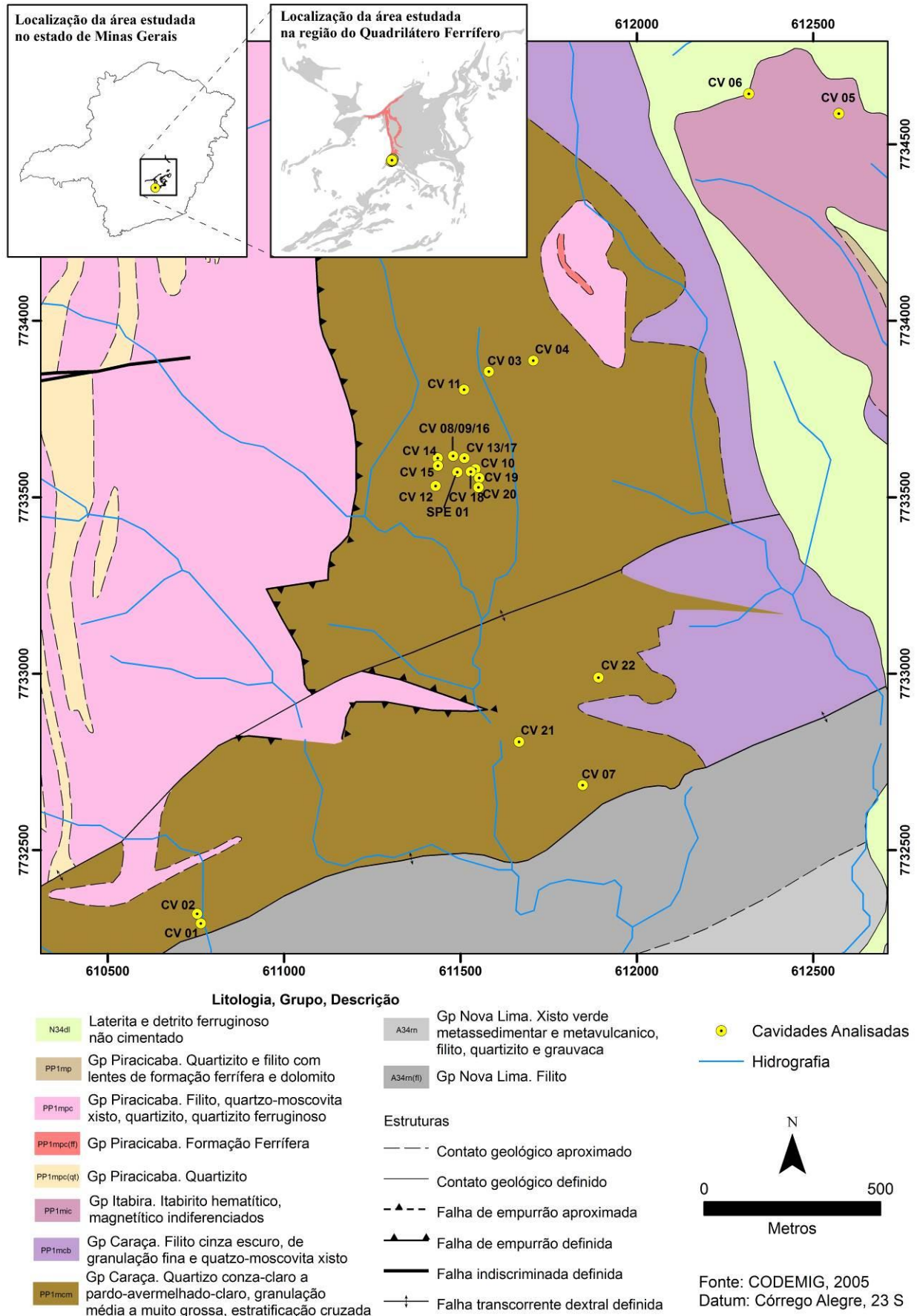


Figura 9: Localização das cavidades analisadas no mapa geológico (fonte: CPRM, 2003). Em cinza são apresentadas as áreas de afloramentos das rochas do Quadrilátero Ferrífero, com destaque (cinza mais escuro) para a localização da unidade geomorfológica que a área está inserida.



Figura 10: Surgência intermitente observada na caverna SPE01.

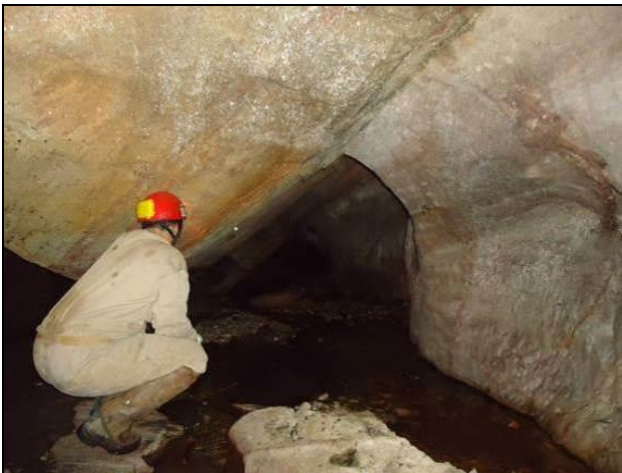


Figura 11: Escoamento perene na caverna CV 16.

Nas cavernas do grupo das formações ferríferas não é comum observar drenagem interna e, quando ocorre, a maioria é de caráter intermitente (ativa apenas durante a estação chuvosa). Na canga, as cavidades ocorrem de forma rasa no terreno, sendo influenciadas pela infiltração e deflúvio das águas pluviais. Foram observados escoamento, gotejamento e percolação, todos de caráter intermitente, nas duas cavidades inseridas nesta litologia (CV 05 e CV 06).

Na caverna CV 05 foi observada percolação de água com baixo fluxo no final do conduto, em uma parte da parede com o piso. Essa percolação é temporária e ocorre através de uma fratura, carreando sedimentos para dentro da cavidade. Na caverna CV 06 foi observado um escoamento de água temporário que entra por uma das bocas, com

origem na escarpa fora da cavidade. O teto é marcado por várias fraturas, que permite intensa percolação e gotejamento de água pluvial no interior do salão principal. Essa quantidade de água que entra na cavidade por fraturas no teto também gera um escoamento temporário.



Figura 12: Drenagem perene saindo da caverna CV 02.



Figura 13: Sumidouro no final do conduto da caverna CV 04.

A avaliação da planta baixa revela as pequenas dimensões da maioria das cavernas do conjunto estudado. Apenas 6 entre as 20 cavernas tiveram projeção horizontal maior que 20m. Destaque para a caverna CV 8/9/16, com 214 m de projeção horizontal (Figuras 14 e 15), desenvolvida em rocha siliciclástica e condicionada pela erosão fluvial. Em rochas ferríferas, destaque para a caverna CV 06 com 46,5 m de projeção horizontal, que representa o segundo maior valor de todo o conjunto (Figura 16).

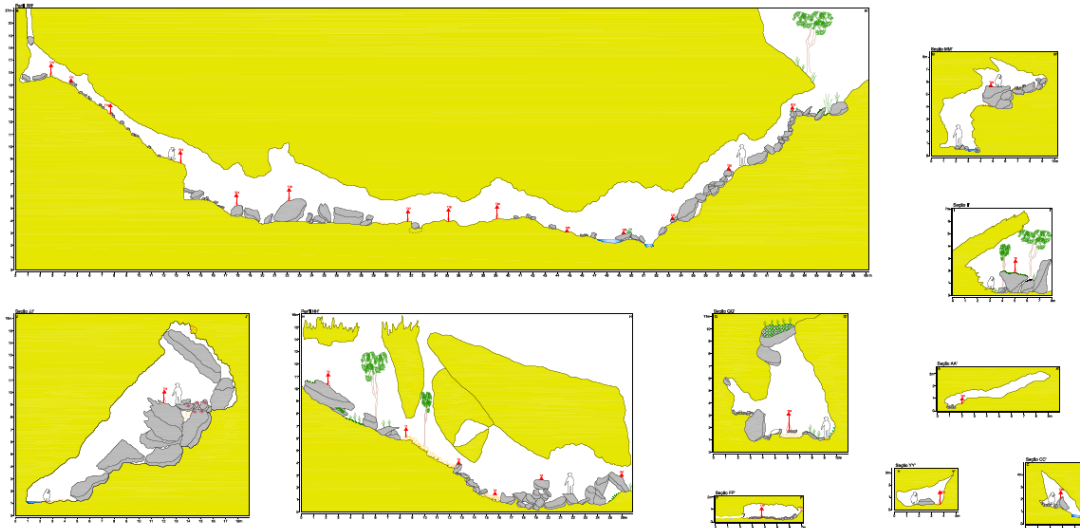


Figura 3: Perfis e cortes da cavidade CV 8/9/16

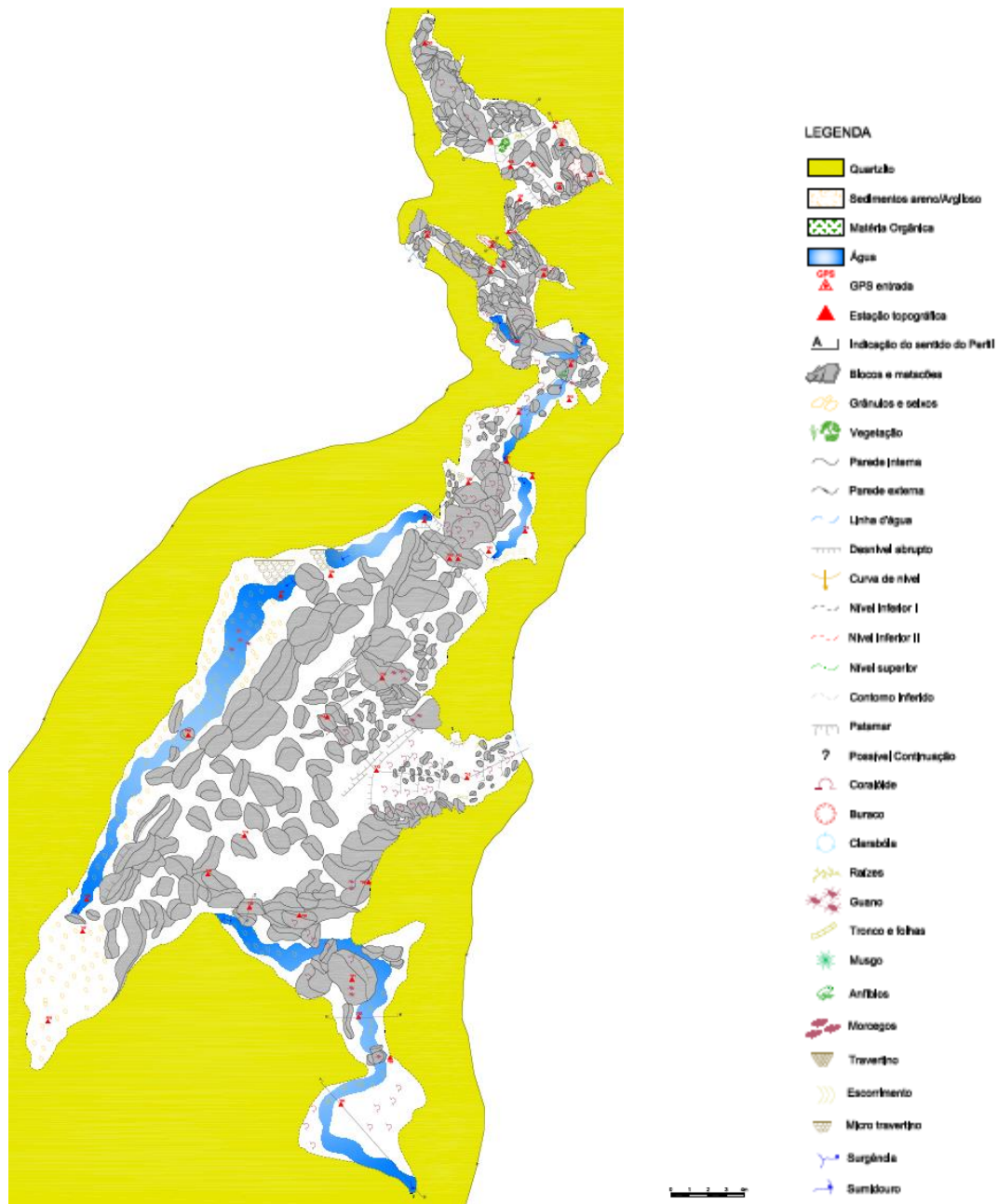


Figura 15: Planta baixa da cavidade CV 8/9/16

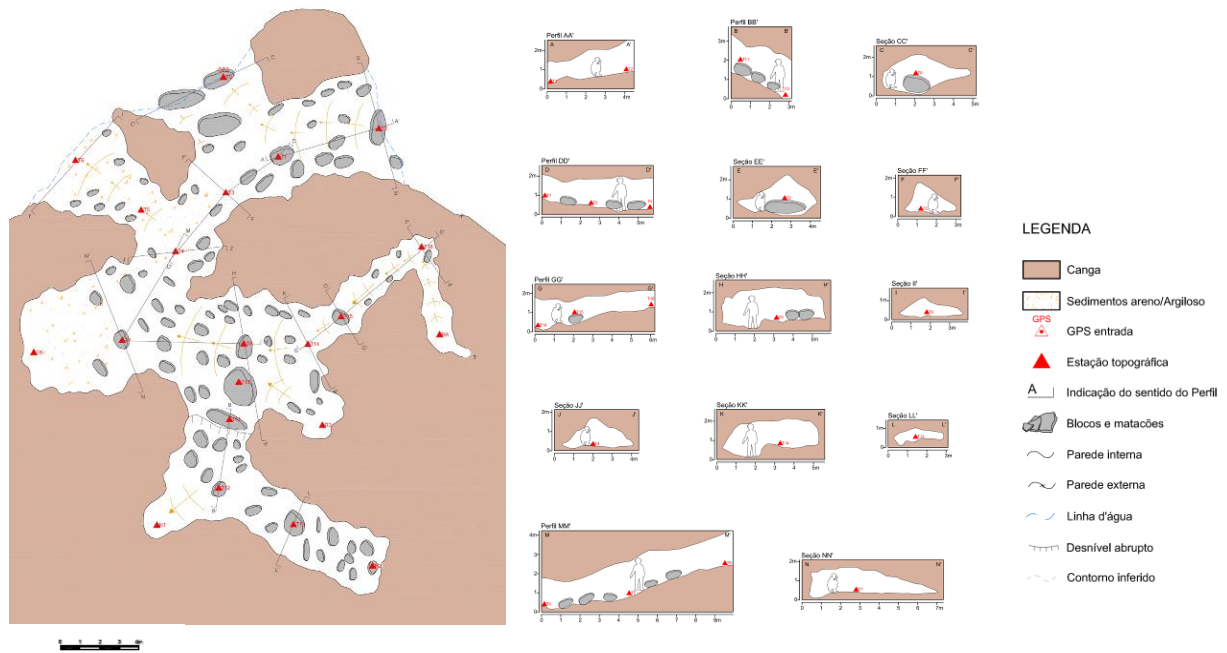


Figura 16: Planta baixa, cortes e perfil da cavidade CV 06.

O grupo de cavernas desenvolvidas em rochas siliciclásticas apresenta entrada em escarpa rochosa com altura da boca variando de 1m, nas cavidades CV 07 e CV 11, até 7m, nas cavidades CV 17 e CV 19, porém predominam alturas de 1 a 2m. No interior das cavernas deste grupo os condutos são em grande parte estreitos e com teto alto, condicionados por estruturas do quartzito (Figura 18). Em algumas porções o teto fica localmente baixo. Exceções podem ser encontradas nas cavidades CV 07 e CV 11 que são apertadas, estreitas e com teto muito baixo (Figura 19). As cavernas em quartzito apresentam, na maioria dos casos, única entrada, porém ocorrem cavernas com duas entradas. Em 5 cavernas (CV 01, CV 11, CV 12, CV 18 e CV 21) foram observadas diversas entradas, com grande quantidade de luz no interior dos condutos (Figura 17).



Figura 18: Conduto amplo e com teto alto na CV 13/17.



Figura 17: Uma das entradas da CV 8/9/16.

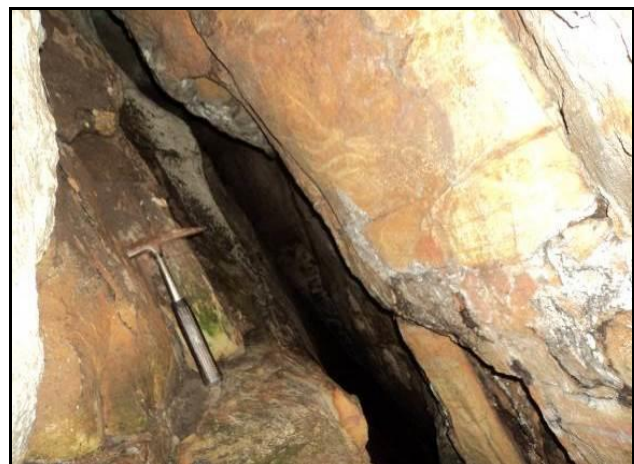


Figura 19: Conduto estreito e apertado na CV 07.

Quanto à morfologia dos cortes, prevalecem os irregulares, sem forma definida, principalmente nas cavernas formadas pela sobreposição de matacões (CV 15, CV 19 e CV 21). Cortes triangulares, com piso muito mais largo que o teto, são mais frequentes nas cavernas formadas em afloramentos de quartzito, condicionados pela orientação de estruturas da rocha como nas cavernas CV 04, CV 07, CV 8/9/16 e SPE01. Os cortes lenticulares, com extremidades afinadas em relação ao centro do conduto, foram observados de forma subordinada em alguns condutos. A maioria das cavidades apresenta apenas um nível de desenvolvimento, mas na caverna CV 8/9/16 foram observados níveis inferiores e superiores. A inclinação da superfície das cavidades foi avaliada e em rochas siliciclásticas a maioria tem piso com alta declividade. O piso apresenta declividade tanto ascendente como descendente para o interior da cavidade, dependendo da localização da entrada (Figura 15). A declividade acompanha a inclinação da encosta. Algumas cavernas apresentaram piso horizontalizado, como as cavernas CV 03 e CV 15.

Quando ocorre fluxo constante de água no interior destas cavidades, parte das paredes e piso sofre ação da erosão pela passagem da drenagem. Nas cavernas CV 04 e CV 8/9/16 podem ser observados condutos com paredes arredondadas e regulares, possivelmente esculpida pela erosão da água sob pressão (Figura 21).

A análise da morfologia do ambiente cavernícola pode indicar os processos geradores dos espaços subterrâneos. Vestígios dos agentes erosivos que atuaram para o desenvolvimento das cavernas são chamados estruturas espeleogenéticas.

Foram observadas frequentes marcas arredondadas no teto e paredes. São feições alveolares formadas através da erosão pela passagem da água. Feições arredondadas também foram observadas no piso, como panelas ou marmitas. Essas feições podem ter sido formadas por gotejamento localizado e pontual. As feições morfológicas observadas foram canalículo, claraboia, pilar, patamar, alvéolo, pendente e pontões estruturais.

Claraboias são as feições mais comuns, ocorrendo em 13 cavidades analisadas em litologia siliciclástica (Figura 23). O posicionamento raso em relação à superfície faz com que seja frequente o desenvolvimento desta feição. Neste grupo de rochas siliciclásticas é intenso o processo de abatimento e basculamento de grandes matacões que pode gerar claraboias e facilitam a circulação de água pluvial. Na caverna CV 13/17 ocorre uma claraboia bastante

expressiva, desenvolvida na porção mais a montante do conduto.

Em 11 das 18 cavernas em rochas siliciclásticas foram observadas feições alveolares nas paredes e teto (Figura 22). Tem dimensões centimétricas e podem ter sido formadas pela ação erosiva da água. Em algumas cavernas foram observadas erosões circulares no piso, impressas na rocha. São panelas ou marmitas que podem ter sido geradas pelo intenso gotejamento localizado (Figura 20).



Figura 20: Panelas formadas por gotejamento localizado na CV 8/9/16.



Figura 21: Teto e paredes arredondadas que podem ter sido erodidas pela ação da água.

Canalículos foram observados em 8 das cavernas em rochas siliciclásticas. Podem aparecer na junção da parede com o piso, na parede e até no teto. Além disso, alguns condutos têm sua terminação na forma de canalículos e podem contribuir na formação da porosidade, que facilita a circulação de água e transporte de sedimento. São canais de pequenas dimensões que se desenvolvem para o interior da rocha. Estes canais transportam sedimentos finos da rocha para dentro das cavidades.

Foram observados pilares em 2 cavernas (CV 14 e CV 22). Destaque para a caverna CV 14, onde ocorrem dois condutos paralelos ao longo de toda a extensão da cavidade separados por um pilar.



Figura 22: Feições alveolares observadas no teto da CV 13/17.



Figura 23: Claraboia no teto da CV 19.

Os pendentes são formados por partes de matacões encaixados nas partes superiores dos condutos, e ocorrem em 7 cavidades. Os pontões estruturais são semelhantes aos pendentes, porém tem forma retangular provocada pelas estruturas da rocha encaixante. A interseção de planos de descontinuidade repetitivos, como clivagem e foliação, geram abatimentos de fragmentos com forma angulosa. Foram observados pontões estruturais em 8 cavernas desenvolvidas em rochas siliciclásticas.

Patamares são formados por desnível abrupto seguido por superfície horizontalizada na parte superior. Essas diferenças de nível geram alto gradiente hidráulico e o conseqüente aumento da erosão. Foram observados patamares em 8 cavernas.

O grupo de cavernas desenvolvidas em rochas ferríferas apresenta entrada em escarpa rochosa com

altura da boca de até 2m na CV 06. No interior das cavernas deste grupo os condutos apresentam teto baixo (Figura 26). Em algumas porções o teto fica localmente mais elevado. Quanto à morfologia dos cortes, prevalecem os irregulares, porém cortes lenticulares com extremidades afinadas em relação ao centro do conduto são frequentes. As duas cavidades apresentam apenas um nível de desenvolvimento. A inclinação da superfície foi avaliada nas cavidades em rochas ferríferas. A CV 05 apresenta piso horizontalizado, já a CV 06 tem piso com inclinação ascendente para o interior do conduto e acompanha a inclinação da vertente. O teto e as paredes são irregulares.

No grupo de cavidades desenvolvidas em rochas ferríferas as feições espeleogenéticas do tipo canalículos também foram identificadas (Figura 25), sendo encontrados em abundância, facilitando a circulação de água e transporte de sedimento.

As feições morfológicas observadas foram canalículos, pilares e pendentes, que ocorrem nas duas cavidades. Canalículos podem aparecer na junção da parede com o piso, na parede e até no teto. Alguns condutos têm sua terminação na forma de canalículos.

Os sedimentos podem registrar informações importantes a respeito do processo de formação e evolução dos espaços subterrâneos. Depósitos sedimentares podem ser detríticos ou químicos.

No conjunto de cavidades analisado, entre os sedimentos detríticos predominam os grossos depositados no piso, tanto em rochas siliciclásticas como em rochas ferríferas. Destacando as cavidades CV 13/17 e CV 19 onde matacões cobrem toda a superfície. Na maior parte das cavernas os blocos e matacões estão dispersos e os depósitos de sedimentos finos ocorrem em pontos localizados dos condutos.



Figura 24: Entrada da CV 05.



Figura 25: Canalículo no final da CV 05, com aporte de sedimentos finos para o interior do conduto.



Figura 26: CV 06 com teto baixo.

A caverna CV 8/9/16, que pertence ao grupo de rochas siliciclásticas, é muito ampla e com drenagem perene cortando toda a sua extensão, portanto ocorrem depósitos sedimentares com diversos tipos de granulometria. Predominam os matacões abatidos do teto (Figura 27), porém ao longo da drenagem ocorrem cascalhos no leito, e próximo ao local de sumidouro ocorre o acúmulo de sedimentos finos, como um banco de areia (Figura 28). Na menor parte das cavidades analisadas predomina sedimentos finos depositados no piso, o que pode ser observado, dentro do grupo de rochas siliciclásticas, nas cavernas CV 12 e CV 14. São

depósitos de areia de forma horizontalizada, como terraços.



Figura 27: Entrada da CV 8/9/16, coberta por matacões rolados.



Figura 28: Sedimentos do tipo areia a seixos no leito de drenagem perene, CV 8/9/16.

Na CV 05, que pertence ao grupo de rochas ferríferas, há diferentes depósitos detríticos, apesar de sua pequena extensão. Matacões predominam dispersos ao longo da cavidade. Junto às paredes ocorre cascalho (Figura 29), e no fundo do conduto, onde há uma percolação intermitente de água, ocorre deposição de material silto-argiloso (Figura 30) transportado do interior da canga.

Com relação à natureza dos sedimentos detríticos em rochas siliciclásticas a maioria tem caráter alóctone, sendo que em algumas cavidades podem ser diferenciados os dois tipos de procedência. Nas cavernas desenvolvidas na vertente e influenciadas pelo abatimento de matacões, ocorre grande transporte de sedimentos grosseiros. Ocorre também abatimento de blocos no interior das cavernas. O sedimento tipo areia a grânulo tem origem alóctone, levado para dentro da cavidade pelas drenagens.



Figura 29: Sedimentos cascalhentos na CV 05.



Figura 30: Sedimentos finos trazidos para dentro da CV 05 por meio de canalículo.

Em rochas ferríferas predominam os sedimentos autóctones devido à posição da entrada da cavidade. Voltada para jusante da vertente, não há aporte de sedimentos externos para o interior da cavidade. Ocorrem abatimentos de parte das paredes e teto. Com relação ao grau de arredondamento os fragmentos são em maior parte subangulosos, indicando o curto transporte até a deposição.

Com relação aos sedimentos químicos, em rochas siliciclásticas foram observados coraloides, crosta ferruginosa, escorrimentos, cortinas, coluna, microtravertinos e travertinos. Apenas na caverna CV 04 não foram observados espeleotemas. O coralóide foi o depósito mais frequente, em 19 das 20 cavidades analisadas. O travertino foi observado apenas na CV 8/9/16 e merece destaque pela quantidade e coloração do depósito. Não foram realizadas análises mineralógicas nos espeleotemas das cavernas em rochas siliciclásticas. Em rochas ferríferas foram observados crosta ferruginosa, coraloides e escorrimentos.

Coraloides foram observados em 17 cavidades em rochas siliciclásticas (Figuras 31, 32 e 33). Os

coraloides ocorrem de forma restrita e localizada, todos com tamanho variando de milímetros até centímetros. A cor predominante é cinza escuro a preto, porém ocorrem aglomerados de coralóides brancos e uma transição entre as duas cores com variações de cinza. A forma dos coraloides pode ser acicular ou com extremidade mais arredondada. Os de forma acicular são mais comuns e se desenvolvem em aglomerados, com crescimento ramificado. Já os coraloides arredondados têm crescimento mais individual. Destaque para a caverna SPE01, onde foram observados diversos tipos de coraloides.

A crosta ferruginosa também é comum, notada em 7 cavidades em rochas siliciclásticas. Ocorre de forma localizada nos condutos, em parte da parede ou sobre blocos, sempre associada à percolação de água. Esta crosta tem cor preta com tonalidade avermelhada a alaranjada formando uma cobertura (Figura 34).



Figura 31: Coralóides com crescimento ramificado na CV 03.



Figura 32: Coralóides arredondados na CV 01.



Figura 33: Coralóides dispersos sobre bloco na CV 8/9/16.



Figura 34: Crosta de cor preta na parede da CV 8/9/16.

Cortinas (Figura 35) foram descritas em 3 das 18 cavidades analisadas em rochas siliciclásticas (CV 02, CV 8/9/16 e CV 22). São sedimentos químicos que pendem do teto e precipitam como delgada camada aproximadamente retilínea. Ocorre de forma localizada, com coloração escura a preta e tamanho centimétrico. Na CV 8/9/16 a cortina é mais expressiva, observada em parte do teto do conduto principal.

Escorrimentos foram observados em 5 cavernas em rochas siliciclásticas (CV 01, CV 02, CV 10, CV 8/9/16 e CV 22). A coloração varia de avermelhada a cinza escura e a ocorrência é restrita. Nas cavidades CV 01, CV 02 e CV 8/9/16 foi observado o desenvolvimento de microtravertinos na superfície dos escorrimentos (Figura 38).

Nas cavernas CV 01 e CV 02 os escorrimentos e microtravertinos são formados por sedimentos e não são produto de recristalização como ocorre na formação dos espeleotemas “clássicos”. Estes microtravertinos não são sólidos e se desmancham ao toque (Figura 36). Provavelmente foram formados devido ao fluxo laminar lento, que

carreia material fino proveniente da própria rocha quartzítica, e os deposita na forma de microtravertinos. Estes foram observados principalmente sobre blocos abatidos situados em locais que recebem fluxo d’água apenas nos períodos chuvosos, mas também ocorrem com menor frequência nas paredes da caverna.



Figura 35: Cortina no conduto principal da CV 8/9/16.



Figura 36: Microtravertinos formados por sedimentos inconsolidados na CV 01.

Na CV 8/9/16 os escorrimentos e microtravertinos (Figura 37) são consolidados e tem coloração alaranjada. Estão impressos sobre matacões e parte da parede do conduto principal, ao longo da drenagem perene. Os espeleotemas estão dispostos em patamares, como lustres, e em formas arredondadas. Nas extremidades inferiores dos escorrimentos formam-se cortinas e pingentes devido à aglomeração dos sedimentos nas terminações. Em alguns pontos foi observado que o pingente atinge o piso, formando colunas. Nas partes superiores dos escorrimentos se formam travertinos. São pequenas bacias de dimensões centimétricas, onde há empoçamento de água e depósito de areia fina no fundo. O travertino foi considerado espeleotema único, pois foi observado apenas na CV

8/9/16 em todo o conjunto estudado. A coloração vermelha a alaranjada se destaca na cavidade que se desenvolve em rocha de coloração clara.



Figura 37: Microtravertinos consolidados, além de cortinas e pingentes, CV 8/9/16.

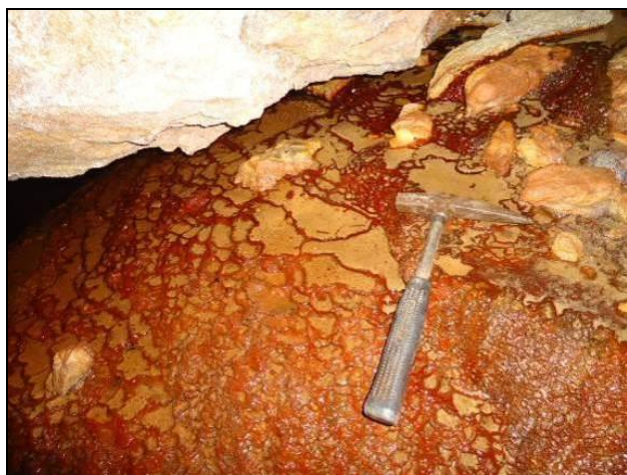


Figura 38: Travertinos na parte superior dos escorrimentos, CV 8/9/16.

Quanto às cavernas ferríferas, coraloides foram observados tanto na CV 05 como na CV 06. Têm tamanhos variando de milimétrico a centimétrico, cor amarronzada a cinza escuro e ocorrem de forma localizada. O crescimento dos coraloides é ramificado e em aglomerados. São compostos por hematita, goethia e lepidocrocita, com desenvolvimento em camadas concêntricas, intercaladas a um material amorfo (TIMO et al., 2015).

Crosta ferruginosa também ocorre nas duas cavidades. São depósitos químicos de coloração alaranjada que ocorrem de forma localizada recobrendo matacões e parte do piso. A crosta ferruginosa é formada por fragmentos ferruginosos (principalmente hematita), angulosos, tamanho areia e grânulo, cimentados por uma massa de hidróxidos

de ferro. É composta por hematita, goethita e, subordinadamente, leucofosfita (TIMO et al., 2015).

Escorrimento foi observado em um ponto da CV 05. Ocorre na parede do salão principal, com coloração alaranjada a avermelhada. Formado por um depósito ferruginoso em camadas delgadas na forma de trama, sem orientação preferencial, com desenvolvimento de pequenas cavidades ou vazios no interior. É composto por hematita, goethia, lepidocrocita e strengita (TIMO et al., 2015)

Com relação ao processo de formação das cavidades, foram observados dois domínios distintos no grupo de rochas siliciclásticas: 10 cavidades estão desenvolvidas em meio à matacões sobrepostos, depositados na encosta (CV 01, CV 02, CV 03, CV 10, CV 11, CV 15, CV 13/17, CV 19, CV 21 e CV 22), e 8 cavidades estão desenvolvidas na base de expressivos afloramentos rochosos (CV 04, CV 07, CV 12, CV 14, CV 8/9/16, CV 18, CV 20 e SPE01).

O depósito de tálus recobre parte da encosta da serra e é formado por matacões gigantescos sobrepostos, inseridos em meio aos afloramentos. As cavidades deste domínio se desenvolvem nos espaços vazios gerados entre os matacões e o solo. Já os afloramentos, são significativos maciços rochosos que predominam no topo da serra, mas ocorrem em toda a encosta. As cavidades se inserem na base da escarpa, em fendas na rocha ou acompanhando a foliação.

A gênese de cavernas desenvolvidas em rochas siliciclásticas pode ser explicada em duas etapas. De acordo com Corrêa Neto et al. (1993), inicialmente uma lenta dissolução da sílica no contato entre os grãos de quartzo formariam espaços vazios. Este processo teria atuado na interseção de fraturas com os planos de foliação e/ou acamamento durante um prolongado período de estabilidade do nível de base e baixo gradiente freático. O segundo estágio é atribuído a um rebaixamento relativo do nível frático, onde o gradiente e a velocidade do fluxo são aumentados. Nesta fase, condutos cilíndricos (pipes) são formados pela remoção mecânica de grãos de quartzo.

Na área de estudo, a grande quantidade de drenagens observadas, mesmo que intermitentes, influencia no processo de desenvolvimento dos condutos das cavidades. As estruturas geológicas são planos ou superfícies de descontinuidade que condicionam a circulação de água e conseqüente erosão, tanto mecânica como química. A foliação e as fraturas são as principais estruturas observadas.

Os canalículos ocorrem em grande quantidade nas cavernas em rochas siliciclásticas. Foram consideradas estruturas espeleogenéticas, pois

podem representar o início do processo de desenvolvimento e a continuidade da evolução dos espaços subterrâneos. Outra estrutura espeleogenética observada apenas em rochas siliciclásticas pode ser denominada alvéolos ou scallops, são marcas arredondadas associadas à constante passagem de água. Em cavidades cujo piso é inclinado de forma concordante à vertente, o que predomina na amostra analisada, a remoção de sedimentos detríticos do interior para o meio externo é facilitada, ampliando os condutos.

Com relação aos processos de desenvolvimento e evolução das cavidades em minério de ferro, de acordo com Piló; Auler (2005) a espeleogênese em minério de ferro e canga ocorre em duas etapas distintas, a primeira delas com predominância de processos dissolutivos (químicos) e a segunda sob a ação de processos erosivos (físicos). A porosidade inicial é gerada devido à lixiviação de horizontes de carbonato e sílica, levando à criação de zonas de baixa densidade, ricas em ferro no interior da rocha (RIBEIRO, 2003).

Nas cavidades desenvolvidas nesta litologia existentes na área de estudo, observou-se que durante a etapa erosiva do processo de formação das cavernas se estabelece uma saída comunicativa com o exterior, e que, após esta etapa, os processos físicos são incrementados. O material de granulometria fina é aportado para o interior via canalículos e posteriormente evacuado para o exterior. Esta fase, aliada a processos de abatimento de blocos, é responsável pela maior parte da morfologia observada nestas cavernas. Na cavidade CV 05 foi observada a deposição de material fino proveniente do interior da rocha, via canalículo, devido à circulação em fraturas de água temporária.

Os canalículos ocorrem nas duas cavidades ferríferas. Foram consideradas estruturas espeleogenéticas, pois podem representar o início do processo de desenvolvimento e a continuidade da evolução dos espaços subterrâneos. O piso inclinado de forma concordante à vertente favorece a remoção de sedimentos detríticos do interior para o meio externo, ampliando os condutos.

As estruturas geológicas, que condicionam a circulação de água e conseqüente erosão nas rochas ferríferas, foram o contato geológico e as fraturas. As cavernas inserem-se em encosta formada por itabirito com cobertura de canga. Nas bordas do chamado platô de canga, quebras bruscas de relevo geram altos gradientes hidráulicos que intensificam a capacidade de erosão da água. O contato geológico forma uma superfície irregular que favorece os processos erosivos, assim como as fraturas e diaclases.

Os processos principais de formação destas cavernas foram a erosão e o transporte, e não a dissolução propriamente dita.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a amostra analisada, composta por 18 cavidades desenvolvidas no grupo de rochas siliciclásticas e 2 cavernas desenvolvidas no grupo de rochas das formações ferríferas, todas oferecem indícios de origem exógena como erosão fluvial, abatimento e ampliação de canalículos. Na maioria dos casos esses processos ocorrem de maneira associada. Os canalículos e as feições alveolares foram considerados como estruturas espeleogenéticas nas cavernas analisadas, contudo são estruturas comuns no conjunto de cavidades analisado. Os canalículos transportam sedimentos finos do interior da rocha para dentro das cavernas, que posteriormente é removido para o meio externo, promovendo a ampliação dos condutos.

Quanto aos padrões planimétricos, as cavidades analisadas não apresentaram nenhum diferencial em relação à forma e organização dos condutos, quando comparadas com outras cavidades de mesma litologia (local e regional). Destaque pode ser dado a cavidade CV 8/9/16, que possui dimensões muito superiores à média.

A cavidade CV 8/9/16 apresentou um conjunto de espeleotemas não observados em outras cavidades no contexto estudado. Também não há relatos desta ocorrência em outras cavernas quartizíticas na unidade espeleológica. Trata-se de uma associação de espeleotemas com coloração vermelha/alaranjada que forma um conjunto único. São escorrimentos, travertinos, microtravertinos, pingentes e cortinas ocorrendo em sequência. Desta forma, este conjunto de espeleotemas foi considerado de destaque, visto que são pouco comuns no contexto local e regional estudado e que possuem singularidades na sua formação. Nesta cavidade ocorreu também diversidade de sedimentação química com muitos tipos de espeleotemas e processos de deposição. Foi observado crosta branca, crosta ferruginosa, coraloide, cortina, pingente, microtravertino, travertino, escorrimento e coluna (formada a partir de um pingente que se uniu ao piso) totalizando 09 tipos de espeleotemas formados a partir dos 04 processos deposicionais distintos.

Escoamento perene ocorre em 6 cavidades (CV 01, CV 02, CV 03, CV 8/9/16, CV 18 e SPE 01) desenvolvidas em rochas siliciclásticas, O fluxo é moderado, tem origem superficial, escoar por toda a extensão dos condutos e volta ao meio externo por

uma das bocas. Apenas na cavidade CV 8/9/16 o fluxo termina na forma de sumidouro no interior do conduto, conferindo a ela alta influência sobre o sistema cárstico. Nas cavernas CV 02 e CV 8/9/16, a água ocorre na forma de diversas feições e promove a formação de espeleotemas. Na cavidade CV 02 foi

construído um barramento no local de saída da água do interior do conduto. É um impacto na cavidade, onde se formou um lago artificial. Nas cavidades localizadas em rochas ferríferas não foi observada a presença de drenagem ou lago perene.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, 90p. 1998.
- AULER, A.S; PILÓ, L.B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **Revista O Carste**, Belo Horizonte, v. 17, p. 70-72, 2005.
- AULER, A.S; PILÓ, L.B. Aspectos morfológicos e evolução de cavernas em minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, 2, São Paulo. **Caderno de Resumos**. São Paulo: IG-USP, 2007, p. 8.
- AYUB, S. A ONG Akakor Geographical Exploring descobre a caverna mais profunda do mundo em quartzito: o Abismo Guy Collet com 670 metros de profundidade. Relação Preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29, Ouro Preto. **Anais**. Ouro Preto: SBE/SEE, 2007, p. 31-37. Disponível em: www.cavernas.org.br/anais29cbe/29cbe_031-037.pdf.
- BELO DE OLIVEIRA, O. A.; OLIVITO, J. P.; RODRIGUES-SILVA, D. Caracterização da Unidade Espeleológica e das Unidades Geomorfológicas da Região do Quadrilátero Ferrífero – MG. **Espeleo-Tema**, Campinas (SP), v.22, n.1. 2011, p. 61-80. Disponível em: www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v22_n1_061-080.pdf.
- BELO DE OLIVEIRA, O. A. Aspectos Geológicos Relacionados às Cavernas no Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, Ponta Grossa – PR, **Anais**, SBE, 2011, p. 103-109. Disponível em: www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_103-109.pdf.
- BRASIL. Decreto Federal nº 6.640 de 07 de novembro de 2008. Dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1º de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, 07 nov. 2008.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 02 de 20 de agosto de 2009. Estabelece a metodologia para a classificação da relevância das cavidades naturais subterrâneas e dá outras providências. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, 21 ago. 2009.
- CECAV - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Base digital de dados geoespacializados de cavernas do Brasil**, 2011. Instituto Chico Mendes. Disponível em: www.icmbio.gov.br/cecav/downloads/mapas.html. Acesso em 01 out. 2015.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO. **A Bacia Hidrográfica do São Francisco**. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/>. Acesso em: 07 set. 2013.
- CORRÊA NETO, A.V.; ANÍSIO, L.C.C.; BRANDÃO, C.P. Um endocarste quartzítico na Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7, **Anais**, SBG Núcleo MG, Boletim 12, 1993, p. 83-86.

- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Brasil**, 2003. Escala 1:2.500.000. CD-ROM.
- DORR II, J.V.N. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington: USGS-DNPM, U. S. Geological Survey Professional Paper, 641-A. 110 p. 1969.
- DUTRA, G.M. Geoespeleologia das cavernas do Inficionado – Minas Gerais, Brasil. In: Speleo Brazil 2001, Brasília. **Anais**. Brasília: UIS/FEALC/SBE, 2001. Disponível em: www.cavernas.org.br/anais26cbe/26CBE_053-056.pdf.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: www.inmet.gov.br/portal/. Acesso em: 10 nov. 2015.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E. Distribuição das Rochas Carbonáticas e Províncias Espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, Campinas (SP), v. 13, p. 105-167. 1979.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Revista Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- PEREIRA, M. C. **Aspectos Genéticos e Morfológicos das Cavidades Naturais da Serra da Piedade – Quadrilátero Ferrífero/MG**. 2012. 150p. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-8TXEZV . Acesso em 01 out. 2015.
- PALMER, A. N. **Cave Geology**, Kansas: Cave Books, 2007. 454p.
- PILÓ, L. B. **Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, MG**. 1998. 283p. Tese (Doutorado), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR, F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero: Uma visão geral e discussão. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte (MG), v.8, n.2. 2000.
- SAMPAIO, M. S.; ALVES, M. C.; CARBALHO, L. G.; SANCHES, L. Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Köppen-Geiger e de Thornthwaite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, Curitiba – PR, **Anais**, INPE, 2011, p. 8857-8864.
- SBE. **Cadastro nacional de cavernas do Brasil (CNC)**. Campinas: SBE, 2010. Disponível em: www.cavernas.org.br. Acesso em: 01 out. 2015.
- SIMMONS, G.C. Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **The National Speleological Society Bulletin**, Huntsville, Atlanta, v. 25, p. 66-72, 1963.
- SIMMONS, G.C. Leucophosphite, a new occurrence in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **The American Mineralogist**, v. 49, p. 377-386, 1964.
- TIMO, J.B.; ROMANO, A.W.; TIMO, M.B. Caracterização dos Espeleotemas de 2 Cavernas em Rochas Ferríferas na Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste, Congonhas (MG). **Espeleo-Tema**, Campinas (SP), v.26, n.1. 2015, p. 19-37. Disponível em: www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v26_n1_019-037.pdf.

VARAJÃO, C. A. C. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG: micromorfologia, geoquímica, geomorfologia e sensoriamento remoto.** 1988. 212f. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação), Universidade de São Paulo, São Paulo. 1988.



A revista *Espeleo-Tema* é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE).
Para submissão de artigos ou consulta aos já publicados visite:

www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp
