

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA –  
ANÁLISE AMBIENTAL**

**ASPECTOS GENÉTICOS E MORFOLÓGICOS  
DAS CAVIDADES NATURAIS DA SERRA DA  
PIEDADE – QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG**

**Manuela Corrêa Pereira**

**Belo Horizonte  
Abril, 2012**

**Manuela Corrêa Pereira**

**ASPECTOS GENÉTICOS E MORFOLÓGICOS  
DAS CAVIDADES NATURAIS DA SERRA DA  
PIEDADE – QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais para a obtenção do título de mestre em Geografia com ênfase em Análise Ambiental. Orientador: Prof. Dr. André Augusto Rodrigues Salgado. Co-orientador: Dr. Joel Georges Marie Andre Rodet.

**Belo Horizonte  
Abril, 2012.**

Dissertação de mestrado intitulada “Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade – Quadrilátero Ferrífero/MG”, de autoria da aluna Manuela Corrêa Pereira, avaliada e aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Orientador: Prof. Dr. André Augusto Rodrigues Salgado  
Depto. de Geografia – IGC/UFMG

---

Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior  
Depto. de Geografia – IGC/UFMG

---

Prof. Dr. Luiz Eduardo Panisset Travassos  
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Belo Horizonte, 02 de abril de 2012.

Av. Presidente Antônio Carlos, 6.627 – Belo Horizonte, MG – 31270-901 – Brasil – tel:  
(31) 3409-5112 – fax: (31) 3409-5490.

*Dedico este trabalho aos meus pais Soledade e Geraldo e as  
minhas irmãs Fernanda e Juliana.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

A minha família: meu pai Geraldo, minha mãe Soledade e minhas irmãs, Juliana e Fernanda, por todo apoio moral e financeiro durante este período.

Ao José Renato, pelo companheirismo, amizade e paciência.

A Bruna, Lila, Rafa, Renata, Jose, Ju, Leilane e Angélica pela amizade em todos os momentos.

A Irmã Rosa, pelas orações.

Agradeço ao meu orientador, Dr. André Salgado, pela orientação, prazos e críticas. Ainda agradeço ao meu co-orientador Dr. Joel Rodet, que contribuiu de forma significativa para a elaboração desta dissertação.

Aos espeleólogos Luciano Faria e Roberto Cassimiro pelos ensinamentos básicos de espeleologia. Em especial, agradeço ao Luciano Faria por ter sugerido a Serra da Piedade como área de estudo desta dissertação.

Ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao CNPQ, pelo fomento através de bolsa de mestrado, essencial para a realização do curso.

Ao Santuário Nossa Senhora da Piedade e ao ICMBIO, pela autorização de pesquisa e apoio. Ao Observatório Astronômico da UFMG, pelo alojamento.

Aos funcionários do Santuário Nossa Senhora da Piedade “Seu” Zacarias e Vanda e ao Reitor Padre Nédio, pelo apoio e incentivo.

A Mônica, Lúcio, Luana, Aline Silva, Lucrecia, Virginia, Pablo, “Seu” Zacarias, Ju, Leilane, Jose, Baiano, Dani, Aline Guerra, Leda, Rafael, Alessandra, Eduardo, Fred, Thomas, Bia, Letícia, Renzo, Fabri e Tati pelo apoio e/ou discussões em campo. Agradeço também a todos os alunos da disciplina Geomorfologia Cárstica pelas discussões em campo e pelo auxílio na topografia. Desde já peço desculpas se deixei de mencionar algum nome, mas adianto que a ajuda, em campo, de todos vocês foi imprescindível.

Em especial agradeço a Leda Zogbi, pela elaboração dos mapas da Gruta da Macumba e da Gruta da Piedade, ao Rafael Camargo pela elaboração do mapa da Gruta do Triângulo e ao Frederico Gonçalves pela elaboração do mapa da Gruta do Chuveirinho. Ainda agradeço a Alice Bessa pela elaboração de alguns mapas desta dissertação.

Por fim, agradeço aos amigos de mestrado Breno, Jojô, Joana, Justine, Yuri, Luizão, Ivana, Letícia Augusta, Fred, Jose, Ju, Alessandra, Haddad e Leilane, pelos momentos de descontração e de construção do conhecimento. Ainda agradeço a todos os professores e funcionários do IGC, pois foram eles, que construíram desde a graduação, o alicerce que me capacitou a realizar este trabalho.

## RESUMO

Os estudos acadêmicos sobre cavidades naturais em formações ferríferas bandadas e canga, no Quadrilátero Ferrífero/MG, são escassos diante do potencial espeleológico desta província mineral. Dentro deste contexto, as cavidades naturais da Serra da Piedade foram objeto de estudo do presente trabalho, que teve como principal objetivo levantá-las e classificá-las, de acordo com seus aspectos genéticos, assim como relacionar a distribuição destas cavernas com o relevo da área de estudo. Para isso, os seguintes procedimentos metodológicos foram realizados: (i) revisão bibliográfica e caracterização da área de estudo; (ii) compartimentação do relevo da área em estudo; (iii) prospecção, mapeamento e descrição dos aspectos físicos das cavidades (inserção na paisagem, geologia, morfologia dos condutos, hidrologia, depósitos clásticos, depósitos químicos e feições de dissolução); (iv) relação entre as cavidades e os seguintes parâmetros: projeção horizontal, declividade, altitude das cavidades, litologia e tipologia da escarpa; e (v) cruzamento dos dados de campo e de laboratório, análise e redação dos resultados. Os resultados obtidos evidenciaram que existem três tipos de cavidades na Serra da Piedade: cavidades em tálus; cavernas com feições cársticas e cavernas onde não foi possível constatar evidências morfocársticas. De maneira geral, as cavidades em tálus encontram-se nos patamares altimétricos mais elevados. Já as cavidades sem feições cársticas são pouco desenvolvidas, estão situadas em uma das classes de menor altitude e declividade e na ruptura do relevo. As cavernas com feições cársticas são as cavidades mais desenvolvidas da área de estudo e também estão situadas em uma das classes de menor altitude e declividade e na borda dos platôs escalonados. Entretanto, a caverna cárstica de maior projeção horizontal, não está inserida neste compartimento. Pode-se concluir que existem processos de carstificação em cavernas e feições superficiais desenvolvidas no itabirito e na canga, embora as mesmas não sejam tão recorrentes e desenvolvidas como as feições presentes em rochas carbonáticas.

**Palavras- chave:** cavernas, carste, formações ferríferas, Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero.

## ABSTRACT

The academic studies about natural cavities developed on banded iron formations and ironcrust, in the Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, are rare. On the other hand, this region has a high speleological potential. Within this context, the Serra da Piedade's natural caves have been studied in this research, which has as main objective register and classifies these cavities according to their genetics aspects; as well as analyzes their distribution over relief. The methodological procedures were: (i) literature review; (ii) partitioning of relief; (iii) cavities prospection, mapping and description of the physical aspects (insertion in the landscape, geology, passages morphology, hydrology, clastic deposits, chemical deposits and solution features); (iv) relationship between the cavities and the following parameters: horizontal projection, slope, cavities altitude, geology and escarpment; and (v) analysis of results. The results obtained shows that there are three types of cavities: (i) cavities formed by voids between boulders, (ii) caverns with karst features, and (iii) caverns where it was not possible to constant morphokarstic evidences. In general, the cavities formed by voids between boulders are found in higher levels. Caves where it was not possible to constant morphokarstic evidences are poorly developed and located at one of the lowest altitude and slop classe. The most of karstic caves are well developed, located at one of the lowest altitude and slop class and at plateaus' boundary. However, the largest cavern is not inserted in this compartment. It can be concluded that there are processes of karstification in caves and surface features developed on itabirite and iron crust.

**Key-words:** caves, karst, iron formations, Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização e altimetria do Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais e suas divisões municipais.....	22
Figura 1.2: Mapa da Gruta Capão Xavier I, desenvolvida sobre o minério de ferro. Nesta caverna constata-se seções triangulares e padrão predominantemente retilíneo, seguindo o bandamento da rocha ou de juntas. ....	24
Figura 1.3: Mapa da Gruta Capão Xavier II, desenvolvida sobre a canga. Nesta caverna constata-se seções irregulares e padrão predominantemente globular. ....	24
Figura 1.4: (A) cavidade formada através de processos exógenos, onde o substrato subjacente à canga é lateralmente erodido; (B) cavidade formada por processos endógenos, onde o itabirito sofre processos de dissolução.....	25
Figura 1.5: Mapa demonstrando a localização das cavernas do banco de dados do CECAV no Quadrilátero Ferrífero, onde se observa a predominância de ocorrência das cavidades nas rochas do Grupo Itabira, onde estão os itabiritos. ....	26
Figura 1.6: Evolução da zona de baixa densidade na interface crosta-saprólito e formação de cavidades no platô N1 da Serra dos Carajás/PA.....	31
Figura 1.7: Fases de formação do carste.....	32
Figura 2.1: Geologia e localização da Serra da Piedade e do Quadrilátero Ferrífero. ....	35
Figura 2.2: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.....	37
Figura 2.3: Localização da Serra da Piedade e da área de estudo. ....	39
Figura 2.4: Localização dos tombamentos e da APA Águas Serra da Piedade.....	41
Figura 2.5: Ao fundo observa-se vegetação mais densa, remanescente de floresta tropical. Já em primeiro plano, observa-se vegetação mais rasteira, que pode ser denominada como campo ferruginoso, devido ao substrato. ....	42
Figura 2.6: Ao fundo observa-se uma área degradada pela mineração, que não foi recuperada e está no interior da área tombada da Serra da Piedade.....	42
Figura 2.7: Bloco de Itabirito dobrado. ....	44
Figura 2.8: Mapa geológico da região da área em estudo. ....	45
Figura 2.9: Perfil N-S da Serra da Piedade, onde observa-se o contraste entre as vertentes norte e sul,, assim como a presença da canga na vertente norte.....	46
Figura 2.10: Mapa Geomorfológico da região da área tombada da Serra da Piedade. ....	47

Figura 4.1: Contextualização das unidades de relevo levantadas no perfil Norte-Sul da Serra da Piedade. ....	53
Figura 4.2: Mapa litológico da área em estudo. A segunda litologia representada na legenda foi mapeada através de dados coletados em campo. O formato da primeira litologia da legenda (canga) não é fiel à realidade constatada em campo. ....	53
Figura 4.3: Mapa hipsométrico, onde é possível constatar que a área em estudo está inserida entre as cotas de 1360 metros e 1776 metros (patamar altimétrico, onde localiza-se a igreja da área em estudo). ....	54
Figura 4.4: Mapa de declividade da área em estudo. Através das classes de declividade, constata-se que a escarpa sul possui áreas mais declivosas, quando comparada com a escarpa norte. ....	55
Figura 4.5: Imagem de satélite da área em estudo e suas unidades de relevo .....	55
Figura 4.6: (A) Vista da unidade de relevo crista, onde avista-se o complexo arquitetônico da Serra da Piedade; (B) Vista da escarpa sul, onde na porção superior da foto, constata-se a unidade crista e (C) Capela Nossa Senhora da Piedade, localizada no ponto altimétrico mais elevado da Serra da Piedade (1.776 metros). ....	56
Figura 4.7: (A) e (B) Escarpa sul, caracterizada por ser abrupta e pela presença de afloramentos de itabirito; (C) A porção nordeste da escarpa sul possui um relevo, relativamente mais suave. Ao fundo observa-se estrada desativada construída pelo ex-reitor do Santuário. ....	57
Figura 4.8: (A) Afloramentos de itabirito na porção oeste da unidade escarpa norte. (B) Matações de itabirito presentes na porção leste da unidade escarpa norte. (C) Escarpa norte, caracterizada pela presença de itabiritos, matações e blocos desta litologia. ....	58
Figura 4.9: (A) Estrada situada na escarpa norte que dá acesso ao Complexo Arquitetônico da Serra da Piedade. (B) Na porção direita da foto, constata-se infra-estrutura instalada num pequeno platô de canga presente na porção extremo oeste da unidade escarpa norte. ....	59
Figura 4.10: (A) Em primeiro plano, escarpa norte, em segundo plano platô inferior e em terceiro plano planalto inferior. (B) Em primeiro plano, escarpa norte, em segundo plano platô superior e em terceiro plano planalto inferior. ....	60
Figura 5.1: Contextualização das cavidades na unidade Platô Superior. ....	62
Figura 5.2: Entrada da Gruta do Cascalinho, localizada na ruptura do relevo. ....	63
Figura 5.3: Conduto arredondado com a presença de uma fissura entre o itabirito (não foi possível afirmar se este itabirito estava in situ, ou se consiste em um matacão) e a canga detrítica. ....	64

- Figura 5.4: (A) e (B) Domos formados no teto da Gruta do Cascalhinho; e (C) pendente, forma relíquia que indica a coalescência de condutos, através do processo de dissolução. .... 65
- Figura 5.5: (A) Entrada da porção leste da Gruta da macumba, com formato que se assemelha ao semi-oval. (B) Entrada da porção central da Gruta da Macumba, que possui o formato semi-circular e (C) reentrância na porção sudeste da Gruta da Macumba, que foi utilizada como um altar ornamentado com flores de plástico, velas, copos de plástico, garrafas quebradas, etc., utilizados em ritos religiosos. .... 66
- Figura 5.6: (A) Fratura localizada no interior da cavidade; (B) Paleopiso, principal feição que caracterizou a Gruta da Macumba como cárstica; (C) Feição côncava abaixo do paleo-piso; (D) Espeleotemas precipitados abaixo da feição que se assemelha a um altar da Figura 5.5-C. .... 67
- Figura 5.7: Mapa da Gruta da macumba, onde é constatada a presença de paleo-piso na porção sul da cavidade e condutos irregulares. .... 68
- Figura 5.8: (A) Clarabóia presente no teto da Gruta de mesmo nome; (B) Conduto irregular da Gruta da Clarabóia e (C) Entrada da Gruta da Clarabóia. .... 70
- Figura 5.9: (A) Interior da Gruta das Latinhas, onde é possível observar sedimentos finos e grosseiros. (B) Fissuras presentes no interior da Gruta das Latinhas (C) Entrada da Gruta da Latinha, que aparenta ter o formato triangular. .... 71
- Figura 5.10: (A) Entrada da Gruta do conduto I (B) Entrada da Gruta do Conduto II. .... 72
- Figura 5.11: (A) Entrada da Gruta do morcego, que possui formato irregular; (B) Interior da Gruta do Morcego, onde é possível constatar a presença do itabirito, da canga detrítica e de um matacão abatido de canga; (C) Entrada da Gruta pequena, que possui formato irregular e é caracterizada pela presença da canga detrítica e do itabirito. .... 74
- Figura 5.12: Localização das cavidades na unidade de relevo Platô Inferior. .... 75
- Figura 5.13: Entrada da Gruta do desisto, caracterizada por ser de difícil acesso. .... 76
- Figura 5.14: (A) Entrada da Gruta do Chuveirinho; (B) A linha tracejada amarela indica o contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê, presente no final do salão do contato; (C) Blocos de canga no salão do sapo e conduto irregular que conecta o salão do sapo ao salão principal; e (D) Cúpulas presente no teto do salão do sapo. .... 78
- Figura 5.15: (A) Pequeno canal intermitente presente no salão principal; (B) As setas azuis indicam o resquício de um possível paleopiso presente no salão da capa; (C) Pequena bacia presente no salão da capa, caracterizada por represar a água da chuva, que por sua vez utiliza das descontinuidades presentes entre os detritos da canga para ter acesso ao interior da caverna; e (D) Irregularidades no teto, coluna e pendente de teto presentes no salão do contato. .... 79

Figura 5.16: Planta baixa da Gruta do Chuveirinho .....	80
Figura 5.17: (A) Entrada da Gruta do capim e (B) Sedimentos finos, grosseiros e reentrâncias estão presentes no interior da Gruta do Capim.....	81
Figura 5.18: Entrada da Gruta do Bloco Abatido.....	83
Figura 5.19: (A) Matacões presentes no salão dos matacões; (B) Pequena bacia presente no salão da bacia, que possui sedimentos finos carreados pelas águas temporárias dos canais de drenagem; (C) Sedimentos finos que podem ser alóctones, provenientes dos canalículos e carreados pelos canais de drenagem intermitentes; (D) Sedimentos no teto da Gruta do Triângulo, feição que pode evidenciar que a mesma estava preenchida; logo infere-se que a mesma sofreu paragênese; (E) Paleopiso, principal feição que caracteriza a Gruta do Triângulo como cárstica; (F) Concavidade no teto desenvolvida sobre o itabirito. ....	85
Figura 5.20: Planta baixa da Gruta do Triângulo. ....	86
Figura 5.21: Localização das cavidades na porção superior da unidade de relevo Escarpa Norte. ....	87
Figura 5.22: (A) Porção da cavidade GP(11) que é formada por um matacão de canga; (B) Coralóides formados no teto de itabirito da caverna GP(11); (C) Sedimentos grosseiros de canga e itabirito presentes no chão da caverna GP(11); e (D) Processo de deslocamento do itabirito, que foi favorecido pelo seu bandamento desta litologia.....	88
Figura 5.24: (A) Contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê no Salão Arredondado; (B) Feição alveolar localizada no Salão Arredondado; (C) Pendentes localizados no final do Conduto Calibrado; e (D) Conduto Calibrado, onde é possível constatar o formato tubular e a presença de blocos de canga. ....	92
Figura 5.25: (A) Entrada principal da Gruta da Piedade, localizada no Nível 0; (B) Queda d'água intermitente presente no salão principal da Gruta da Piedade; (C) Entrada do conduto “sem piedade”, que conecta o salão principal, situado no Nível 0, aos demais salões do Nível +1; (D) Feição que se assemelha à uma cúpula presente no teto do conduto “sem piedade”, no interior desta feição é possível notar um buraco arredondado que dá acessos aos salões do Nível +1; (E) Feições que aparentam ser pendentes de teto no conduto “sem piedade”; e (F) Contato evidente entre a canga e o itabirito no conduto “sem piedade”. ....	93
Figura 5.26: (A) Espeleotemas do tipo coralóide formados no itabirito dobrado (B) Pequenas bacias perenes que aparentam terem sido formadas por processos de dissolução. ....	94
Figura 5.27: (A) Conduto dos Matacões, caracterizados por apresentar matacões de significativas dimensões. (B) Pendente presente no salão do Pendente; (C) Fissura presente no conduto que dá acesso ao Salão do Pendente; (D) Canga caracterizada por apresentar uma alta densidade de detritos; (E) Itabirito descaracterizado e friável, já que não apresenta a banda silicosa que faz parte de sua composição original.....	96

- Figura 5.28: (A) Conduto de formato semi-circular que conecta o Salão Principal ao Salão dos Morcegos; (B) Canal de drenagem intermitente presente no Salão dos Morcegos; (C) Conduto que possui sua gênese associada aos planos de acamamento do itabirito..... 98
- Figura 5.29: (A) Côncavidade presente no teto do conduto do perigo; (B) Conduto semi-oval, caracterizado por possuir uma litologia bastante intemperizada; (C) Alvéolos presentes na Entrada 13 do Salão do Alívio; (D) Salão Puro Ferro, aparenta ter sido formado por um matacão de itabirito..... 99
- Figura 5.30: (A) Forma alveolar localizada na parede do Salão da Botinha; (B)Teto do Salão do Paredão, que aparenta ser um matacão de itabirito; (C) Depósitos finos presentes no interior do salão do fim, estes sedimentos aparentam ter sua gênese associada à banda silicosa do itabirito, que foi lixiviada; e (D) Conduto irregular, que também é a entrada para o salão do fim..... 100
- Figura 5.31: (A) Entrada da Gruta do Colchão e abrigo presente na sua parte externa e (B) Interior da Gruta do Colchão. .... 101
- Figura 5.32: As setas vermelhas indicam as fraturas presentes no exterior das grutas, já as setas amarelas indicam os vazios ou condutos que podem ter sido gerados por estas fraturas. (A) Gruta da Estrada I e (B) Gruta da Estrada II..... 103
- Figura 5.33: Localização das cavidades na porção inferior da unidade de relevo Escarpa Norte. .... 104
- Figura 5.34: (A) Entrada das Gruta dos Romeiros, formada pela sobreposição de matações de itabirito; (B) Alguidar (prato de barro utilizado em rituais religiosos) na entrada da Gruta dos Romeiros e (C) Teto de itabirito da cavidade GP(15). .... 105
- Figura 5.35: Localização das cavidades na porção ocidental da unidade de relevo Escarpa Norte. .... 106
- Figura 5.36: (A) Gruta do Eremita, formada pela sobreposição de matações de itabirito e (B) Placa que indica a entrada da Gruta do Eremita. .... 107
- Figura 5.37: (A) A Gruta do Banheiro foi desenvolvida na ruptura do relevo, que possui escarpa sem continuidade lateral expressiva; (B) Fratura presente na entrada da Gruta do Banheiro..... 108
- Figura 5.38: Localização das cavidades na unidade crista. .... 109
- Figura 5.39: (A) A Gruta da Placa azul está localizada na ruptura do relevo; e (B) Estreito conduto desenvolvido no itabirito da Gruta da Placa Azul. .... 111
- Figura 5.40: “Gruta dos Milagres” localizada na Escarpa Sul da Serra da Piedade, o círculo vermelho indica o tanque de alvenaria que acumula a água “milagrosa”. .... 112
- Figura 5.41: Localização das cavidades na Escarpa Sul. .... 112
- Figura 5.42: Localização das cavidades na porção oriental da Escarpa Sul..... 114

Figura 5.43: (A) Grande rochedo descrito pelo ex-reitor Frei Rosário e constatado em campo; (B) Entradas da Gruta dos Monges; e (C) Depósitos de granulometria grosseira presentes no interior da Gruta dos Monges. ....	115
Figura 5.44: Entrada da Gruta GP (P27). ....	116
Figura 6.1: Relação entre o número de cavernas de cada classe e as classes de projeção horizontal: classe 1 ( 0 – 15 metros), classe 2 (16 – 30 metros), classe 3 (31 – 45 metros) e classe 4 (acima de 45 metros).....	119
Figura 6.2: Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe de projeção horizontal: classe 1 ( 0 – 15 metros), classe 2 (16 – 30 metros), classe 3 (31 – 45 metros) e classe 4 (acima de 45 metros).....	119
Figura 6.3: Relação entre o número de cavernas de cada classe e as classes de declividade: (classe 1: 0-10%; classe 2: 10-20%; classe 3: 20-30%; classe 4: 30-40%; classe 5: 40-50% e classe 6: 50-90%). ....	121
Figura 6.4: Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe de declividade: (classe1: 0-10%; classe 2: 10-20%; classe 3: 20-30%; classe 4: 30-40%; classe 5: 40-50% e classe 6: 50-90%). ....	122
Figura 6.6: Relação entre o número de cavernas de cada classe e as classes de hpsometria: classe 1: 1360-1420 metros; classe 2:1420-1480 metros; classe 3: 1360-1420 metros; classe 4: 1540-1600 metros; classe 5: 1600-1680 metros e classe 6: acima de 1680 metros.....	125
Figura 6.7: Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe de declividade: classe 1: 1360-1420 metros; classe 2:1420-1480 metros; classe 3: 1360-1420 metros; classe 4: 1540-1600 metros; classe 5: 1600-1680 metros e classe 6: acima de 1680 metros.....	126
Figura 6.9: Relação entre o número de cavernas de cada classe e a litologia. ....	129
Figura 6.10: Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe e a litologia. ....	129
Figura 6.11: Imagem de satélite onde estão contextualizadas a unidades de relevo da área de estudo e duas cavidades: (A) Gruta do Chuveirinho, caverna com feições cársticas, localizada numa escarpa com continuidade lateral expressiva, que consiste na borda do platô inferior; (B) Gruta da Placa Azul, caverna sem feições cársticas, localizada numa escarpa com continuidade lateral pouco expressiva, que por sua vez está situada no interior da unidade crista.....	131
Figura 6.12: Relação entre o número de cavernas presentes em cada classe e a tipologia da escarpa na qual estão inseridas. ....	131
Figura 6.13: Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe e a tipologia da escarpa na qual estão inseridas. ....	132
Figura 7.1: Kaminitzas encontradas na Serra da Piedade.....	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Cascalinho.....	62
Tabela 5.2: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Macumba .....	65
Tabela 5.3: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Clarabóia.....	69
Tabela 5.4: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta das Latinhas.....	70
Tabela 5.5: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Conduto I e da Gruta do conduto II .....	72
Tabela 5.6: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta Pequena e da Gruta do Morcego.....	73
Tabela 5.7: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Desisto e da Gruta Pequena II .....	75
Tabela 5.8: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Chuveirinho .....	76
Tabela 5.9: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Capim	80
Tabela 5.10: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Meio.	81
Tabela 5.11: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Bloco Abatido .....	82
Tabela 5.12: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Triângulo.....	83
Tabela 5.13: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das cavernas em tálus do Grupo 3.....	88
Tabela 5.14: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Piedade.....	89
Tabela 5.15: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Colchão .....	101
Tabela 5.16: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Estrada I e Gruta da Estrada II .....	102
Tabela 5.17: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 4:.....	104

Tabela 5.18: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 5: .....	107
Tabela 5.19: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Banheiro:.....	107
Tabela 5.20: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 6: .....	110
Tabela 5.21: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Placa Azul: .....	110
Tabela 5.22: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 7: .....	113
Tabela 5.23: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Monges. ....	114
Tabela 5.24: Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Piedade (27). ....	116
Tabela 6.1: Relação entre as classes de declividade e o tipo de relevo (esta classificação utilizou de forma adaptada a classificação realizada por SANTOS et al. 2005). ....	120
Tabela 6.2: Classes de hipsometria da área de estudo.....	125
Tabela 6.3: Relação entre os tipos de cavernas da Serra da Piedade e suas respectivas classes que predominaram nos quesitos: projeção horizontal, declividade, hipsometria, litologia e escarpa. ....	133

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>1 CAVIDADES EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS E CANGA .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1 Considerações Iniciais .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 A ocorrência de cavernas em formações ferríferas no Brasil e no mundo.....</b>	<b>21</b>
1.2.1 <i>O Quadrilátero Ferrífero/MG.....</i>	<i>21</i>
1.2.2 <i>A Região da Serra dos Carajás.....</i>	<i>26</i>
1.2.3 <i>Outros países.....</i>	<i>28</i>
<b>1.3 Principais processos morfogênicos de cavernas em formações ferríferas.....</b>	<b>29</b>
<b>2 O QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG E A SERRA DA PIEDADE.....</b>	<b>34</b>
<b>2.1 O Quadrilátero Ferrífero.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2 A Serra da Piedade.....</b>	<b>39</b>
2.2.1 <i>Geologia e Geomorfologia.....</i>	<i>43</i>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1 Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Etapa de campo.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3 Análises Cartográficas e dos Resultados .....</b>	<b>50</b>
<b>4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Crista .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2 Escarpa sul .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3 Escarpa Norte .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4 Platôs escalonados .....</b>	<b>59</b>
<b>4.5 Planalto Inferior .....</b>	<b>60</b>
<b>5 DESCRIÇÃO DAS CAVERNAS DA SERRA DA PIEDADE.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1 Considerações iniciais .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2 Grupo 1: cavernas da unidade Platô Superior.....</b>	<b>61</b>
5.2.1 <i>Gruta do Cascalinho .....</i>	<i>62</i>
5.2.2 <i>Gruta da Macumba.....</i>	<i>65</i>
5.2.3 <i>Gruta da Clarabóia .....</i>	<i>69</i>
5.2.4 <i>Gruta das Latinhas.....</i>	<i>70</i>
5.2.5 <i>Gruta do Conduto I e Gruta do Conduto II.....</i>	<i>72</i>
5.2.6 <i>Gruta Pequena e Gruta do Morcego.....</i>	<i>73</i>
<b>5.3- Grupo 2: cavernas da unidade Platô Inferior .....</b>	<b>74</b>
5.3.1 <i>Gruta do Desisto e Gruta Pequena II.....</i>	<i>75</i>
5.3.3 <i>Gruta do Chuveirinho.....</i>	<i>76</i>

5.3.4	<i>Gruta do Capim</i> .....	80
5.3.5-	<i>Gruta do Meio</i> .....	81
5.3.6	<i>Gruta do Bloco Abatido</i> .....	82
5.3.7	<i>Gruta do Triângulo</i> .....	83
<b>5.4</b>	<b>Grupo 3: cavidades da porção superior da unidade Escarpa Norte</b> .....	<b>86</b>
5.4.1	<i>Cavernas em tálus do Grupo 3</i> .....	87
5.4.2	<i>Gruta da Piedade</i> .....	89
5.4.4	<i>Gruta da Estrada I e Gruta da Estrada II</i> .....	102
<b>5.5-</b>	<b>Grupo 4: cavidades da porção inferior da unidade Escarpa Norte</b> .....	<b>103</b>
<b>5.6</b>	<b>Grupo 5: cavidades da porção ocidental da unidade Escarpa Norte</b> .....	<b>105</b>
5.6.1	<i>Cavernas em tálus do Grupo 5</i> .....	106
5.6.2	<i>Gruta do Banheiro</i> .....	107
<b>5.7</b>	<b>Grupo 6: cavidades da unidade Crista</b> .....	<b>109</b>
5.7.1	<i>Cavernas em tálus do Grupo 6:</i> .....	110
5.7.2	<i>Gruta da Placa Azul</i> .....	110
<b>5.8</b>	<b>Grupo 7: cavidades da unidade Escarpa Sul</b> .....	<b>111</b>
<b>5.9</b>	<b>Grupo 8: cavidades da porção oriental da unidade Escarpa Sul</b> .....	<b>113</b>
5.9.1	<i>Gruta dos Monges</i> .....	114
5.9.2	<i>GP (27)</i> .....	115
<b>6</b>	<b>CONTEXTO DAS CAVIDADES NO RELEVO DA SERRA DA PIEDADE</b> .....	<b>117</b>
6.1	<b>Cavernas X projeção horizontal</b> .....	<b>117</b>
6.2	<b>Cavernas X declividade</b> .....	<b>120</b>
6.3	<b>Cavernas X hipsometria</b> .....	<b>124</b>
6.4	<b>Cavernas X litologia</b> .....	<b>128</b>
6.5	<b>Cavernas X escarpa</b> .....	<b>130</b>
6.6	<b>Perfil das cavidades da Serra da Piedade</b> .....	<b>132</b>
<b>7</b>	<b>FEIÇÕES CÁRSTICAS DA SERRA DA PIEDADE</b> .....	<b>135</b>
7.1	<b>Considerações Iniciais</b> .....	<b>135</b>
7.2	<b>Feições endocársticas das cavernas da Serra da Piedade</b> .....	<b>135</b>
7.3	<b>Feições exocársticas da Serra da Piedade</b> .....	<b>136</b>
7.4	<b>Litologia e inserção das cavernas in situ no relevo da Serra da Piedade</b> .....	<b>137</b>
7.5	<b>Cavidades cársticas da Serra da Piedade X demais cavidades já descritas no Quadrilátero Ferrífero</b> .....	<b>138</b>
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>140</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>142</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>1429</b>

## INTRODUÇÃO

O interesse pelo estudo de cavidades em minério de ferro/formações ferríferas, no Brasil e no mundo pode ser considerado recente. Na verdade, este interesse só cresceu graças a expansão das atividades das empresas que exploram este minério, aliado a um aumento das exigências dos órgãos ambientais na obtenção do licenciamento para este tipo de atividade. A consequência deste fato é que, atualmente, é crescente o número de registros e estudos sobre a bioespeleologia, geoespeleologia, arqueologia, paleontologia e uso destas cavidades. Entretanto, grande parte destes estudos é realizada para atender as demandas do licenciamento ambiental.

Em contrapartida, estudos de caráter acadêmico em cavidades desenvolvidas em substrato ferruginoso ainda são escassos. Tal fato se torna inquietante se considerarmos que estes tipos de cavidades possuem elementos interessantes do ponto de vista científico, inclusive geomorfológico.

A Serra da Piedade, localizada na porção setentrional do Quadrilátero Ferrífero, constitui um lugar adequado para o estudo de cavidades em formações ferríferas, pois além de ter ricos depósitos de minerais ferruginosos, possui sua área tombada e protegida da ação das empresas mineradoras. Fora isso, algumas cavidades desta Serra já foram relatadas pelo botânico Auguste de Saint-Hilaire em 1818; e identificadas e registradas em um croqui pelo Frei Rosário Joffily<sup>1</sup>. Entretanto, tanto o relato do viajante como o registro do reitor do Santuário da Serra da Piedade possuem um caráter exclusivamente religioso. Este fato faz com que, apesar destas contribuições supracitadas, até o momento não há nenhum estudo científico de caráter espeleológico nesta Serra. Além disso, ainda não há registros de cavidades localizadas na Serra da Piedade no banco de dados do CECAV<sup>2</sup>.

Dentro deste contexto, o presente trabalho visa realizar um estudo horizontalizado sobre as cavidades naturais da Serra da Piedade. Desse modo, o objetivo geral consiste em levantar e classificar estas cavidades, de acordo com seus aspectos genéticos, assim como relacionar a distribuição destas cavernas com a geomorfologia da área de estudo. Já os objetivos específicos consistem em:

- 1) Compartimentação do relevo da área em estudo.

---

<sup>1</sup> Este croqui foi encontrado no acervo do Santuário Nossa Senhora da Piedade. Entretanto, o mesmo não possui data. Desse modo, infere-se que foi elaborado entre 1913 e 2000, data de nascimento e de óbito do Frei Rosário Joffily.

<sup>2</sup> Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas.

- 2) Descrição dos aspectos físicos e antrópicos presentes no interior das cavidades: inserção na paisagem, geologia, morfologia dos condutos, hidrologia, depósitos clásticos, depósitos químicos, feições de dissolução e uso humano das cavidades.
- 3) Com base na descrição dos aspectos físicos, reconhecimento dos aspectos genéticos das cavidades naturais e classificação das mesmas de acordo com sua gênese.
- 4) Relação entre as classes das cavidades e os seguintes parâmetros: projeção horizontal, declividade, hipsometria, litologia e tipologia da escarpa.

# 1 CAVIDADES EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS E CANGA

## 1.1 Considerações Iniciais

Até o século passado, estudos espeleológicos no Brasil remetiam quase que exclusivamente às cavidades em rochas carbonáticas. A partir dos anos 2000, o maior desenvolvimento da atividade minerária voltada à extração do minério de ferro implicou na ampliação da necessidade de se conhecer o patrimônio espeleológico associado (AULER & PILÓ, 2005). Com o aumento desses estudos a partir de então, o número de cavernas em formações ferríferas cadastradas no Brasil aumentou de algumas dezenas para milhares de cavidades. Estas se encontram concentradas em sua quase totalidade no Quadrilátero Ferrífero, na porção central de Minas Gerais e na Serra de Carajás, no Pará. Vale ressaltar que as demandas econômicas crescentes pelo minério de ferro em todo o mundo acarretam na exploração nos litotipos associados, o que pode representar uma ameaça a esse patrimônio espeleológico potencial, que ainda é pouco conhecido no país.

Apesar do crescente número de estudos e registros de cavernas em formações ferríferas, ainda são escassas as pesquisas no âmbito acadêmico. Grande parte dos estudos elaborados até o presente são destinados às empresas do setor minerário. Do ponto de vista acadêmico, a ocorrência de cavernas em formações ferríferas é intrigante, tendo em vista que a gênese destas cavidades pode estar relacionada a diversos processos morfogenéticos. Além disso, a datação destas cavidades é um desafio para os métodos geocronológicos.

Embora haja limitações em comprovar metodologicamente os processos morfogenéticos de cavidades em formações ferríferas, já existem pesquisas que estabelecem considerações sobre o tema. Dentre eles, destaca-se o pioneiro Simmons (1963), que considera que processos de dissolução estão associados à gênese de algumas cavernas do Quadrilátero Ferrífero/MG. Processos de dissolução em formações ferríferas é um processo morfogenético que remete à discussão da ocorrência do carste em rochas não-carbonáticas, ou especificamente, de feições cársticas em formações ferríferas bandadas e canga.

Neste capítulo serão revistos os trabalhos que de alguma forma relatam sobre a ocorrência e/ou gênese de cavidades em formações ferríferas, existentes tanto no Brasil como no resto do mundo. Por fim, será realizada uma discussão acerca de dois processos que podem estar relacionados à gênese de cavidades em formações ferríferas: carstificação e *piping*.

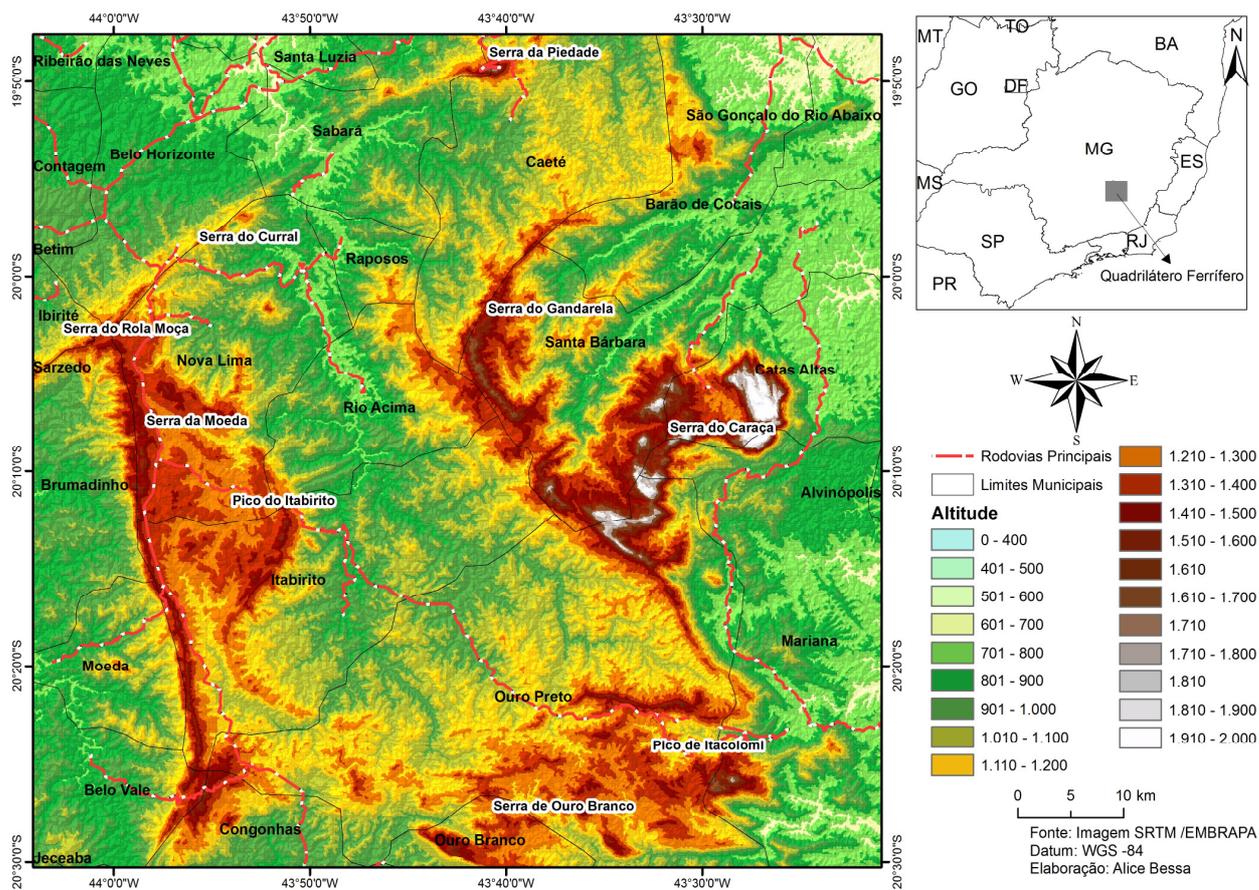
## **1.2 A ocorrência de cavernas em formações ferríferas no Brasil e no mundo**

### *1.2.1 O Quadrilátero Ferrífero/MG*

O Quadrilátero Ferrífero/MG, com aproximadamente 600 cavernas cadastradas em seu interior (CECAV, 2010), localiza-se na porção centro-sul de Minas Gerais (Figura 1.1). O conjunto de formações ferríferas metamórficas nesta região é composto por itabiritos, dolomitos ferruginosos e filitos hematíticos do Grupo Itabira, além de crostas lateríticas – canga (ROSIÈRE; CHEMALE JR, 2000). O maior número de cavidades já cadastrado no interior do Quadrilátero Ferrífero/MG é desenvolvido nas litologias supracitadas. Além das formações ferríferas, o Quadrilátero Ferrífero/MG também possui cavidades em quartzito, mármore dolomítico, calcário e arenito (CECAV, 2010).

As primeiras descrições de cavernas em formações ferríferas no Brasil datam de meados do século XIX e foram realizadas pelo francês Aimé Pissis em 1842, e pelo inglês William Henwood em 1871 em Minas Gerais (AULER & PILÓ, 2005). No século XX, Tassini (1947) e Guild (1957) também relatavam a existência de cavernas em formações ferríferas. Entretanto, foi na década de 60, que o geólogo George C. Simmons contribuiu de forma significativa para a geologia e estudos de cavernas no Quadrilátero Ferrífero/MG.

Simmons (1960) elaborou uma teoria para a origem das cangas presentes em quatro áreas desta província: Fecho do Funil, Serra do Curral, Fazenda da Alegria e Serra do Tamanduá. Esta teoria propunha que a água de origem meteórica que percola lateralmente e verticalmente em relação aos depósitos detríticos de itabirito, hematita compacta, filito decomposto e quartzito, dissolve o ferro, levando-o em solução até os pontos onde as condições ambientais são propícias à sua precipitação. Logo o ferro é precipitado sob forma de limonita, responsável pela cimentação dos detritos que formam a canga. A metodologia deste trabalho baseou-se no estudo da distribuição dos minerais e análises químicas de amostras da Fazenda da Alegria e Fecho do Funil.



**Figura 1.1:** Localização e altimetria do Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais e suas divisões municipais.

Os próximos trabalhos do autor supracitado se referem às cavernas presentes em formações ferríferas, sendo publicada no ano de 1963 sua principal referência sobre a gênese deste tipo de cavidade. Esta referência é pioneira, tendo em vista que até então nenhum outro estudo estabeleceu considerações sobre a gênese das cavidades presentes no Quadrilátero Ferrífero/MG. Simmons (1963) relata que as cavidades encontradas são “singulares”, de ocorrência provavelmente ainda não mencionada na literatura espeleológica. O autor já frisava nesta época a ausência de iniciativas no sentido de listar, localizar e descrever as cavernas existentes nesta província espeleológica.

Quanto aos processos morfogenéticos, Simmons (1963) afirma que existem dois tipos: a erosão e a dissolução, sendo que algumas cavidades resultam da ação combinada de ambos os processos. As cavernas de erosão ocorrem imediatamente abaixo de mantos de canga. O intemperismo do material friável como filitos, xistos ou material detrítico, aliado à declividade das encostas sustentadas pelas cangas, acarreta no processo erosivo deste material, originando as cavidades erosivas. Neste contexto, a canga, devido a sua alta resistência forma o teto das cavidades e a erosão dos litotipos localizados abaixo dela geram o

conduto. De maneira geral, é relatado que estas cavernas apresentam um único conduto e que não possuem dimensões superiores a 15 metros de desenvolvimento.

Já as cavernas de dissolução ocorrem sob a canga no contato com o itabirito da Formação Cauê. Para Simmons (1963) a morfogênese dessas cavidades está relacionada ao teor de minerais solúveis e pela disposição do acamamento do itabirito. De modo geral, as cavernas desta tipologia apresentam salões e condutos que se assemelham aos encontrados em rochas carbonáticas. Simmons (1963) relata que algumas delas podem atingir 100 metros de desenvolvimento linear.

Por fim, Simmons (1964) relata a ocorrência de *leucophosphate*<sup>3</sup> em uma caverna da Serra do Tamanduá. Para o autor, o fosfato foi formado através da reação de soluções aquosas provenientes do guano de morcegos com óxidos de ferro presentes nas paredes das cavernas em formações ferríferas.

Desde a grande contribuição de Simmons (1963) para a espeleologia do Quadrilátero Ferrífero/MG, estudos posteriores de maior relevância vieram ocorrer apenas no início do século XXI, por iniciativa dos autores Augusto Auler e Luis Piló. Dentre estes estudos destacam-se os que foram realizados na Mina de Capão Xavier, no Quadrilátero Ferrífero/MG (PILÓ & AULER, 2005). Neste estudo, é considerada a ocorrência de cavernas tanto em canga como no itabirito. Em relação à gênese dessas cavidades é analisada a ocorrência de processos químicos endógenos seguidos de erosão mecânica, assim como de processos apenas erosivos. Dentre as grutas analisadas, apenas duas, Capão Xavier I e II (Figuras 1.2 e 1.3), se assemelham às cavernas de dissolução descritas por Simmons (1963). Já as grutas III, IV, V e VI que se encontram encaixadas na borda de rupturas de declive na vertente, se assemelham às “cavernas de erosão” descritas pelo referido autor.

As grutas Capão Xavier I e II foram desenvolvidas sobre o minério de ferro e sobre a canga, respectivamente. Pilo; Auler (2005) relatam que a primeira possui padrão planimétrico mais retilíneo e as seções transversais e longitudinais apresentam uma geometria mais triangular. Já a segunda apresenta padrão planimétrico de formato globular e as seções dos condutos são irregulares.

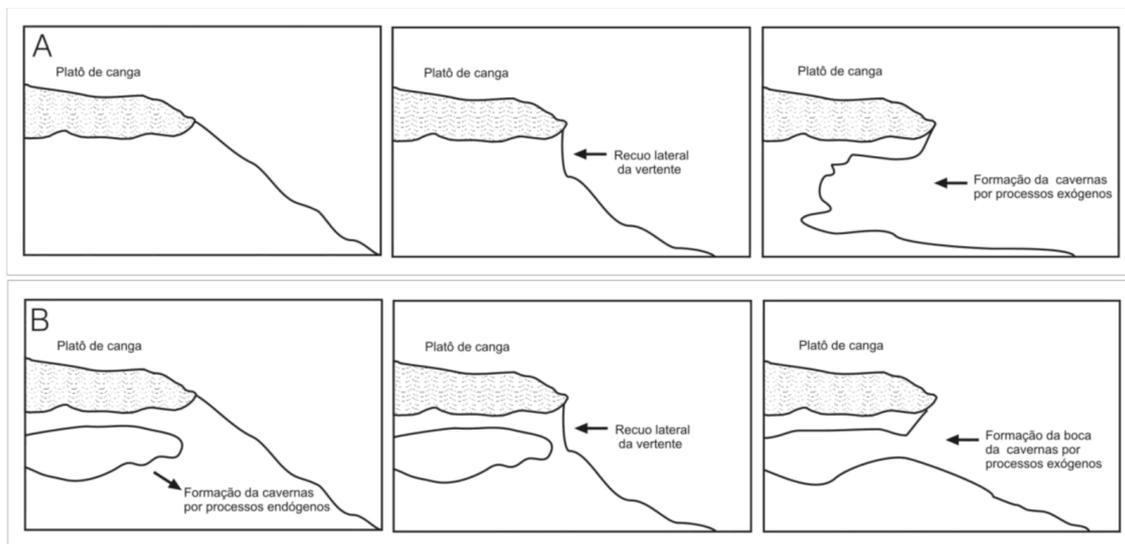
---

<sup>3</sup> Fosfato raro, representado pela fórmula:  $(K, NH_4)(Al, Fe)_2(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ .



Quanto às hipóteses estabelecidas para a gênese destas cavernas, foi considerado que a formação inicial de zonas de alta porosidade no interior das jazidas de minério de ferro foi favorecida pela ocorrência de minério de ferro do tipo dolomítico, gerando zonas de alta permeabilidade. Sendo assim, comprova-se a dissolução como um processo significativo na gênese das cavidades. Porém, para Pilo; Auler (2005) houve uma segunda etapa na espeleogênese destas cavidades. Esta segunda etapa estaria relacionada à erosão mecânica que conectou as cavidades com a superfície e as expandiu.

Outro estudo realizado no Quadrilátero Ferrífero foi o de Stávale (2007). A autora analisou possibilidades de gênese para as cavernas em minério de ferro presentes no Parque Estadual do Rola Moça, situado na porção ocidental do Quadrilátero Ferrífero/MG. Dentre os resultados obtidos, constatou-se que as cavernas do Parque estavam localizadas em rupturas litológicas e inseridas no contato ou próximas da canga com outra litologia, pertencente à Formação Cauê, Formação Batatal ou Formação Gandarela (STÁVALE, 2007). Paralelamente, este estudo concluiu que a maior parte das cavidades analisadas tinha gênese erosiva, formada por processos exógenos (Figura 1.4-A). Entretanto, algumas poucas, sobretudo as de grandes dimensões, tinham na dissolução química um importante processo para a sua formação (Figura 1.4-B).



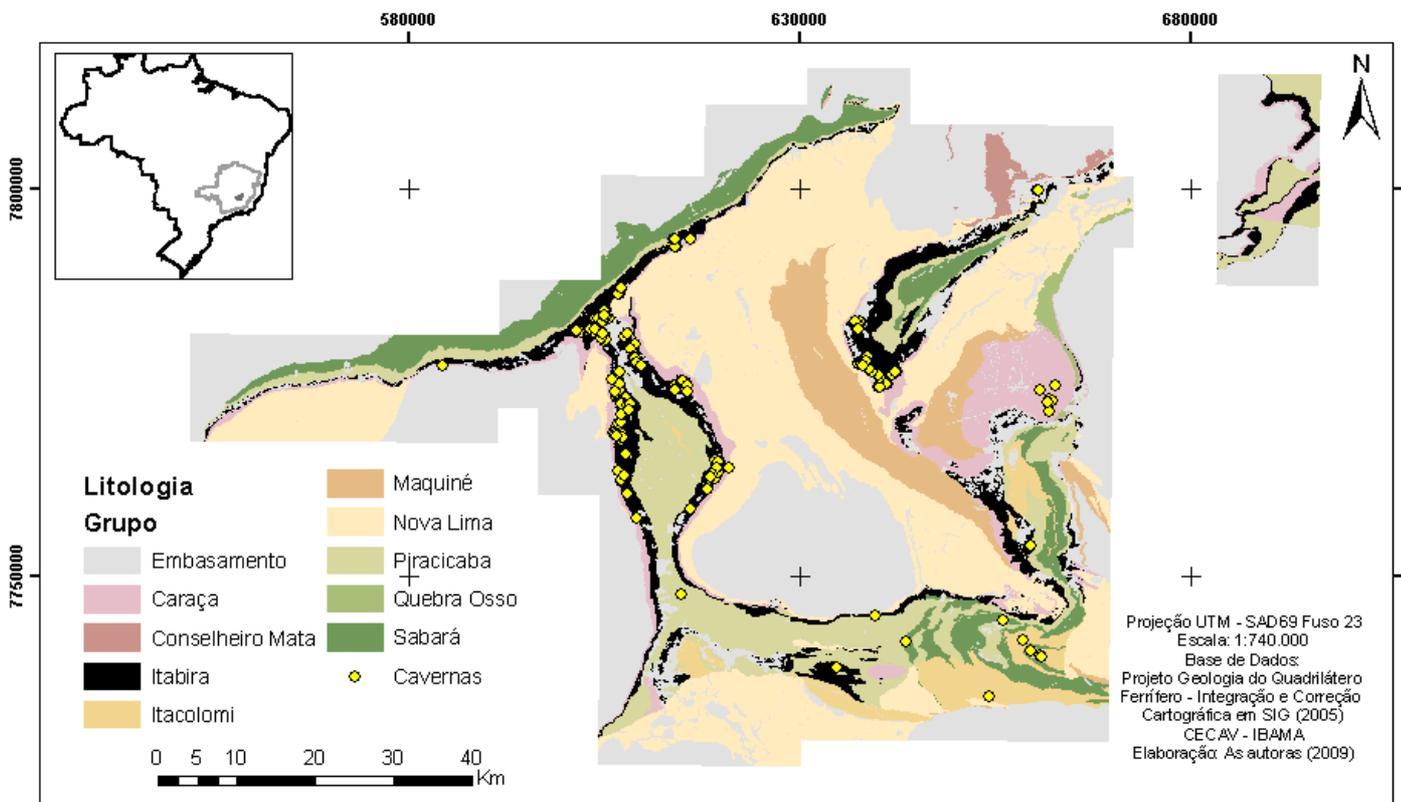
**Figura 1.4:** (A) cavidade formada através de processos exógenos, onde o substrato subjacente à canga é lateralmente erodido; (B) cavidade formada por processos endógenos, onde o itabirito sofre processos de dissolução.

**Fonte:** Stávale (2007)

Depressões cársticas em canga e minério de ferro também foram mapeadas e analisadas por Pereira; Salgado (2010) na Serra do Gandarela, situada na porção nordeste do

Quadrilátero Ferrífero/MG. Através deste mapeamento foi constatado que grande parte das depressões estava sobre o itabirito (Formação Cauê e/ou Canga). Além disso, estes autores levantaram hipótese de gênese para estas depressões como sendo paleocarstes, onde a intemperização do itabirito dolomítico, no processo de formação da canga, também gerou as depressões.

Em relação à localização das cavernas do Quadrilátero Ferrífero, a base de dados do CECAV apresentada no mapa a seguir (Figura 1.5) demonstra claramente que grande parte das cavidades deste domínio geológico foi desenvolvida sob rochas do Grupo Itabira. Este grupo é composto por itabiritos, dolomitos ferruginosos e filitos hematíticos



**Figura 1.5:** Mapa demonstrando a localização das cavernas do banco de dados do CECAV no Quadrilátero Ferrífero, onde se observa a predominância de ocorrência das cavidades nas rochas do Grupo Itabira, onde estão os itabiritos.

**Fonte:** Pereira & Souza (2009).

### 1.2.2 A Região da Serra dos Carajás

O distrito ferrífero da Serra dos Carajás situa-se no sul do Estado do Pará nos municípios de Marabá e São Félix do Xingu. Quanto à geologia, as jazidas deste distrito estão estratigraficamente situadas na formação Carajás, constituída basicamente por formações

ferríferas bandadas e intercaladas entre duas seqüências vulcânicas básicas, formando um sinclínório de orientação geral E-W. Essas três unidades posicionadas no intervalo Arqueano/Proterozóico Inferior. (COELHO, 1986).

Esta região, devido à grande densidade de cavernas e feições doliniformes, foi interpretada por Barbosa *et al.* (1966) como predominantemente calcária. Tolbert *et al.* (1971) efetuou um levantamento mais detalhado sobre a geologia, através de vários trabalhos de campo realizados na Serra dos Carajás. Neste trabalho é relatada a presença de pequenos lagos sobre a canga, cuja gênese está associada a processos de dissolução. O autor ainda relata a presença de grandes cavernas formadas a partir da lixiviação da rocha subjacente à canga (minério, filito ou xisto), especialmente na borda de platôs.

A partir da década de 80, os estudos espeleológicos acerca das cavernas sob formações ferríferas, no Pará, se tornaram cada vez mais freqüentes. Em 1985, iniciou-se o cadastramento destas cavidades, através da iniciativa do Museu Paraense Emílio Goeldi, com a participação do Grupo Espeleológico Paraense (PINHEIRO *et al.*, 1985; MOREIRA *et al.* 1986; PINHEIRO; MAURITY, 1988 *apud* MAURITY *et al.*, 2005). Ainda nesta mesma década, é relatado por Maurity; Pinheiro (1985) aspectos geoespeleológicos em quatro cavernas na Serra Norte, além de estabelecer hipóteses sobre a gênese destas cavidades.

Já Maurity; Kotschoubey (2005) realizaram um estudo mais detalhado sobre as cavernas e dolinas do Platô N1 da Serra dos Carajás. Neste estudo os autores utilizaram análises mineralógicas que subsidiaram hipóteses mais embasadas sobre a gênese destas feições. Foi concluído que o desenvolvimento das feições estudadas foi controlado por fatores estruturais e pela existência de zonas de baixa densidade.

A partir dos anos 2000, concomitantemente com o avanço e desenvolvimento da mineração no estado do Pará, os estudos e registros de cavernas aumentaram consideravelmente, sobretudo os realizados por consultorias para o setor privado. Destaca-se o levantamento espeleológico realizado pelo Grupo Espeleológico de Marabá - GEM, por meio de convênio com a casa de cultura de Marabá e a Vale, onde foram registradas mais de 1100 cavidades na região. (PILO; AULER, 2009).

Pilo; Auler (2009) realizam um breve panorama geoespeleológico das cavernas da região de Carajás. De modo geral, é relatado que as cavernas inseridas no substrato ferruginoso são de pequenas dimensões, sendo que em torno de 70% das cavidades já exploradas, estão no intervalo de 20-30 m de projeção horizontal e apresentam padrão de câmeras irregulares e, em menor proporção, o padrão de câmeras retilíneas. Os autores ainda remetem a gênese destas cavidades aos processos de mineralização da formação ferrífera, que

gera zonas de alta porosidade. Posteriormente, o material friável resultante é transportado, através de processos similares ao do *piping*.

### 1.2.3 Outros países

Apesar do Brasil ser um país de destaque em termos de densidade de cavernas e depressões em formações ferríferas, outros países como Madagascar, Libéria, Nigéria, Venezuela, França (Guiana Francesa), Serra Leoa e Austrália também possuem estudos e relatos referentes à estes tipos de feições. Segundo Maurity; Kotschoubey (2005), desde o início do século XX, estas feições têm sido descritas por autores como Gautier (1902) e Dixey (1920) na Serra Leoa e Dechélat (1938) na Guiana Francesa.

Boyé & Pascual (1977) estabelecem considerações acerca da gênese das cavidades e depressões presentes nas lateritas de bauxita da montanha de Roura, Guiana Francesa. Os autores relatam que estas feições são fruto da combinação de três processos: alteração, dissolução e *piping*.

Bowden (1980) descreveu e analisou os processos de pseudocarstificação na região da montanha Kasewe Hills, Serra Leoa. Dentre estes processos, o autor determina como principais o colapso, intemperismo e desenvolvimento pedológico. Ele ainda classifica as cavidades encontradas em dois padrões: aquelas associadas à borda da crosta laterítica e aquelas que estão distantes desta borda e apresentam entradas que evidenciam a ação da drenagem subterrânea. Bowden (1980) infere que a paisagem e feições em estudo podem ter sido influenciadas por mudanças climáticas: (i) durante um clima úmido, houve intemperismo químico acentuado e desenvolvimento dos perfis lateríticos; (ii) posteriormente, durante um clima mais seco, houve a consolidação ou endurecimento dessas lateritas; (iii) por fim, durante um clima semi-úmido, houve a destruição da laterita consolidada e, conseqüentemente, o desenvolvimento do pseudo-carste.

Twidale (1987) realizou um estudo sobre as dolinas localizadas em sedimentos lateríticos no “western Stuart Plateau” – Northern Territory/Austrália. Além de uma revisão acerca da gênese de depressões, o autor constata que as diversas dolinas existentes na região podem estar atreladas à diferentes processos morfogenéticos. Estas depressões foram influenciadas pela sua localização, tanto em fraturas como na margem de antigas linhas de drenagem. É ainda inferido que a flutuação do nível do lençol freático facilitou processos de dissolução e colapso. Por sua vez, esta flutuação foi condicionada por monções e por

mudanças climáticas. Desse modo, a dissolução foi favorecida em períodos úmidos, pois a água subterrânea alcalina obteve contato com a rocha superficial. Já os processos de colapso foram favorecidos em períodos secos. Para o autor, agentes biológicos também contribuíram para a gênese destas feições, já que aceleraram o processo de intemperismo da sílica, silicatos e óxidos de ferro, minerais que compõem a rocha e a laterita da região.

McFarlane e Twidale (1987) já consideram cársticas feições desenvolvidas em rochas não carbonáticas. Quanto à gênese de feições cársticas desenvolvidas em terrenos lateríticos, os autores supõem que a ação de microorganismos pode ser essencial para que haja a dissolução e formação destas feições neste litotipo.

### **1.3 Principais processos morfogenéticos de cavernas em formações ferríferas**

O termo “karst”, que significa campos de pedras calcárias, foi utilizado pela primeira vez para denominar uma paisagem constituída de calcário maciço com feições geomorfológicas peculiares à região Reka na Eslovênia (CHRISTOFOLETTI, 1980). Esta paisagem, assim como a da região de Sete Lagoas, pode ser classificada como tradicionalmente cárstica por apresentar características que satisfazem as diversas denominações existentes sobre este termo. Entretanto, por não haver um consenso sobre os critérios que determinam uma paisagem cárstica, se torna difícil classificar paisagens que possuem tais feições e que não estão, predominantemente, situadas em rochas carbonáticas como o calcário.

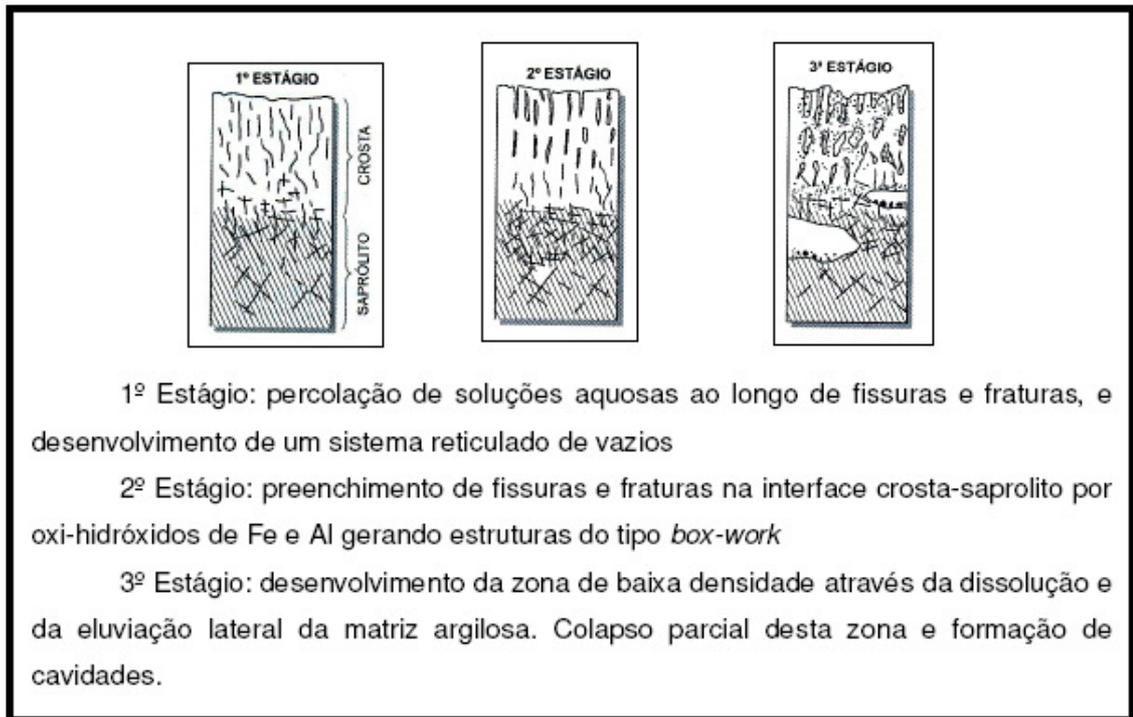
White (1988) acredita que o principal aspecto de uma paisagem cárstica é que o processo de dissolução seja o principal agente geomórfico do relevo. Além disso, o autor considera que, no carste, o transporte de massa em solução seja mais importante que por outros processos. Logo, White (1988) admite que o relevo cárstico possa ocorrer em outras litologias além das de origem carbonática. Ford; Williams (1989) considera que a hidrologia em subsuperfície é o que potencializa a formação de uma paisagem cárstica, sendo ela uma importante evidência para a classificação deste tipo de relevo. Jennings (1985) também considera que a dissolução pode não ser o fator predominante, mas é o fator mais importante para a formação desta paisagem, pois é através dela que ocorre o alargamento dos pequenos condutos em subsuperfície, causando aumento da permeabilidade da rocha. Hardt & Pinto (2009) também propõe uma discussão acerca do conceito e defende que as formas cársticas

são geradas quando o papel da dissolução é fundamental (embora não necessariamente predominante).

Baseando-se na literatura pode-se considerar que o processo denominado carstificação ocorre tanto em rochas carbonáticas quanto nas não-carbonáticas. Desse modo, para esta pesquisa entende-se como carstificação o processo de dissolução de minerais presentes em qualquer tipo de rocha, logo este processo é fundamental para gênese de feições cársticas.

A cavidade investigada por Simmons (1963) na Serra do Tamanduá - Quadrilátero Ferrífero/MG na qual foi constatado que 50% do itabirito original foi dissolvido pode ser considerada como resultado de processos de carstificação. Sobretudo em razão de que, através dos minerais constatados na análise mineralógica, Simmons (1963) supõe que a alta porosidade deste itabirito está associada ao fato desta rocha ter sido altamente dolomítica. Logo o processo de carstificação desta rocha é justificado pela presença de minerais que compõem uma rocha de caráter dolomítico, como é o caso da maghemita e magnetita.

Já alguns autores como Boyé; Pascual (1977), e Bowden (1980), apesar de considerarem processos de dissolução fundamentais para a gênese das cavidades em formações ferríferas, ainda os denominam como pseudocársticos. A relevância deste processo também é relatada por Maurity; Kotschoubey (2005), para o autor a gênese das cavernas em ferro da Serra dos Carajás/PA está associada à formação de zonas de baixa densidade, que por sua vez é gerada por três diferentes estágios (Figura 1.6). No primeiro estágio a água utiliza das fissuras e fraturas presentes na crosta laterítica, favorecendo o desenvolvimento de vazios e mobilizando elementos como o Fe e o Al. No segundo estágio, há o encontro do fluxo lateral da água (que percola no contato da crosta com o saprólito) com as soluções de Fe e Al. Nesta fase há precipitação da goethita, hematita e gibbsita nas fissuras e fraturas do topo da zona saprolítica, onde forma-se um sistema reticular denso, predominantemente, caolinítico. A sílica deste sistema reticular será lixiviada e a alumina evoluirá para um produto gibbsítico poroso e friável. As partículas mais finas de gibbsita serão removidas, aumentando os vazios na interface crosta-saprólito, logo formam-se zonas de baixa densidade caracterizadas por uma estrutura residual denominada “box-work”. Por fim, no último estágio, há o desenvolvimento da zona de baixa densidade e formação das cavidades.



**Figura 1.6:** Evolução da zona de baixa densidade na interface crosta-saprólito e formação de cavidades no platô N1 da Serra dos Carajás/PA.

**Fonte:** Maurity & Kotschoubey (2005)

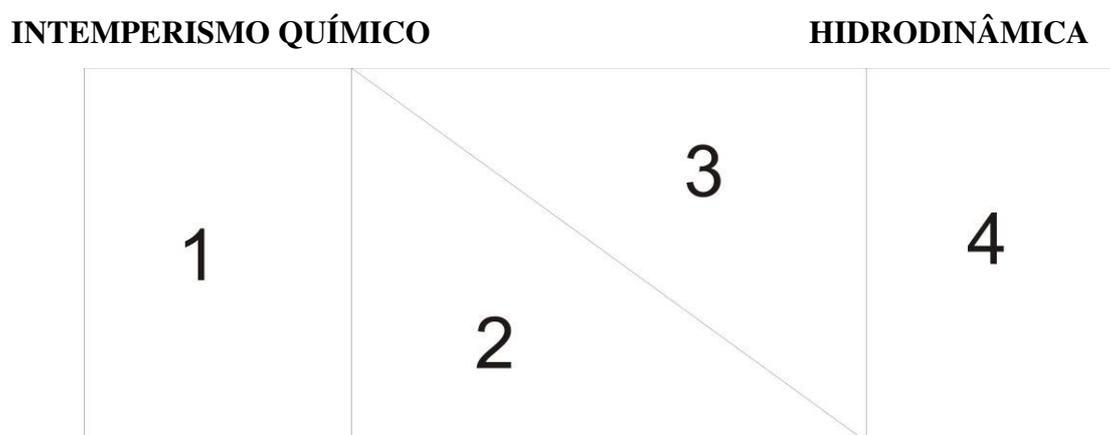
McFarlane; Twidale (1987) já consideram cársticas as feições desenvolvidas em rochas ferríferas em países como Brasil, Austrália e Uganda. Neste trabalho os autores destacam evidências de dissolução de minerais lateríticos, como a hematita, a goethita, o quartzo, a gibisita e a caolinita. Os autores analisam a solubilidade de cada um destes minerais, assim como o contexto no qual as cavidades estão inseridas. Diante de evidências como ausência de drenagem, formação de zonas pálidas no saprólito subjacente às lateritas e a existência de feições cársticas em crostas lateríticas ricas em ferro, o autor conclui que as condições geoquímicas são altamente desfavoráveis à solubilização do ferro. Logo é proposto que a atuação de agentes microbiológicos possa ser determinante na remoção do ferro, possibilitando o processo de carstificação.

Recentemente, Fonseca (2009) analisou a composição química e morfologia de mineralizações em forma de espeleotemas de goethita e hematita em crostas lateríticas da região de Morro das Balas, Formiga/MG. Os resultados indicaram uma predominância de óxidos de ferro hidratados devido à relação Fe/O. Segundo o autor, os cristais prismáticos são de goethita/hematita, recristalizados e depositados hidrotermalmente nas formações estalactíticas pré-formadas por processos de carstificação.

Grande parte dos autores remete o processo de “*piping*” à pelo menos uma das etapas da gênese de cavidades em formações ferríferas. *Pipes* são dutos ou passagens tubulares formadas no solo ou na rocha que podem variar o diâmetro, conforme a ocorrência de fatores que favoreçam este processo. Alguns fatores que podem condicioná-lo são abordados por Bull; Kirkby (1997): gradiente hidráulico elevado, presença de íons solúveis no solo, ocorrência de períodos de seca prolongados que favorecem a ocorrência de fissuras e às chuvas intensas e irregulares que reativam percolações concentradas subsuperficiais. Este tipo de processo que, atua ou atuou em cavidades em formações ferríferas, já foi relatado por Tricart (1972) onde são descritos túneis (*pipes*) na República dos Camarões. McFarlane (1976) também constatou a presença de cavidades subverticais ou “*pipes*” na África e na Austrália. Além disso, Bowden (1980) relata que as cavidades encontradas em Serra Leoa são geradas pelo processo “*piping*”, que por sua vez foi condicionado pelo rebaixamento do nível de base.

Além dos estudos acima apresentados, diversos autores associam a gênese de cavidades ao *piping* tanto em rochas ferríferas, como no quartizito e no arenito. Em muitos trabalhos é relatado que esta fase de remoção mecânica é a mais significativa para a morfologia da caverna.

Já Rodet (2011), acredita que para gerar a forma “*pipe*”, mais do que a ação mecânica da água, necessita-se compreender as fases incipientes que condicionarão esta ação hidrodinâmica. Desse modo, o intemperismo químico concentrado precederá esta fase, conforme o desenho esquemático abaixo (Figura 1.7):



**Figura 1.7:** Fases de formação do carste.  
**Fonte:** Rodet (2011)

- 1- *Primocarste: Fase na qual a rocha sofre intemperismo químico. Num primeiro momento, a rocha perde massa, mas não perde volume, portanto este é denominado isoalterite. Posteriormente, ocorre o momento da alloalterite, há perda da massa e volume.*
- 2- *Nesta fase há transição do momento de alloalterite para o momento paragenético. A paragênese consiste no momento no qual há ação freática nos vazios gerados pela alloalterite. Estas formas são típicas de dissolução como o tubo ou “pipe”.*
- 3- *Transição da dinâmica paragenética para dinâmica singenética. A dinâmica singenética corresponde à fase vadosa.*
- 4- *Fase na qual predomina a dinâmica singenética.*

Observa-se que para Rodet (2011) a forma “pipe” pode está associada à processos de carstificação, ou seja, processos onde o intemperismo químico concentrado favorecerá a formação de vazios na rocha, que serão ampliados e moldados conforme a ação freática (paragênese).

Apesar do referencial teórico sobre cavidades em formações ferríferas ser escasso e de difícil acesso, buscou-se neste capítulo abordar as bibliografias que de alguma forma se referem a este tipo de cavidade. Além disso, buscou-se discutir sobre processos que podem estar relacionados à gênese destas cavidades, como o processo de carstificação, por exemplo.

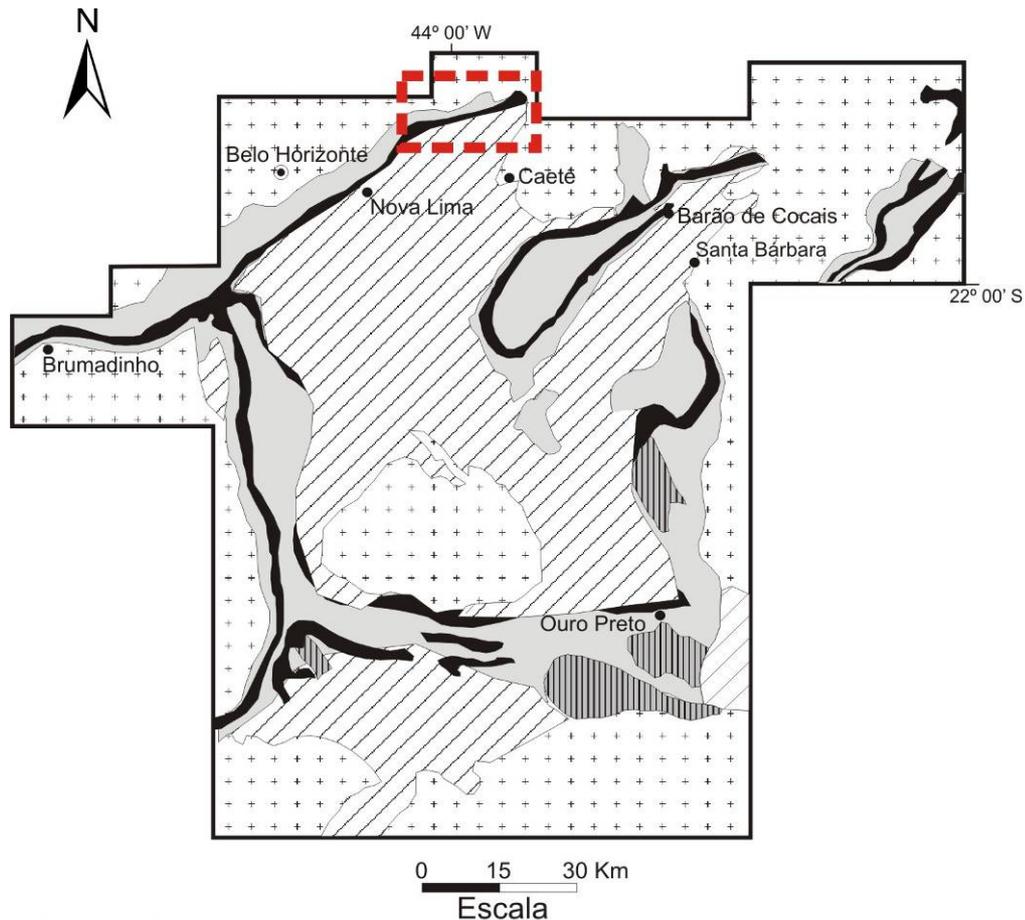
## 2 O QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG E A SERRA DA PIEDADE

### 2.1 O Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero/MG consiste em uma região que constitui uma província geológica de destaque econômico por abrigar importantes jazidas de minério de ferro, ouro, manganês e outros minérios. Em contrapartida, esta província ainda possui importantes áreas passíveis de conservação por apresentarem uma biodiversidade e geodiversidade de considerável relevância ambiental. Situa-se na porção centro-sul de Minas Gerais (Figura 2.1) entre as coordenadas 19°45' a 20°30' S e 44°30' a 43°07' W e possui cerca de 7.200 km<sup>2</sup>. Abrange integralmente ou parcialmente 35 municípios, tais como Belo Horizonte, Nova Lima, Sabará, Barão de Cocais, Ouro Preto, Congonhas, Mariana, João Molevade, Santa Bárbara, dentre outros, com uma população estimada de 3.673.491 (IBGE, 2005). O acesso à região pode ser realizado por rodovias federais (BR 381, BR 040 e BR 356) e por rodovias estaduais (MG 129, MG 030, MG 436, MG 262, MG 05).

A geologia do Quadrilátero Ferrífero/MG é caracterizada pelo seu alto grau de complexidade. Porém, embora complexa, ela pode ser resumida em (Figuras 2.1 e 2.2): (i) embasamento cristalino de idade arqueana, composto por granitos, gnaisses e migmatitos; (ii) Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, composto basicamente por quartzitos, xistos e filitos que constituem uma sequência tipo *greenstone belt*; (iii) Supergrupo Minas, constituído por rochas metassedimentares (quartzitos, xistos, filitos e formações ferríferas) de idade proterozóica e (iv) Grupo Itacolomi, constituído basicamente por quartzitos igualmente de idade proterozóica (ALKMIM; MARSHAK, 1998).

O **embasamento cristalino**, de idade arqueana, é a base de todas as unidades geológicas do Quadrilátero Ferrífero/MG (Figuras 2.2). Segundo Herz (1970) ele é subdividido nos seguintes complexos: Belo Horizonte a norte, Caeté a nordeste, Bação no centro e Bonfim a oeste do Quadrilátero Ferrífero. Noce *et al* (1998) dataram através do método U-Pb, o evento de migmatização dos gnaisses bandados do Complexo Belo Horizonte (2860±14/-10 Ma), assim como a intrusão de um pequeno corpo granítico (2612±37-2 Ma), último evento magmático arqueano registrado no Quadrilátero Ferrífero/MG.



Legenda:

-  Grupo Itacolomi
-  Supergrupo Minas (preto = Formações Bandadas de ferro)
-  Supergrupo Rio das Velhas
-  Embasamento
-  Região da Serra da Piedade
-  Capital do estado
-  Cidade



**Figura 2.1:** Geologia e localização da Serra da Piedade e do Quadrilátero Ferrífero.  
**Fonte:** Adaptado de ALKIMIM & MARSHAK, S. (1998)

O **Supergrupo Rio das Velhas** é caracterizado pela presença de rochas xistosas metassedimentares e metavulcânicas arqueas (DORR *et al.*, 1957). É o supergrupo de maior espessura estratigráfica e aflora, geralmente, nos anticlinais erodidos. Sua idade aproximada é de 2,7 e 2,8 bilhões de anos (MACHADO; CARNEIRO, 1992) e apresenta-se subdividido em dois grupos: Nova Lima e Maquiné (Figuras 2.1 e 2.2). O Grupo Nova Lima possui uma espessura aproximada de 4.000 metros e ocupa a maior porção do Supergrupo Rio das Velhas, principalmente, na localidade de Nova Lima. Este grupo é composto basicamente por rochas

metavulcânicas (komatitos, serpentinitos, metabasaltos, esteatitos), metassedimentares clásticas (quartzitos, metaconglomerados e quartzos-xisto) e químicas (xistos carbonáticos, dolomitos, formação ferrífera bandada e filitos grafitosos) (DORR, 1969). Já o Grupo Maquiné é formado essencialmente por pacotes de rochas clásticas (filitos, xistos e quartzitos) e possui uma espessura média de 1.800 metros. Este grupo está, estratigraficamente, sobreposto ao Grupo Nova Lima (IBID, 1969).

O **Supergrupo Minas** é composto por metassedimentos do proterozóico inferior e está estratigraficamente sobre as rochas do embasamento cristalino ou do Supergrupo Rio das Velhas. Segundo Renger et al (1994), a idade de sedimentação do Supergrupo Minas pode ser posicionada entre 2580 Ma. (base da Formação Moeda) e 2050 Ma. (topo do Grupo Sabará). Este supergrupo é subdividido da base para o topo em quatro grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (Figura 2.2).

O Grupo Caraça abriga as rochas clásticas da porção oeste do Quadrilátero Ferrífero e está estratigraficamente abaixo dos sedimentos químicos do Grupo Itabira. Este Grupo é subdividido na Formação Moeda (que possui espessuras variáveis entre 200 e 1200 metros, sendo constituída por quartzitos sericíticos e lentes de conglomerados, gradando para filitos arenosos) e Formação Batatal (constituída basicamente por filitos e xistos) (DORR, 1969).

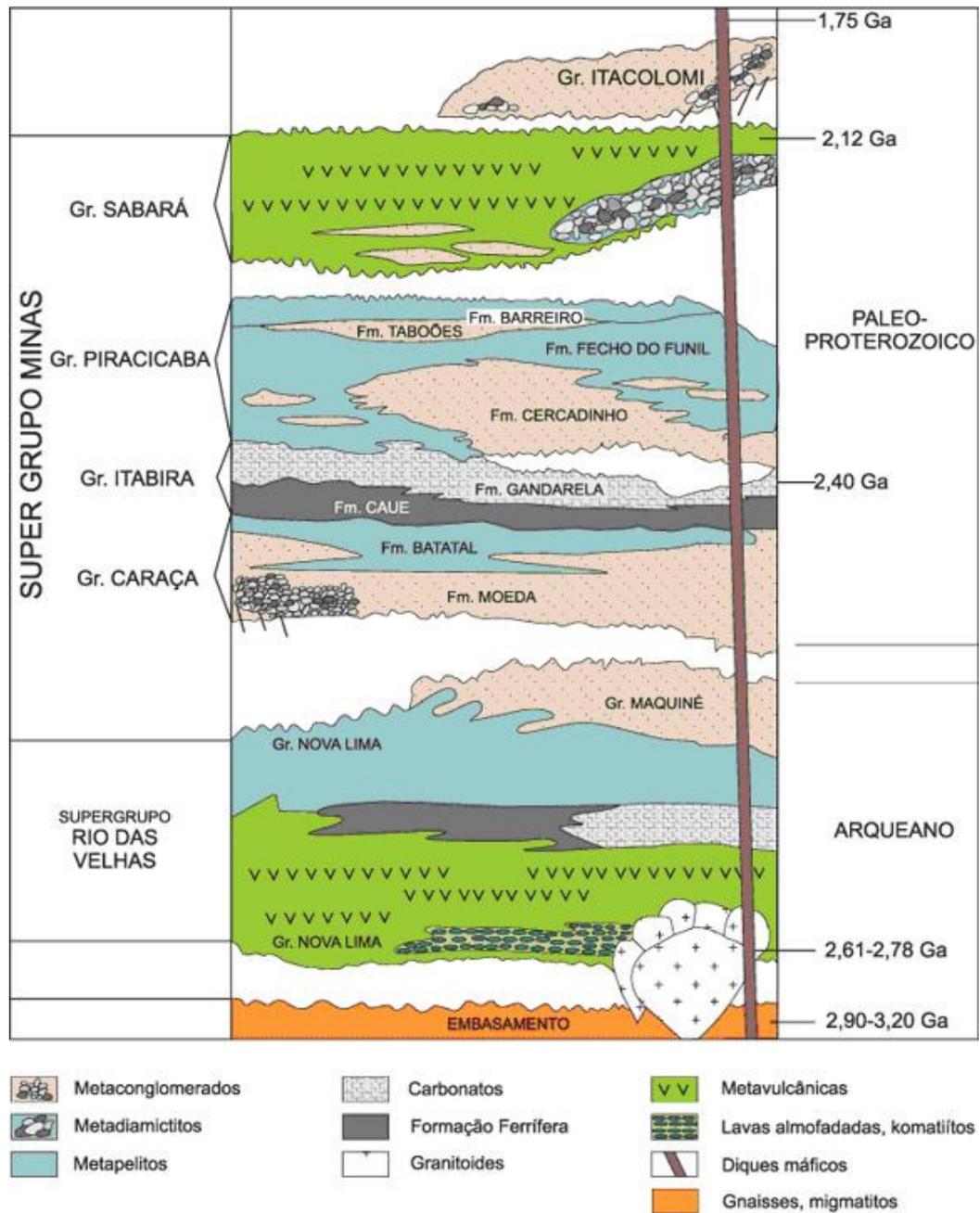
O Grupo Itabira encontra-se depositado sobre o Grupo Caraça. Segundo Renger et al. (1994) sua idade situa-se no intervalo de 2.500 a 2.420 Ma e tem origem em deposição química. É constituído pelas seguintes formações: Cauê (composta principalmente, por itabirito dolomítico e itabirito silicoso com lentes de dolomito) e Gandarela (composta, principalmente, por dolomito altamente magnesiano com itabirito dolomítico e filito). Além disso, associada à Formação Cauê, ocorrem as cangas.

O Grupo Piracicaba é composto por um espesso pacote de sedimentos clásticos intercalados na base com lentes de carbonatos (ALKMIM; MARSHAK, 1998). Este grupo é subdividido nas seguintes formações: Cercadinho, constituída por filitos, dolomitos, quartzitos, quartzitos ferruginosos; Fecho do Funil, composta por filitos quartzosos, filitos dolomíticos e dolomitos silicosos; Taboões, representada pelos quartzitos lenticular de granulação fina e; Barreiro, constituída por filitos e filitos grafitosos (DORR, 1969).

O Grupo Sabará, de idade paleoproterozóica, está no topo da coluna estratigráfica do Supergrupo Minas. Ele é composto por xistos, filitos, metarenitos, metavulcanoclásticas, metaconglomerados e metadiamicititos (IBID, 1969).

Por fim, o **Grupo Itacolomi**, é formado por metassedimentos clásticos proterozóicos e concentra-se no pico homônimo, na Serra de Ouro Branco e no Morro Frazão. A litologia

deste Grupo é composta por quartzitos na base e no topo, metaconglomerados na base e filitos originados de depósitos aluviais e fluviais na porção intermediária (IBID, 1969).



**Figura 2.2:** Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.  
**Fonte:** ALKMIM; MARSHAK, 1998 *apud* RUCHKYS, 2009

O clima regional do Quadrilátero Ferrífero, de modo geral, pode ser classificado como tropical semi-úmido, pois apresenta duas estações bem definidas: inverno (seco) e verão

(chuvoso). Entretanto, devido ao expressivo gradiente altimétrico, as áreas mais elevadas possuem temperaturas mais amenas. A temperatura média anual situa-se em torno de 20° C e a precipitação média varia entre 1.300 mm, na porção leste, a 2.100 mm, na porção sul, em Ouro Preto (HERZ, 1970). Assim como o relevo, a vegetação também acompanha o substrato geológico, logo predominam-se os campos rupestres e de altitude nas terras altas e as savanas (cerrados) e florestas semidecíduais nas terras baixas (LAMOUNIER *et al.* 2010).

O relevo do Quadrilátero Ferrífero/MG consiste em superfícies topograficamente elevadas em contraste com terras mais rebaixadas. Os patamares mais elevados situam-se em torno de 2.000 m, na Serra do Caraça e os mais rebaixados podem alcançar 600 metros, como no município de Sabará.

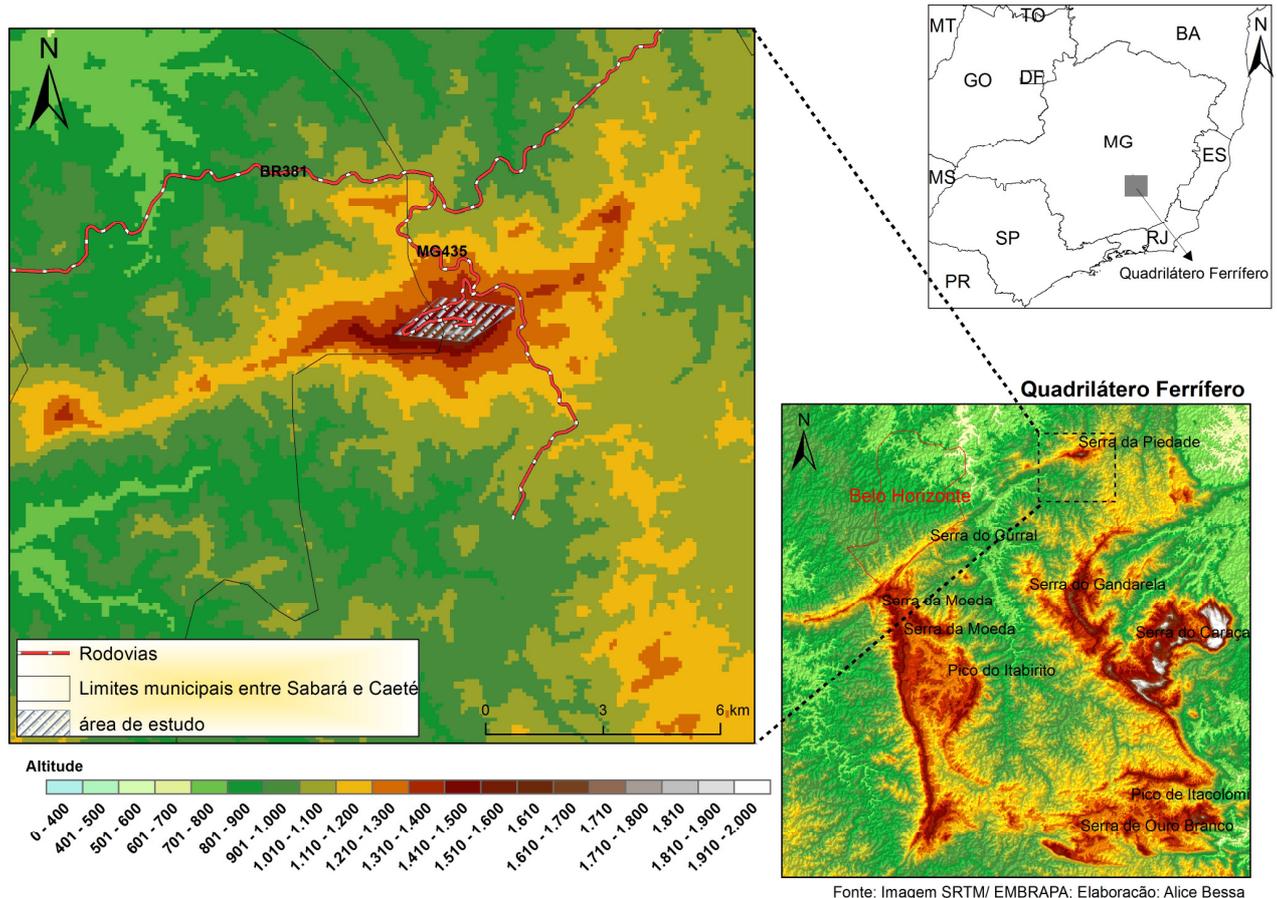
A morfologia desta província geológica é condicionada pela litoestrutura. Logo, o fato mais evidente deste relevo regional é a erosão diferencial. Neste contexto, quartzitos e itabiritos, por serem as rochas de maior resistência, constituem o substrato das terras altas. Xistos-filitos e granitos-gnaisses, por apresentarem menor resistência frente à erosão e ao intemperismo, constituem o substrato, respectivamente, das terras médias e baixas (SALGADO *et al.* 2004, 2007a, 2008).

Outro importante fator controlador do relevo são as cangas que estão presentes nas porções mais elevadas do relevo. Assim é possível concluir que nas áreas onde as capas de canga estão presentes (geralmente no topo das vertentes), o relevo evolui por *backwearing* (retração lateral da vertente) de modo que os xisto-filitos são erodidos a uma velocidade maior e as cangas sofrem colapso devido à erosão do substrato subjacente (SALGADO *et al.* 2007b). Apesar de o itabirito possuir considerável resistência, este processo também pode ocorrer no contato da canga com esta rocha ferruginosa.

De um modo geral, os solos do Quadrilátero Ferrífero/MG são condicionados pelo material de origem associado à topografia, logo predominam solos pouco evoluídos, tais como Cambissolos e Neossolos Litólicos. Segundo CARVALHO *et al.* (2010), esses solos apresentam caráter perférrico, relacionados a três principais materiais de origem: itabiritos, dolomitos ferruginosos e rochas básico-ultrabásicas. Tendo em vista a falta de aptidão agrícola destes solos, a agricultura é pouco expressiva no contexto produtivo desta região. Entretanto, o setor minerário seguido pelo turismo e pela indústria (sobretudo a siderurgia e metalurgia) são as atividades produtivas de maior destaque.

## 2.2 A Serra da Piedade

A Serra da Piedade situa-se entre 19° 48' e 19° 50' de latitude sul, e entre 43° 39' e 43° 42' de longitude oeste. Ela está localizada entre os municípios de Sabará e Caeté, sendo seu principal acesso as rodovias BR 381 e MG 435 (Figura 2.3).



**Figura 2.3:** Localização da Serra da Piedade e da área de estudo.

A Serra da Piedade possui um grande significado para história social, cultural e religiosa de Minas Gerais. A história de sua ocupação está relacionada ao bandeirismo do século XVII, sendo que, desde então a Serra da Piedade foi descrita por diversos viajantes, devido à sua imponência diante do relevo que a circunda (RUCHKYS *et al.*, 2007). Viajantes como Auguste Saint-Hilaire em 1818 e George Gardner em 1840 descreveram as belezas do sítio, flora, fauna e uso do solo da Serra da Piedade (BUENO, 1992).

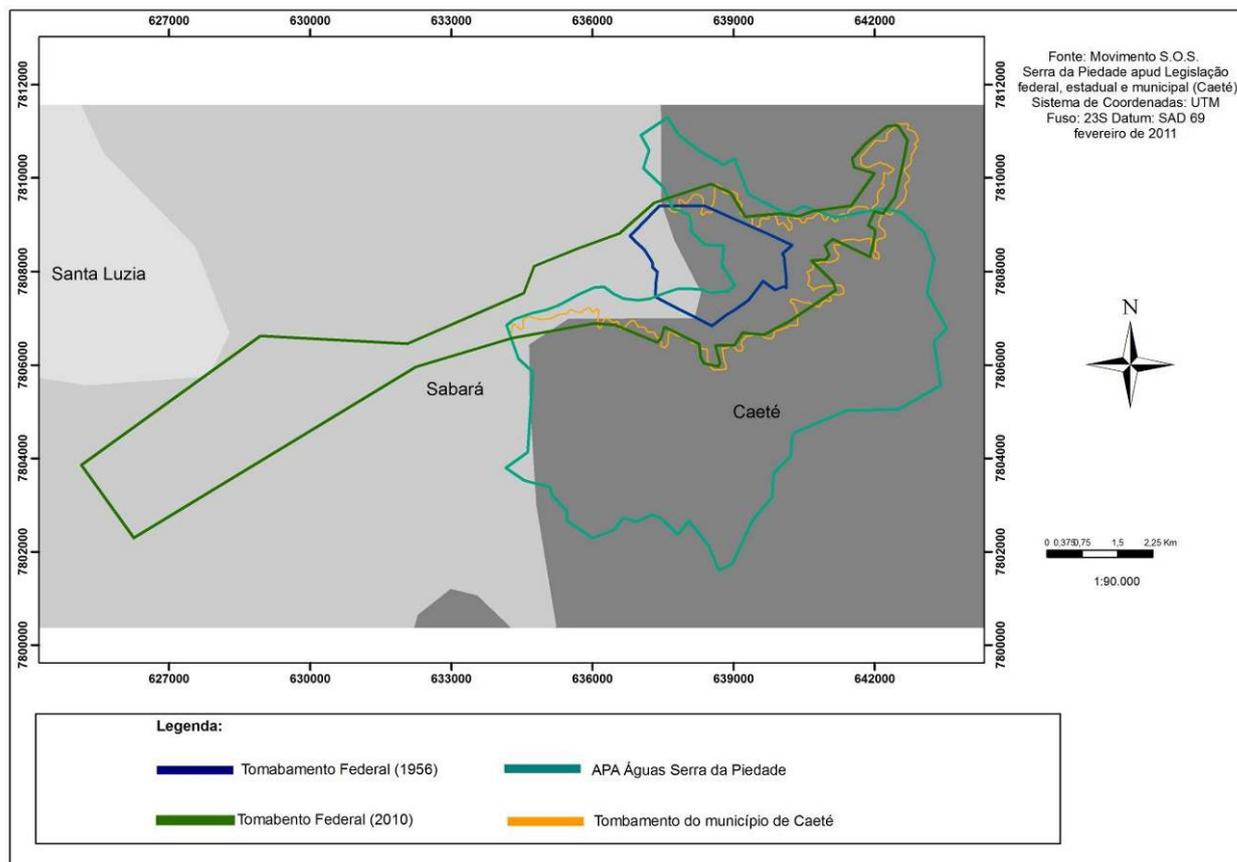
Desde o século XVIII, a Serra da Piedade é caracterizada pela presença de eremitas que a defendiam como um lugar sagrado passível de ser preservado e conservado. Dentre os representantes religiosos que habitaram a Serra, destaca-se o Frei Rosário Joffely, que ao

longo do século XX, lutou pelo tombamento do Santuário da Serra. Este frei pressionou pela criação da Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, que organizou a proteção do patrimônio histórico e artístico. Entretanto, somente em 1956, o Conjunto Arquitetônico e Paisagístico do Santuário de Nossa Senhora da Piedade foi tombado pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico, Artístico Nacional) através do processo nº 526-T-55 (MINAS GERAIS, 2004).

Atualmente, a Serra da Piedade possui três tombamentos: municipal, estadual e federal (Figura 2.4). O Tombamento Federal foi revisto e atualizado em 2010 e agora abrange uma área de 1,9 mil hectares. Conforme a extensão do polígono protegido, ficam incorporadas as áreas tombadas pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (IEPHA/MG) e pelo município. Além disso, este tombamento inclui o perfil da Serra da Piedade, recursos hídricos, biodiversidade, aspectos cênicos e o entorno nas cidades históricas de Sabará, Caeté e Raposos, todas localizadas na região metropolitana de Belo Horizonte (WERNEK, 2010).

Além dos três tombamentos, a Serra da Piedade também possui Áreas de Proteção Ambiental (APAs), que funcionam como uma zona de amortecimento entre as áreas tombadas e as áreas desprotegidas: APA Descoberto, APA Ribeirão Ribeiro Bonito e APA Águas da Serra da Piedade. A última destaca-se por abranger uma área que envolve o conjunto cultural, arquitetônico, paisagístico e natural da Serra da Piedade e foi criada pelo projeto de Lei Municipal nº 022/2003, no município de Caeté/MG (Figura 2.4).

O clima da Serra da Piedade é classificado como tropical semi-úmido e tropical de altitude, nas cotas altimétricas mais elevadas. A média da temperatura do mês mais frio é de 18°C e do mês mais quente 22°C, entretanto, a média da temperatura anual do topo da serra é de 16°C (VIANELLO; MAIA, 1986). No que tange às características pluviométricas, destaca-se a ocorrência de chuvas orográficas, provocadas pela barreira montanhosa da Serra. Estas chuvas ocorrem, principalmente, na vertente sul.



**Figura 2.4:** Localização dos tombamentos e da APA Águas Serra da Piedade.  
**Fonte:** Movimento S.O.S. Serra da Piedade.

Em termos de vegetação, assim como diversas outras serras do Quadrilátero Ferrífero, o porte arbóreo está associado ao substrato litológico. No sopé tem-se a mata fechada de encosta, remanescente da floresta tropical que recobria a extensa área de Minas Gerais. Já no topo constata-se uma vegetação rasteira de menor porte, classificada como campo de altitude ou campo rupestre (Figura 2.5).

Quanto ao uso e ocupação do solo, percebe-se que atividade mineraria é a de maior destaque. Apesar da delimitação da área tombada, dentro desta e no seu entorno é visível manchas desprovidas de vegetação que são ou foram destinadas às atividades de extração mineral (Figura 2.6).



**Figura 2.5:** Ao fundo observa-se vegetação mais densa, remanescente de floresta tropical. Já em primeiro plano, observa-se vegetação mais rasteira, que pode ser denominada como campo ferruginoso, devido ao substrato.

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira



**Figura 2.6:** Ao fundo observa-se uma área degradada pela mineração, que não foi recuperada e está no interior da área tombada da Serra da Piedade.

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira

### 2.2.1 Geologia e Geomorfologia

A geologia da Serra da Piedade pode ser resumida em: canga; Formação Sabará (Grupo Sabará); Formação Cercadinho (Grupo Piracicaba); Formação Cauê (Grupo Itabira); Formação Moeda (Grupo Caraça); Grupo Nova Lima; rochas graníticas, gnáissicas e pegmatíticas; e diques metabásico (Figura 2.8). As rochas graníticas e gnáissicas, por serem pouco resistentes à erosão, ocupam os patamares altimétricos mais rebaixados, tanto da vertente norte como da vertente sul da região da área em estudo (Figura 2.8). Os xistos e filitos do Grupo Nova Lima ocupam as porções intermediárias da vertente sul (Figura 2.8) e contrastam com os itabiritos da Formação Cauê. Estes últimos, por serem mais resistentes aos processos intempéricos, ocupam os patamares altimétricos mais elevados (Figura 2.8). Já a vertente norte apresenta tanto o itabirito, nas porções elevadas, como os xistos e filitos das Formações Cercadinho e Sabará, nas porções intermediárias (Figura 2.8).

A canga é a litologia que mais se destaca das demais por ser mais resistente aos processos intempéricos. Rizzini (1976) citado por Bueno (1992) diferencia a canga da Serra da Piedade em duas tipologias: canga couraçada, localizada acima de 1200 metros e formada por sesquióxido de ferro e canga nodular localizada em altitudes inferiores a 1000 metros. Segundo o autor, a canga couraçada apresenta fendas e pequenas cavidades. Esta tipologia de canga está presente, sobretudo na vertente norte (Figura 2.8).

Quanto à geologia estrutural, há falhas tanto a norte como a sul da área de estudo. As falhas do tipo “empurrão” estão presentes somente na porção meridional da área em estudo (Figura 2.8). Ainda é possível constatar que as cangas e os itabiritos da Formação Cauê estão localizados na aba do sinclinal invertido, que por sua vez é denominado Sinclinal Piedade. Além disso, também é evidente o registro da ação dos eventos tectônicos nos itabiritos da Serra da Piedade: o Transamazônico e o Brasileiro. Isto ocorre em razão das rochas metamórficas apresentarem um comportamento plástico, logo sofrem dobramentos, sendo possível observar pequenas falhas de gravidade (SCILIAR, 1992) (Figura 2.7).

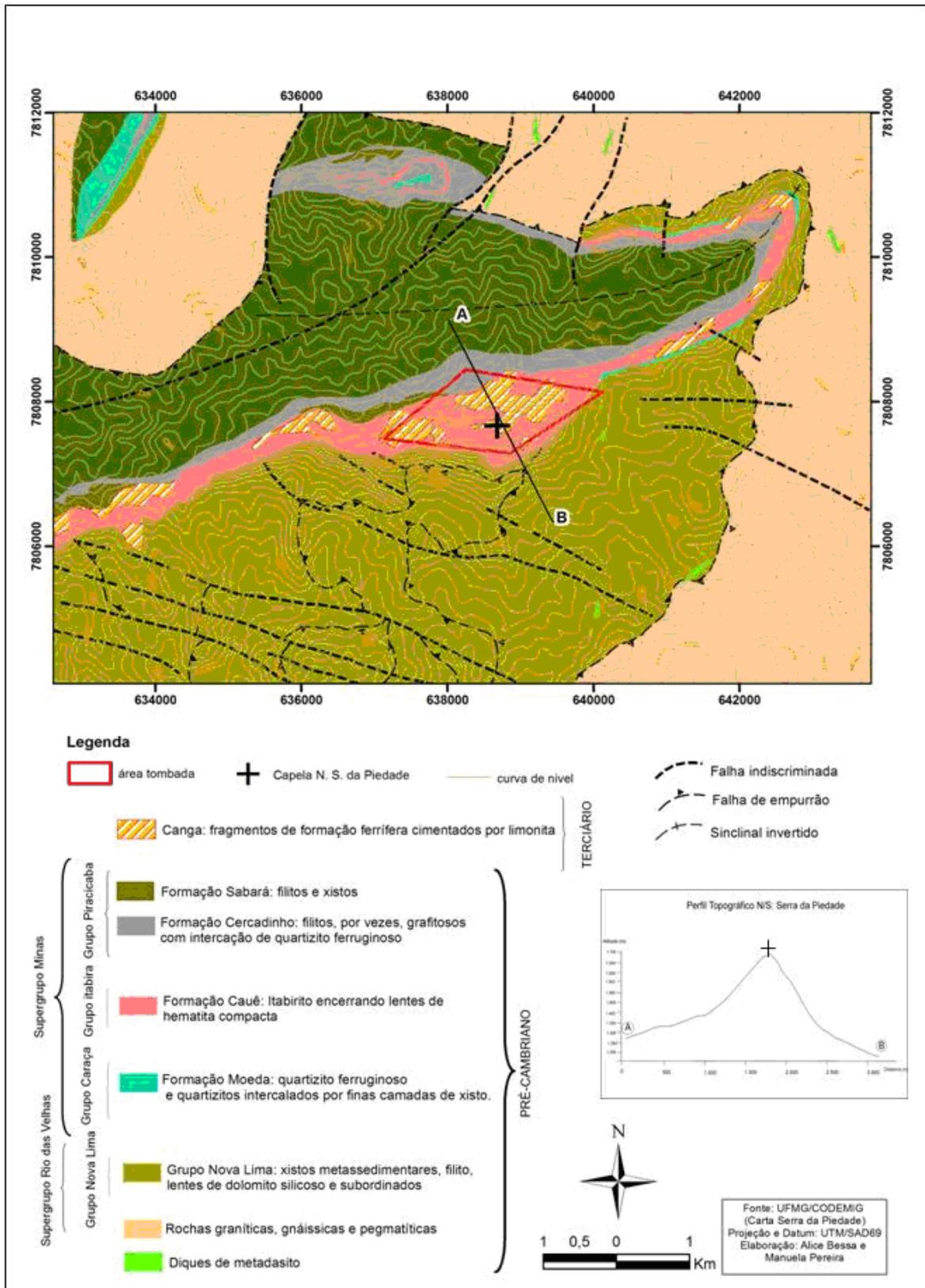


**Figura 2.7:** Bloco de Itabirito dobrado.

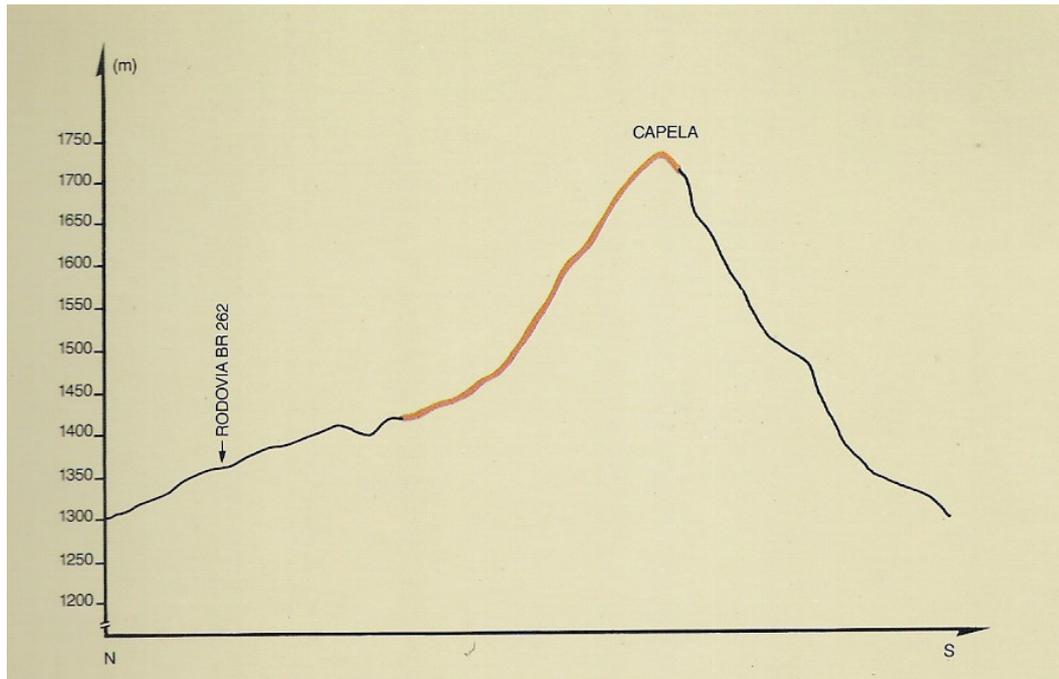
**Foto:** Manuela Corrêa Pereira

De modo geral, o relevo da Serra da Piedade é caracterizado por possuir orientação estrutural SW-NE (Figura 2.8) e altitudes que variam entre 950 metros e 1.736 metros. Além disso, esta Serra se destaca por possuir vertentes abruptas, que apresentam alta declividade e expõem a rocha sã (Figura 2.9). Assim como as demais serras que compõem o Quadrilátero Ferrífero, as características do relevo da Serra da Piedade também foram condicionadas pelo controle litoestrutural.

Outra característica geomorfológica da Serra da Piedade, que pode estar relacionada com a resistência das carapaças ferruginosas é a diferença de declividade entre as vertentes norte e sul (Figura 2.9). A vertente norte apresenta um relevo menos abrupto quando comparada à vertente sul (Figura 2.9). Tal fato pode estar associado à maior presença de áreas com capeamento de canga, que são responsáveis por sustentar parte do relevo (Figura 2.8). Além disso, esta diferença também pode estar relacionada com o relevo dobrado. Ou seja, a vertente norte pode ser o front de erosão da anticlinal escavada de Caeté/MG.



**Figura 2.8:** Mapa geológico da região da área em estudo.  
**Fonte:** LOBATO *et al.* (2005)

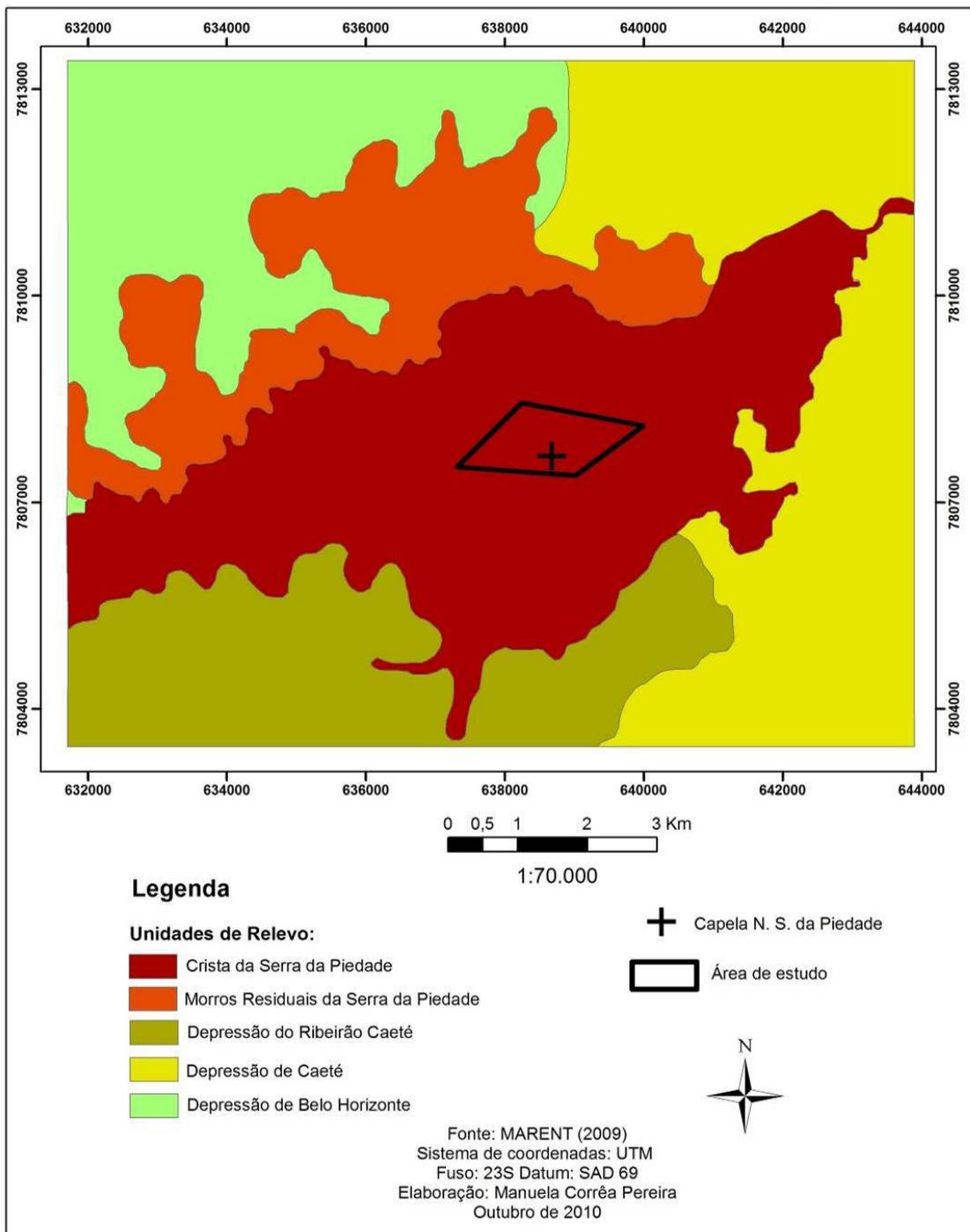


— Canga

**Figura 2.9:** Perfil N-S da Serra da Piedade, onde observa-se o contraste entre as vertentes norte e sul,, assim como a presença da canga na vertente norte.

**Fonte:** BUENO (1992)

Marent; Salgado (2010) realizaram um mapeamento geomorfológico na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero. De acordo com os autores, a área de estudo desta pesquisa insere-se na unidade Crista da Serra da Piedade que, por sua vez, é circundada pelas unidades: Depressão de Belo Horizonte, Depressão de Caeté, Depressão do Ribeirão Caeté e Morros Residuais da Serra da Piedade (Figura 2.10).



**Figura 2.10:** Mapa Geomorfológico da região da área tombada da Serra da Piedade.  
**Fonte:** Marent; Salgado (2010).

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 Revisão Bibliográfica**

A etapa de revisão bibliográfica se dividiu em dois objetivos. O primeiro consistiu no levantamento e na revisão bibliográfica da literatura nacional e internacional referente aos estudos e relatos de cavernas em formações ferríferas. Além desta temática, também elaborou-se uma breve discussão acerca de dois principais processos relatados ao longo desta literatura: carstificação e “piping”.

Já o segundo objetivo visou caracterizar o contexto da área de estudo em duas diferentes escalas. A primeira consistiu na abordagem dos elementos geográficos que compõem o Quadrilátero Ferrífero, tendo um enfoque especial para a Geologia e a Geomorfologia desta província geológica e espeleológica. Já a segunda escala, foi representada pela Serra da Piedade. Desse modo, realizou-se uma breve abordagem sobre a importância ambiental, religiosa e histórico-cultural desta Serra, assim como sobre a Geologia e Geomorfologia da mesma.

#### **3.2 Etapa de campo**

Conforme já mencionado, tendo em vista a falta de registros e estudos de cavernas na Serra da Piedade, esta etapa visou identificar as cavidades presentes na área de estudo. Para isso, num primeiro momento buscou-se reconhecer as áreas de maior potencial espeleológico, por meio da imagem de satélite SPOT (2002). Estas áreas correspondem às bordas dos platôs, que foram reconhecidas, pelo contraste da textura da vegetação<sup>4</sup>. Posteriormente, iniciou-se a etapa de prospecção que, num primeiro momento, priorizou as bordas dos platôs de canga e logo depois foi prospectada a área à montante destes paltôs, além de uma parte da escarpa sul desta Serra. Logo, as cavidades foram levantadas tanto na vertente norte como na vertente sul da área de estudo, totalizando uma área de 192 hectares. Optou-se por concentrar as campanhas de prospecção na vertente norte em razão de que, dentre as porções da Serra tombadas, esta era a que apresentava a maior área com capeamento de canga.

---

<sup>4</sup> Os platôs de canga possuem um tipo de vegetação mais rasteira que se contrasta com a vegetação mais densa, que tem como substrato as rochas da Formação Cauê e da Formação Cercadinho.

Na etapa de prospecção foi realizado um reconhecimento preliminar destas cavidades e identificação das suas coordenadas UTM e altitude (o DATUM utilizado foi SAD 69 e o aparelho é o GPS da marca Garmin, modelo oregon 550). Tendo em vista o grande número de cavidades formadas pela sobreposição de blocos e matacões, foram contabilizadas somente aquelas que apresentam desenvolvimento superior a cinco metros. Já as cavernas formadas *in situ*, foram levantadas as que possuem desenvolvimento superior a dois metros.

Além disso, buscou-se nomear as cavidades com a sigla GP (Gruta da Piedade) e seu respectivo número, por exemplo, GP (47). A ordem da numeração das cavernas coincide com a ordem na qual foram encontradas. Desse modo, em muitos grupos, a numeração das cavidades não aparenta seguir uma ordem lógica, pois estas foram encontradas em dias diferentes. Em muitas cavidades, além da sigla “GP” e do número, também foi atribuído um nome relacionado às características encontradas no interior dessas. Por exemplo, a GP (3) também foi denominada como Gruta da Macumba, por apresentar artefatos que remetem a este tipo de religião de matriz africana.

A projeção horizontal das cavernas levantadas baseou-se no método de descontinuidade adotado por Silva (2004). Este dado morfométrico foi obtido por meio de medidas realizadas em campo, onde utilizaram-se trena a laser e trena tradicional de 20 metros. Salienta-se que as medidas obtidas em campo foram aproximadas tendo em vista que o objetivo do levantamento destes dados é apenas estabelecer uma comparação entre o desenvolvimento das cavidades da Serra da Piedade.

Para as cavernas formadas *in situ* e que aparentavam ter projeção horizontal superior a 30 metros, foram realizados mapeamentos topográficos, cujo grau de precisão e detalhamento variou entre os graus 2C e 5D<sup>5</sup>. A topografia destas cavidades foi realizada por equipes compostas por membros do Grupo Meandros Espeleó Clube e por alunos do curso de Geomorfologia Cárstica, ministrado pelo Professor Dr. Joel Rodet. Os instrumentos utilizados nesta etapa foram bússola, clinômetro, trena a laser, papel milimetrado, dentre outros.

Após a prospecção, o reconhecimento preliminar destas cavidades e a etapa de mapeamento, foram analisados aspectos morfológicos como feições cársticas presentes no interior das cavernas formadas *in situ* e feições cársticas superficiais. Além disso, buscou-se caracterizar os aspectos físicos presentes no interior das cavidades formadas *in situ* como: inserção na paisagem, geologia, morfologia dos condutos, hidrologia, depósitos clásticos, depósitos químicos e feições de dissolução. Ainda foram registrados aspectos que

---

<sup>5</sup> Esta metodologia foi criada pelo *British Cave Research Association* para diferenciar os graus de precisão e detalhamento dos mapas topográficos de cavernas.

caracterizassem algum tipo de uso da cavidade, como por exemplo, a presença de utensílios utilizados em rituais religiosos, lixo, pixações etc. Para estas descrições foi formulada uma ficha de caracterização que se encontra em anexo.

### 3.3 Análises Cartográficas e dos Resultados

Tendo em vista a inexistência de mapeamento geomorfológico em escala de detalhe ou semi-detalhe para a área de estudo, esta terceira etapa teve como um dos objetivos caracterizar a geomorfologia da área de estudo, através da elaboração de um mapa de compartimentação do relevo. Este mapa foi elaborado através da interpretação dos mapas hipsométrico e de declividade (gerados a partir da imagem SRTM/EMBRAPA) e do mapa geológico (quadrícula da Serra da Piedade, CODEMIG/GEOMINAS). Além disso, utilizou-se a imagem de satélite (SPOT, 2002) e reconhecimento em campo (etapa campo) para auxiliar na interpretação do relevo. Os mapas foram compilados e elaborados utilizando o software ArcGIS, versão 9.2. Para a confecção do mapa de compartimentação do relevo, utilizou-se de forma adaptada e simplificada as instruções do Manual Técnico de Geomorfologia (NUNES; IBGE, 1995). Os resultados deste mapeamento encontram-se no capítulo 4 desta dissertação.

O capítulo 5 corresponde a um inventário das cavidades naturais da Serra da Piedade, que buscou caracterizá-las e contextualizá-las no relevo da área em estudo. Neste capítulo, também realizou-se uma classificação baseada nos dados levantados em campo. Desse modo, as cavidades levantadas foram agrupadas em três tipos: (i) cavidades formadas por queda de blocos e/ou matacões, denominadas de *cavidades em tálus*; (ii) cavidades que apesar de terem sido formadas *in situ*, não apresentam geoformas de dissolução, chamadas de *cavernas sem evidências morfocársticas* e; (iii) cavidades que apresentam geoformas de dissolução, denominadas de *cavernas com feições cársticas*.

Vale ressaltar que, segundo Palmer (2007) as cavernas em tálus consistem em vazios formados pela sobreposição seixos, calhau, blocos e/ou matacão. Estas cavidades estão localizadas na base de penhascos ou nos degraus de um relevo escalonado. As cavernas com feições cársticas são referenciadas na literatura como cavernas de dissolução (SIMMONS, 1963; PILÓ; AULER, 2005; PALMER, 2007). Neste trabalho, foram consideradas cársticas, devido à presença de formas, que evidenciam este processo (HARDT; PINTO, 2009). Por fim, as cavernas sem evidências cársticas fazem parte da categoria, na qual não foi possível

encontrar ou interpretar formas de dissolução. Entretanto, estas cavidades foram formadas *in situ*, ou seja, sua gênese não está associada à sobreposição de blocos.

Por fim, no capítulo 6, buscou-se estabelecer uma relação entre as cavidades classificadas no capítulo 5 e os dados das características ambientais obtidas em campo e gabinete: desenvolvimento (projeção horizontal), declividade, hipsometria, litologia e escarpa.

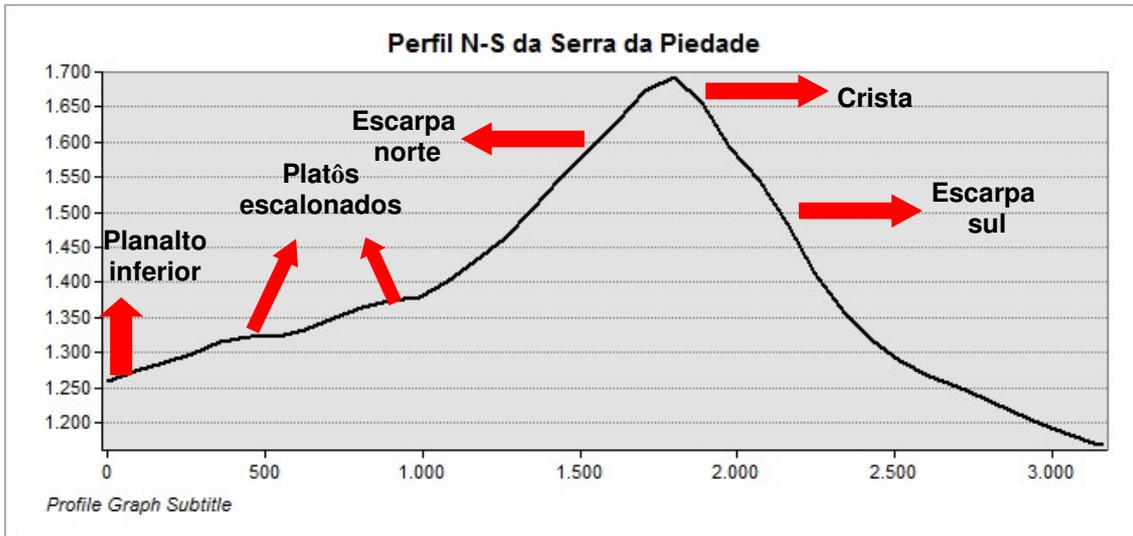
Para uma melhor análise, os parâmetros supracitados foram subdivididos em classes. A projeção horizontal foi subdivida em quatro classes de desenvolvimento: classe 1 (0 – 15 metros), classe 2 (16 – 30 metros), classe 3 (31 – 45 metros) e classe 4 (acima de 45 metros). A declividade foi subdivida em seis classes: classe 1 (0-10%), classe 2 (10-20%), classe 3 (20-30%), classe 4 (30-40%), classe 5 (40-50%) e classe 6 (50-90%). Os intervalos altimétricos foram subdivididos da seguinte forma: classe 1 (1.360-1.420 metros), classe 2 (1.420-1.480 metros), classe 3 (1.480-1.540 metros), classe 4 (1.540-1.600 metros), classe 5 (1.600-1.680 metros) e classe 6 (acima de 1.680 metros). Em campo, pode-se agrupar e classificar a(s) litologia(s) presentes no interior das cavidades da seguinte forma: canga detrítica; canga detrítica/itabirito; matacões de itabirito; e canga detrítica/itabirito/matacões de itabirito. Por fim, classificou-se a escarpa presente nas cavidades situadas na ruptura do relevo, logo foram criadas três classes: cavidades com continuidade lateral expressiva, cavidades com continuidade lateral pouco expressiva e cavidades que não estão situadas na ruptura do relevo. Desse modo, foi possível constatar se existe alguma relação entre os parâmetros supracitados, assim como traçar um perfil das características ambientais das cavidades da Serra da Piedade.

#### **4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO**

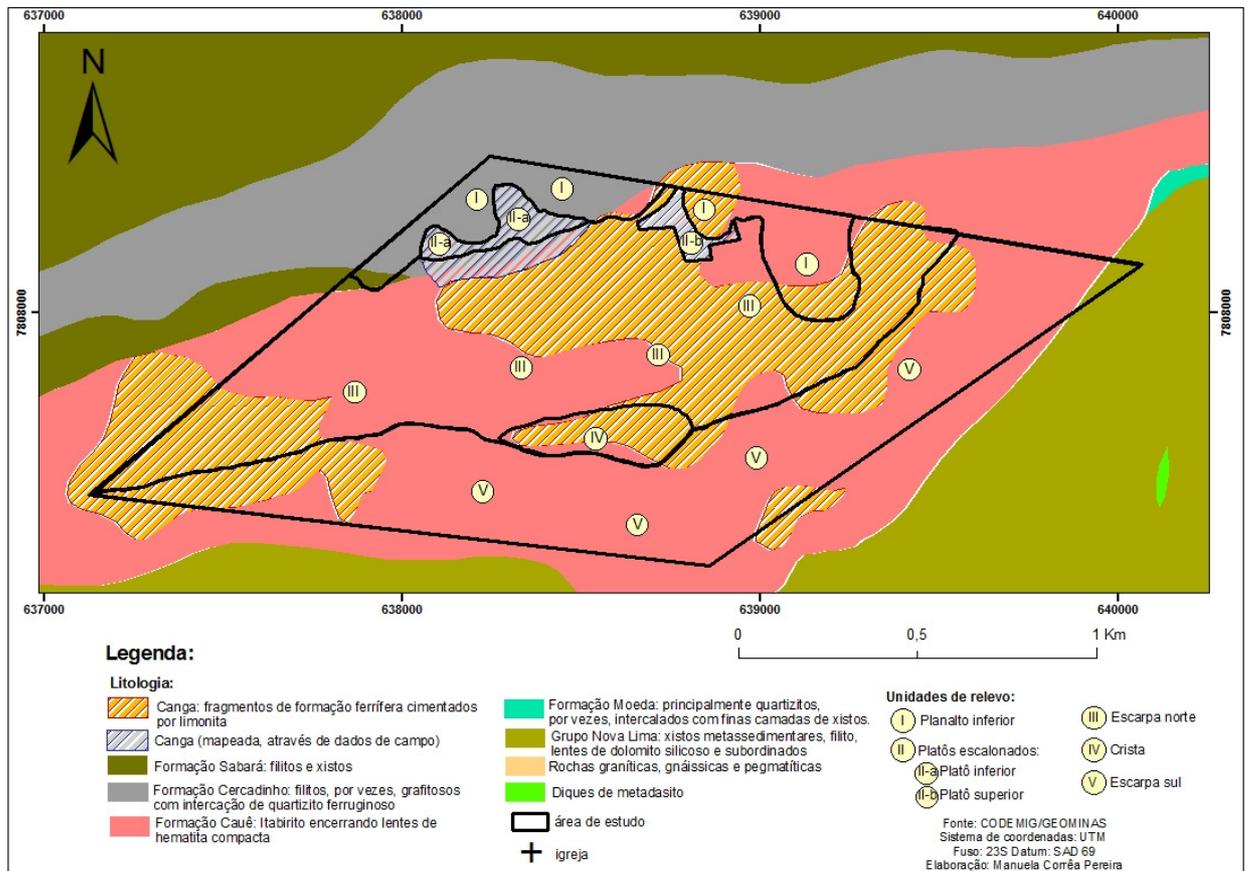
A geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero, conforme abordado e mensurado por Salgado (2006) e abordado ao longo do capítulo 2, é fruto da erosão diferencial, condicionada pelo controle litoestrutural. Esta realidade também é observada na área em estudo. No topo é nítida a presença de carapaças ferruginosas, inertes ao intemperismo químico e à erosão. Essas carapaças sustentam o substrato itabirítico, litologia que predomina nesta faixa altimétrica e que apresenta maior resistência à erosão quando comparada às demais litologias presentes na região da Serra da Piedade. Nos patamares altimetricamente inferiores observa-se a presença do filito da Formação Cercadinho. Já na encosta sul, onde o declive é mais acentuado é nítido o contraste entre os itabiritos da Formação Cauê e os xistos do Grupo Nova Lima.

O relevo da porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero foi compartimentado por Marent; Salgado (2010). Através deste mapeamento, foi constatado que a área em estudo insere-se na unidade Crista da Serra da Piedade. Como a escala deste mapeamento não é adequada para realizar uma caracterização do relevo da área em estudo, optou-se por realizar um mapa simplificado de compartimentação do relevo. Além de uma melhor caracterização da área em estudo, o produto deste mapeamento tem como principal objetivo contextualizar as cavernas levantadas.

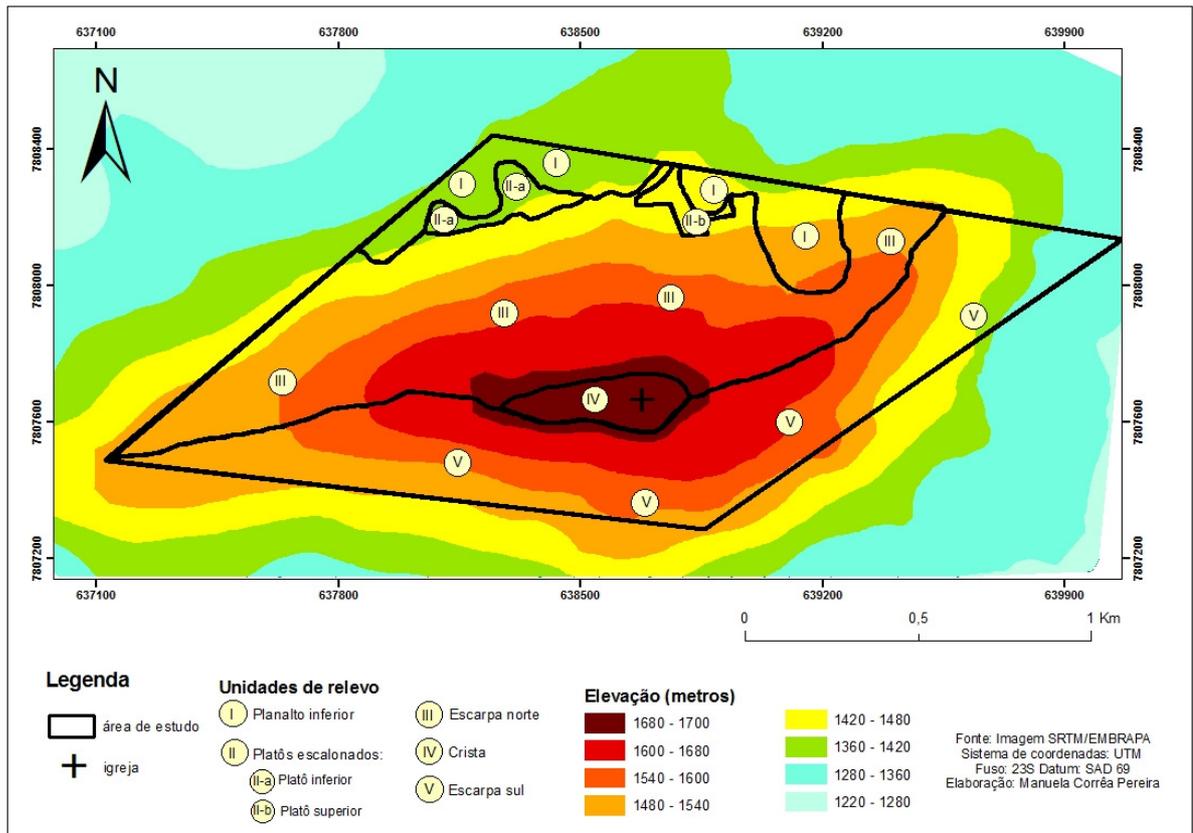
Neste capítulo serão apresentadas e caracterizadas as cinco unidades mapeadas: (i) crista; (ii) escarpa sul; (iii) escarpa norte; (iv) platôs escalonados, que subdividem-se em: platô inferior e platô superior; e (v) planalto inferior (Figura 4.1). Desse modo, também serão apresentados e interpretados os mapas que subsidiaram esta compartimentação: (i) mapa litológico (Figura 4.2); (ii) mapa hipsométrico (Figura 4.3); (iii) mapa de declividade (Figura 4.4) e (iv) mapa gerado por meio de imagem de satélite (Figura 4.5). Para elaboração destes mapas e do mapa síntese, também foram utilizados dados e interpretações realizadas em campo.



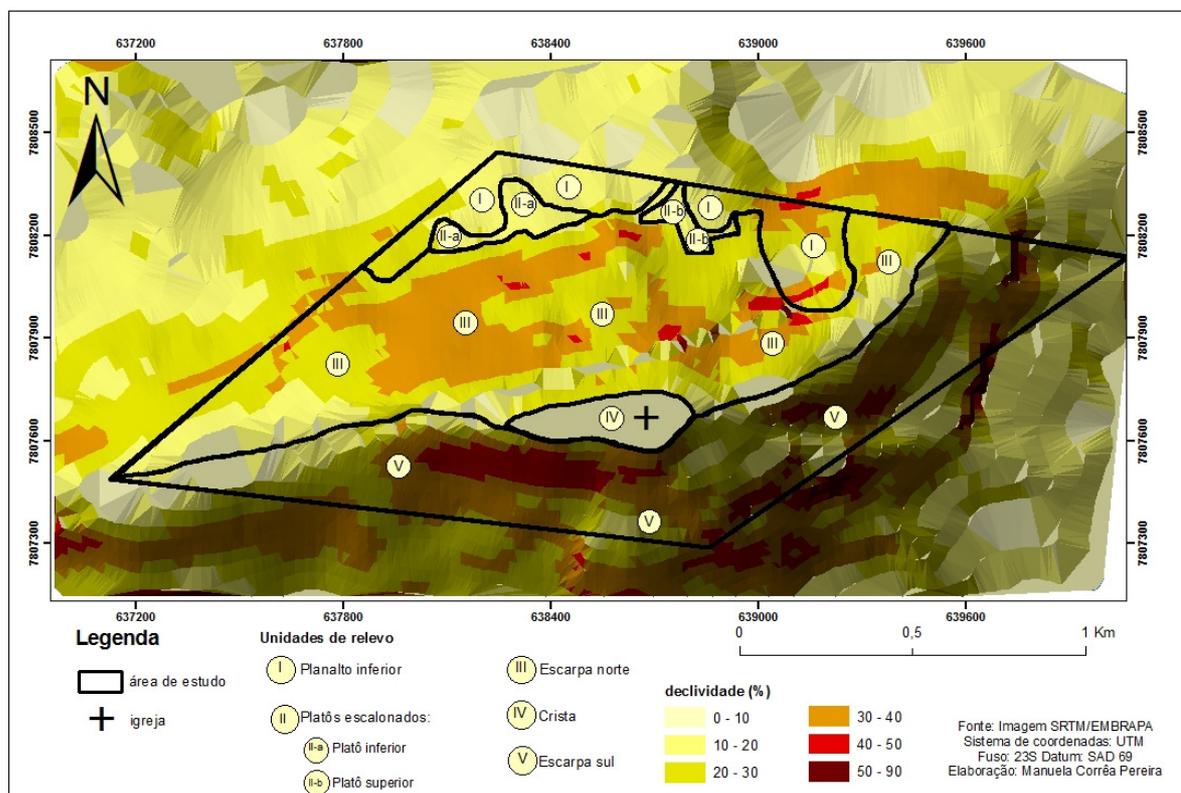
**Figura 4.1:** Contextualização das unidades de relevo levantadas no perfil Norte-Sul da Serra da Piedade.



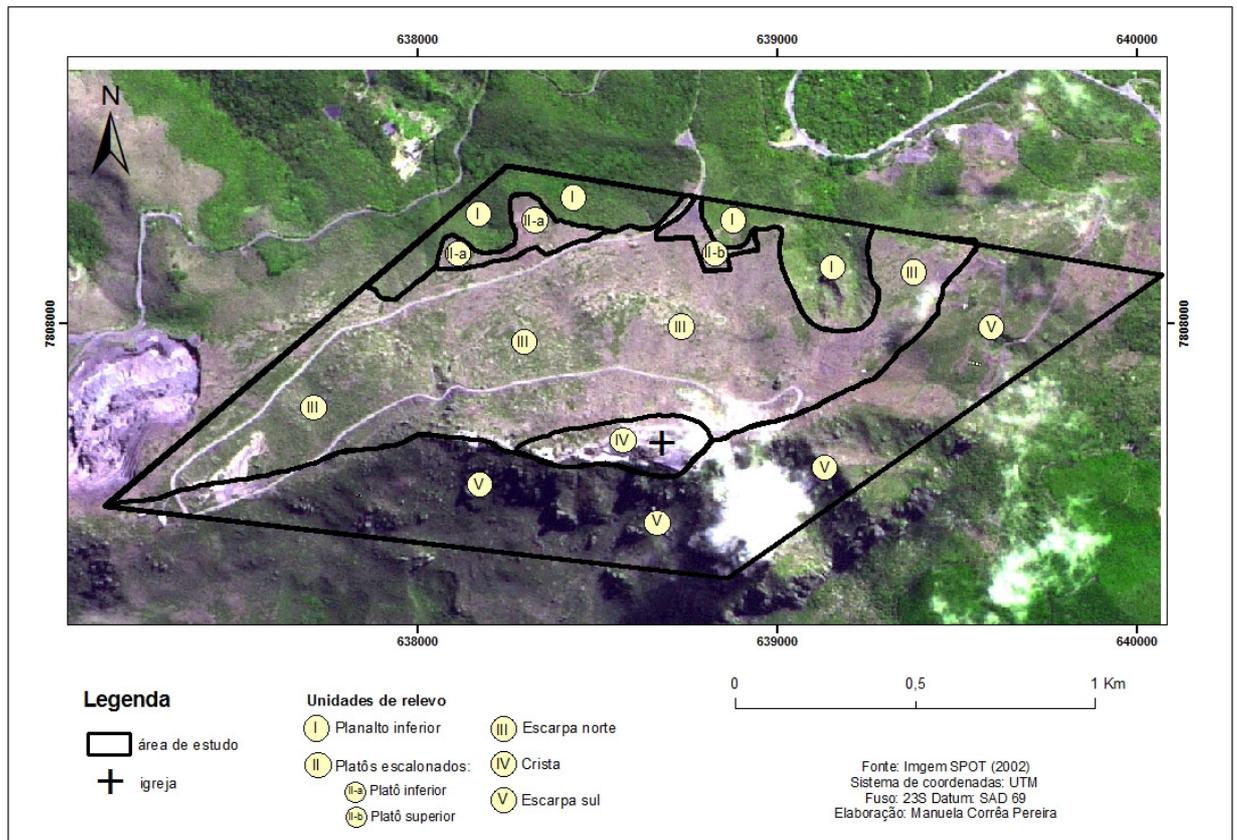
**Figura 4.2:** Mapa litológico da área em estudo. A segunda litologia representada na legenda foi mapeada através de dados coletados em campo. O formato da primeira litologia da legenda (canga) não é fiel à realidade constatada em campo.



**Figura 4.3:** Mapa hipsométrico, onde é possível constatar que a área em estudo está inserida entre as cotas de 1.360 metros e 1.776 metros (patamar altimétrico, onde localiza-se a igreja da área em estudo).



**Figura 4.4:** Mapa de declividade da área em estudo. Analisando as classes de declividade, constata-se que a escarpa sul possui áreas mais declivosas, quando comparada com a escarpa norte.



**Figura 4.5:** Imagem de satélite da área em estudo e suas unidades de relevo

#### 4.1 Crista

A crista da área de estudo é representada por um topo aguçado, ou seja, estreito e alongado, localizado entre 1.700 e 1.776 metros de altitude (Figura 4.3). Segundo Nunes; IBGE (1995), estes topos são esculpidos em rochas metamórficas e sua forma é resultante da interceptação de vertentes de declividade acentuada.

Segundo o mapa litológico, esta unidade é composta, majoritariamente, por canga. Entretanto, na porção sul desta unidade, já é nítido o contraste entre a canga e o itabirito da Formação Cauê que se estenderá ao longo da escarpa sul (Figura 4.2). A declividade é o parâmetro que melhor caracteriza o sítio desta unidade, ela está situada na classe de menor declividade da área de estudo (0-10%) (Figura 4.4).

Os aspectos morfológicos favoreceram a instalação do complexo arquitetônico da Serra da Piedade nesta unidade (Figura 4.6-A e 4.6-B). Nela estão situadas construções como

a igreja antiga (ermida), igreja nova, restaurante, lanchonete, observatório astronômico, dentre outros.



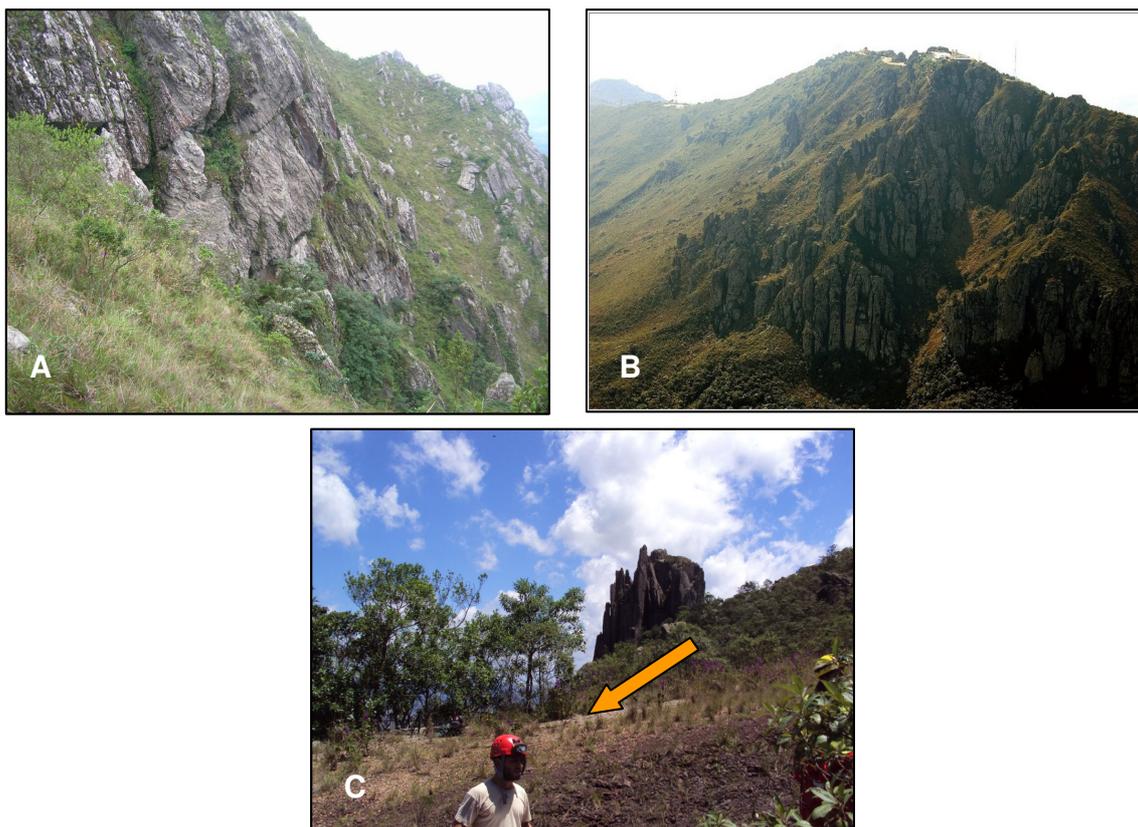
**Figura 4.6:** (A) Vista da unidade de relevo crista, onde avista-se o complexo arquitetônico da Serra da Piedade; (B) Vista da escarpa sul, onde na porção superior da foto, constata-se a unidade crista e (C) Capela Nossa Senhora da Piedade, localizada no ponto altimétrico mais elevado da Serra da Piedade (1.776 metros).

**Fotos:** A(s) autoria(s) das fotos 4.5 A e 4.5 B não foi encontrada(s). Entretanto as mesmas foram retiradas no site: <http://www.caetmh.com>. Já a foto 4.6 C foi realizada pela autora desta dissertação.

## 4.2 Escarpa sul

A escarpa sul possui uma declividade mais acentuada quando comparada à escarpa norte, sendo nítido o contraste entre a canga e os itabiritos da Formação Cauê, assim como entre os itabiritos e os xistos do Grupo Nova Lima (Figuras 4.2 e 4.4). As classes de declividade desta escarpa variam entre 30 e 50%. Entretanto, na porção nordeste desta unidade, o relevo é mais suave e as classes de declividade variam entre 10% e 30% (Figuras 4.4 e 4.5). Tal fato pode ser justificado pela presença da canga nesta porção (Figura 4.2). Esta unidade de relevo está localizada entre 1.480 e 1.680 metros de altitude (Figura 4.3). Ela é caracterizada pela presença de afloramentos de itabiritos (Figura 4.7-A).

Devido ao seu caráter abrupto, é restrito qualquer tipo de uso e ou ocupação nesta unidade de relevo, inclusive o seu acesso é vedado aos visitantes da Serra da Piedade. Entretanto, na porção nordeste desta unidade de relevo, é possível constatar uma estrada desativada, que foi construída pelo Frei Rosário Joffily (1913-2000), ex-reitor do Santuário da Serra da Piedade (Figura 4.7-B).



**Figura 4.7:** (A) e (B) Escarpa sul, caracterizada por ser abrupta e pela presença de afloramentos de itabirito; (C) A porção nordeste da escarpa sul possui um relevo, relativamente mais suave. Ao fundo observa-se estrada desativada construída pelo ex-reitor do Santuário.

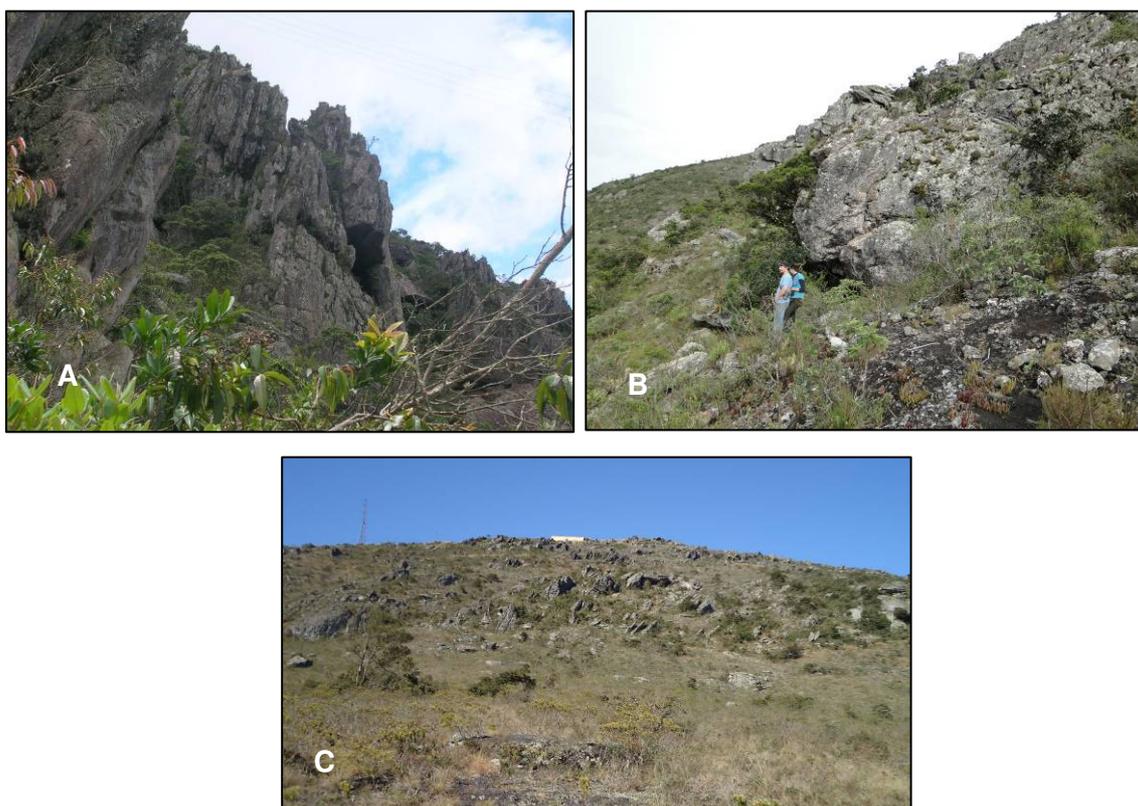
**Fotos:** 4.7 A- Manuela Corrêa Pereira; 4.7 B- Sem autoria; e 4.7 C- Roberto Cassimiro.

### 4.3 Escarpa Norte

A escarpa norte, situada entre 1.420 e 1.700 metros de altitude, é relativamente mais suave quando comparada à escarpa sul (Figura 4.1). Tal fato pode estar associado à presença de capas de canga, conforme constatado no mapa geológico (Figura 4.2). Nesta escarpa predominam as classes de declividade que variam entre 20% e 40%. Através de análises realizadas em campo e após a interpretação dos mapas geológico e de declividade, verificou-se que na porção oeste desta unidade predomina um relevo mais abrupto (30 a 40% de

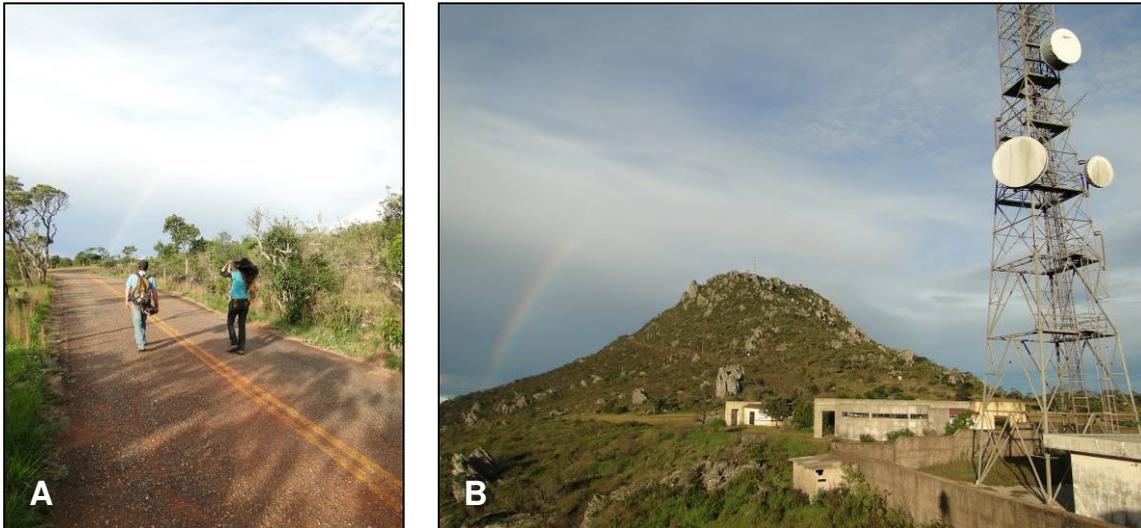
declividade, Figura 4.4). Além disso, predominam afloramentos de itabirito. Já na porção leste desta unidade, verifica-se a presença da canga, logo a declividade do relevo é mais suave, predominando a classe de 20 a 30% de declividade. Em campo, verifica-se que esta porção é caracterizada pela presença de afloramentos de itabirito, mas também por blocos e matacões desta litologia. Ainda na porção extremo oeste desta unidade de relevo verifica-se pequenas áreas planas que são sustentadas pela canga (Figuras 4.2 e 4.4).

A estrada que dá acesso ao Complexo Arquitetônico da Serra da Piedade está localizada nesta unidade de relevo. Além disso, na porção extremo oeste desta unidade, existe uma infra-estrutura composta por lanchonete e banheiros que atendem aos visitantes, quando o acesso à unidade crista é vetado.



**Figura 4.8:** (A) Afloramentos de itabirito na porção oeste da unidade escarpa norte. (B) Matacões de itabirito presentes na porção leste da unidade escarpa norte. (C) Escarpa norte, caracterizada pela presença de itabiritos, matacões e blocos desta litologia.

Fotos: 4.8 A e C- Manuela Corrêa Pereira; e 4.8 B- Luciano Faria.



**Figura 4.9:** (A) Estrada situada na escarpa norte que dá acesso ao Complexo Arquitetônico da Serra da Piedade. (B) Na porção direita da foto, constata-se infra-estrutura instalada num pequeno platô de canga presente na porção extremo oeste da unidade escarpa norte.

**Fotos:** Luciano Faria

#### 4.4 Platôs escalonados

Os platôs escalonados estão localizados na vertente norte (Figuras 4.10-A e 4.10-B). O platô superior está situado entre 1.440 e 1.480 metros. Já o platô inferior situa-se entre as cotas altimétricas de 1.380 e 1.420 metros (Figura 4.3). Os dois platôs possuem declividade que variam entre 10 e 20% (Figura 4.4) e são sustentados pela canga coluvionar que recobre a área de estudo.

Devido à sua baixa declividade e seu acesso próximo à estrada do Santuário da Serra da Piedade, o platô superior é utilizado como estacionamento para turistas e romeiros que freqüentam a Serra e é localmente denominado de “cascalhinho” (Figura 4.10).



**Figura 4.10:** (A) Em primeiro plano, escarpa norte, em segundo plano platô inferior e em terceiro plano planalto inferior. (B) Em primeiro plano, escarpa norte, em segundo plano platô superior e em terceiro plano planalto inferior.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira

#### 4.5 Planalto Inferior

Por fim, a área de estudo engloba parte do planalto inferior que tem como substrato os filitos da Formação Cercadinho (Figura 4.2). Este planalto está em contato com as bordas dos platôs e, na área de estudo, situa-se entre 1.360 e 1.560 metros de altitude (Figuras 4.3 e 4.4) e predomina a classe de declividade que varia entre 10% e 20%.

A vegetação desta unidade de relevo se difere das demais unidades descritas. Nesta unidade constata-se uma mata fechada de grande porte arbóreo que contrasta com a vegetação rasteira, dos campos ferruginosos presentes nas unidades platôs escalonados e escarpa norte (Figura 4.10).

## **5 DESCRIÇÃO DAS CAVERNAS DA SERRA DA PIEDADE**

### **5.1 Considerações iniciais**

Este capítulo buscou contextualizar as cavidades nas unidades de relevo descritas no capítulo anterior, assim como elucidar os principais aspectos presentes no interior das cavidades. Para esta contextualização, as cavernas levantadas foram organizadas em oito grupos. Cada grupo corresponde a uma unidade de relevo ou parte desta unidade. Desse modo, os Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 correspondem, respectivamente, ao Platô Superior, ao Platô Inferior, à porção superior da Escarpa Norte, à porção inferior da Escarpa Norte, à porção ocidental da Escarpa Norte, à Crista, à Escarpa Sul e à porção oriental da Escarpa Sul (Figuras 5.1, 5.12, 5.20, 5.32, 5.34, 5.37, 5.40 e 5.41).

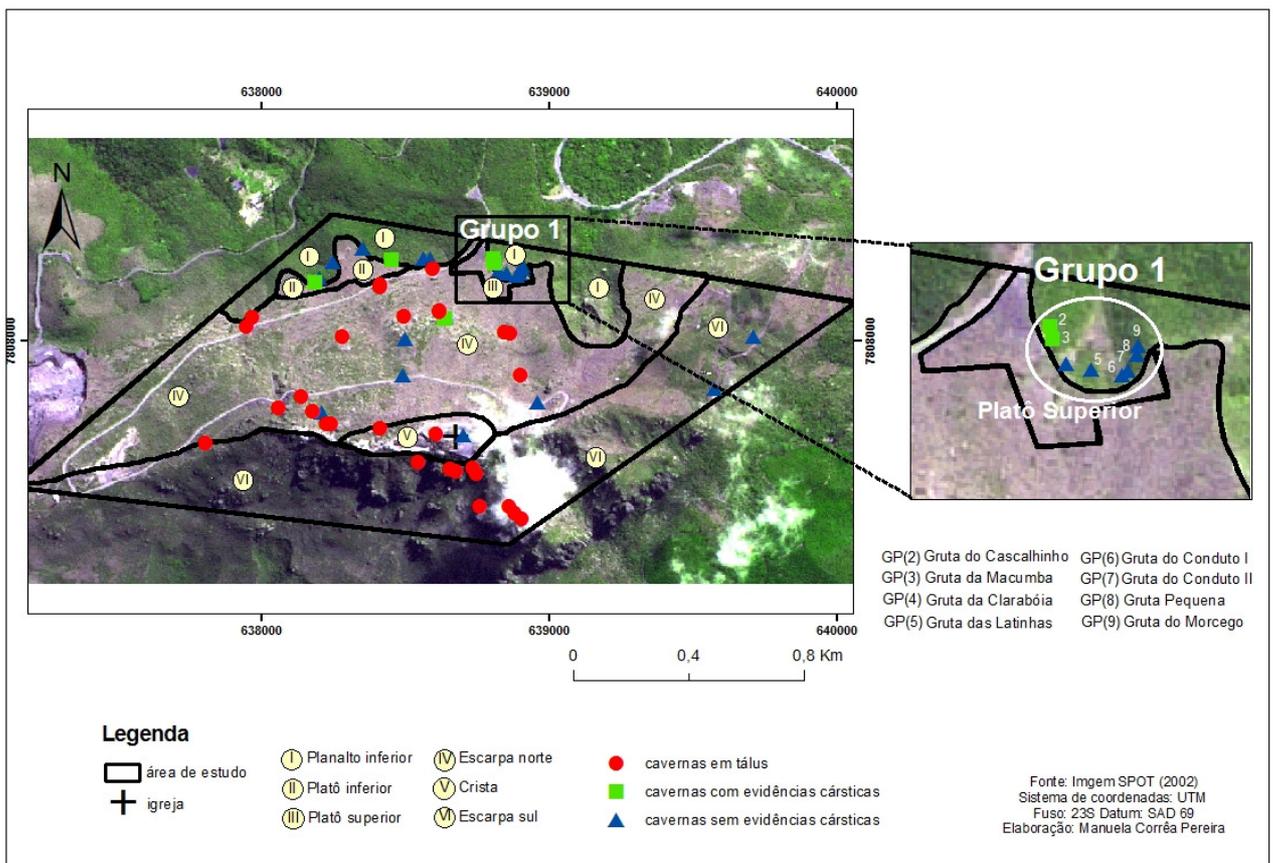
A seguir serão abordados os oito grupos de cavidades presentes na Serra da Piedade. Para cada cavidade foi elaborada uma tabela contendo suas coordenadas, altitude, projeção horizontal e classificação<sup>6</sup>.

### **5.2 Grupo 1: cavidades da unidade Platô Superior**

O Grupo 1 é composto por oito cavidades que estão situadas na borda do Platô Superior e também na ruptura do relevo (Figura 5.1). Nesta unidade foram encontradas duas cavidades classificadas como cavernas com evidências cársticas e seis cavidades classificadas como cavernas sem evidências cársticas (Figura 5.1). Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade (LOBATO *et al.*, 2005), as cavidades deste grupo estão situadas no contato da canga com a o itabirito da Formação Cauê.

---

<sup>6</sup> Cavernas em tálus, cavernas sem feições cársticas e cavernas com feições cársticas.



**Figura 5.1:** Contextualização das cavidades na unidade Platô Superior.

### 5.2.1 Gruta do Cascalinho

**Tabela 5.1:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Cascalinho.

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
0638809E/7808288N	1.435 metros	30 metros	Caverna com feições cársticas

A cavidade foi denominada “Cascalinho” devido ao nome local dado ao platô no qual está situada. A Gruta do Cascalinho é a primeira cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda deste platô (Figuras 5.1 e 5.2). A caverna apresenta duas entradas. A entrada da porção oeste desta cavidade é caracterizada por ser de difícil acesso, ou seja, possui a entrada estreita para a passagem humana. Já a entrada da porção leste da cavidade é caracterizada pela presença de mato e blocos de canga, que também são recorrentes em seu interior.



**Figura 5.2:** Entrada da Gruta do Cascalinho, localizada na ruptura do relevo.

**Foto:** Tatiana Souza

Em campo, foi constatado que a litologia da Gruta do Cascalinho é caracterizada pela presença da canga detrítica, apresentando detritos que variam do tamanho de seixo até matacão. Dentre estes detritos, é possível constatar que alguns desses ainda possuem o bandamento do itabirito. Quanto aos “matações” de itabirito, não foi possível confirmar se os mesmos estão *in situ* ou se realmente sofreram processos de vertente (Figura 5.3).

Ainda foi constatado que os condutos desta cavidade apresentam morfologia irregular, semi-oval e semi-circular. Além disso, constatou-se que grande parte dos condutos apresenta fissuras presentes entre a canga detrítica e o itabirito (Figura 5.3).



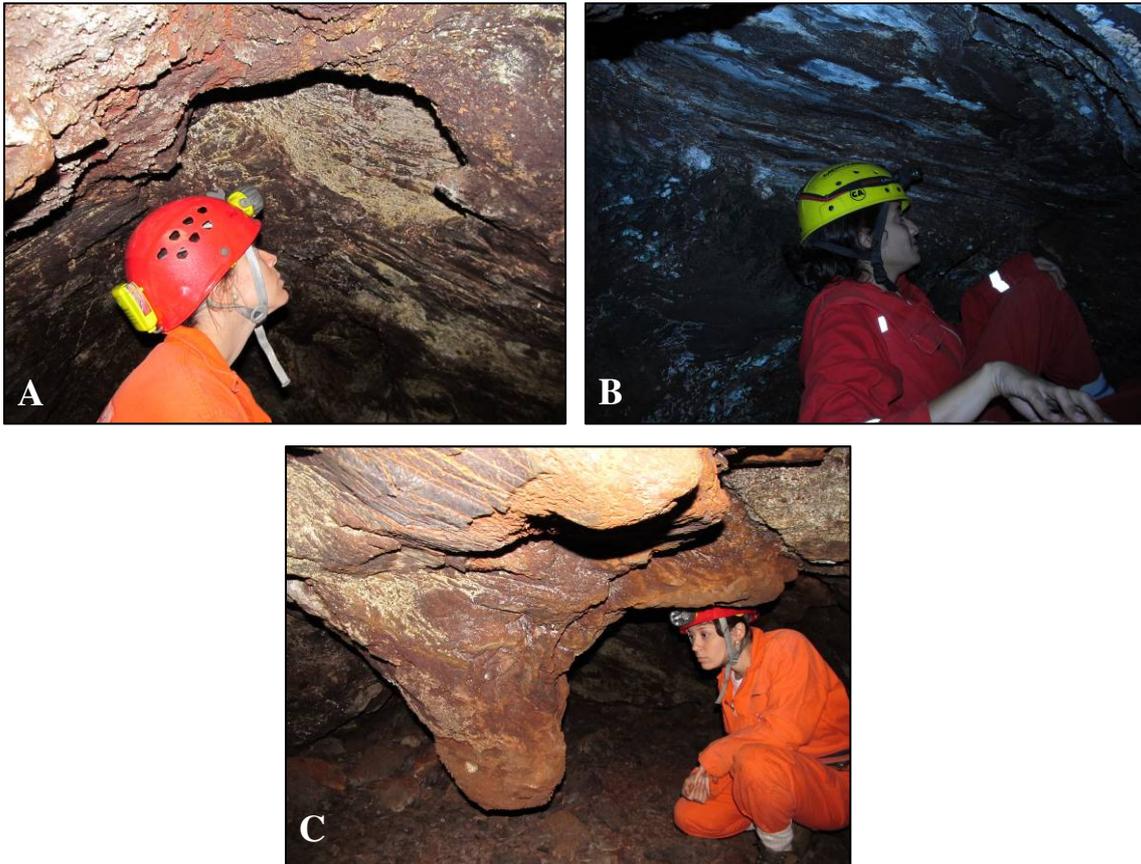
**Figura 5.3:** Conduto arredondado com a presença de uma fissura entre o itabirito (não foi possível afirmar se este itabirito estava in situ, ou se consiste em um matacão) e a canga detrítica.

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira

Quanto aos aspectos hidrológicos, constatou-se que a Gruta do Cascalinho apresenta gotejamento durante o período chuvoso. Entretanto, tanto neste período como no período seco, a caverna em estudo apresenta condensação.

Quanto aos depósitos clásticos constatou-se que estes possuem granulometria que variam de sedimentos finos até os mais grosseiros, seixo, bloco e matacão. A litologia destes sedimentos grosseiros é representada pelo itabirito e pela canga. Quanto à descrição dos depósitos químicos, foi constatada a presença de espeleotemas do tipo coralóide de dimensões milimétricas a centimétricas.

Nesta cavidade foi encontrada uma considerável densidade de feições que evidenciam processos cársticos, portanto a mesma foi classificada como caverna com feições cársticas (Tabela 5.1). Dentre estas feições destacam-se as encontradas na porção nordeste da cavidade, como pendente com a presença de coralóides de dimensões milimétricas formado diretamente sobre o itabirito e domos, que também foram desenvolvidos nesta litologia (Figura 5.4-A, B e C).



**Figura 5.4:** (A) e (B) Domos formados no teto da Gruta do Cascalinho; e (C) pendente, forma relíquia que indica a coalescência de condutos, através do processo de dissolução.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Tatiana Souza.

### 5.2.2 Gruta da Macumba

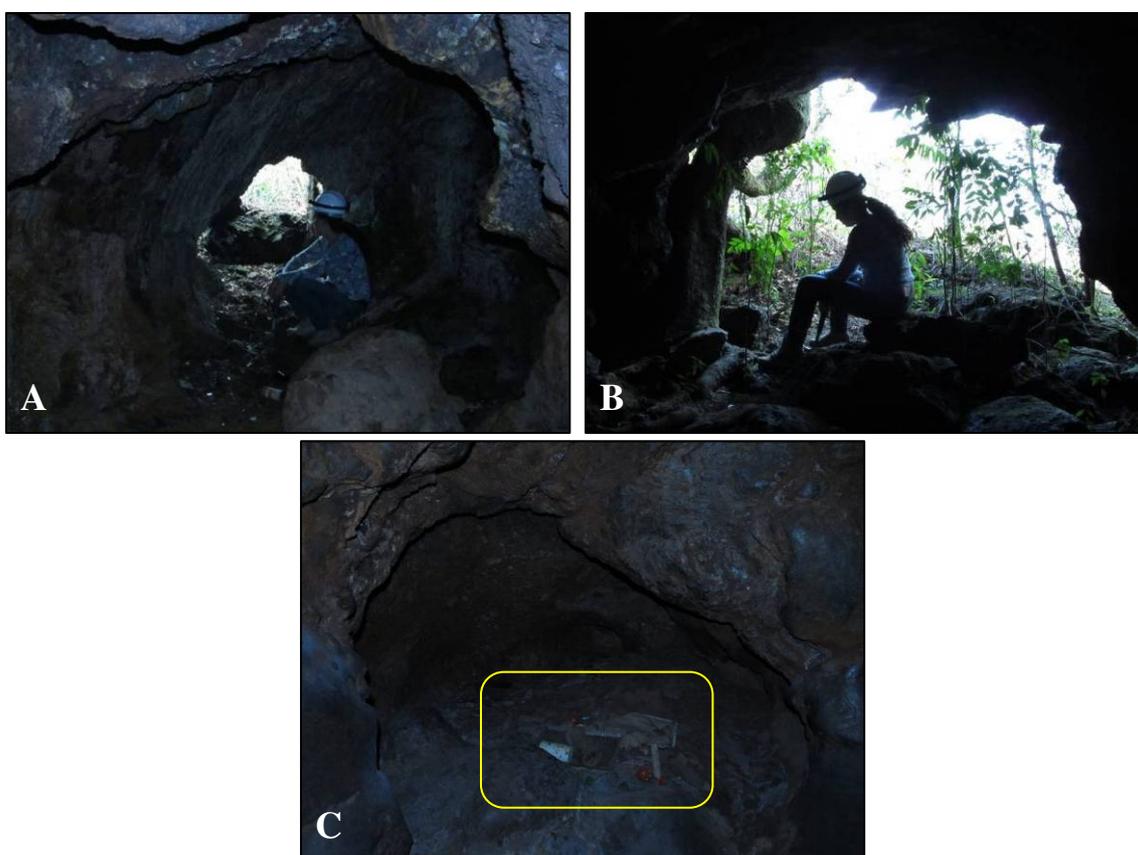
**Tabela 5.2:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Macumba

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638812E/7808274N	1.435 metros	27 metros	Caverna com feições cárticas

A Gruta da Macumba recebeu tal denominação devido a objetos encontrados no seu interior, que são utilizados neste tipo de ritual religioso (Figura 5.5-C). Esta é a segunda cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda da unidade Platô Superior (Figura 5.1). A caverna apresenta três entradas. A entrada da porção oeste desta cavidade é caracterizada por ser estreita e possui o formato irregular (Figura 5.7). A entrada da porção central é ampla e possui o formato semi-circular (Figura 5.5-B e Figura 5.7). Já a entrada da porção leste desta

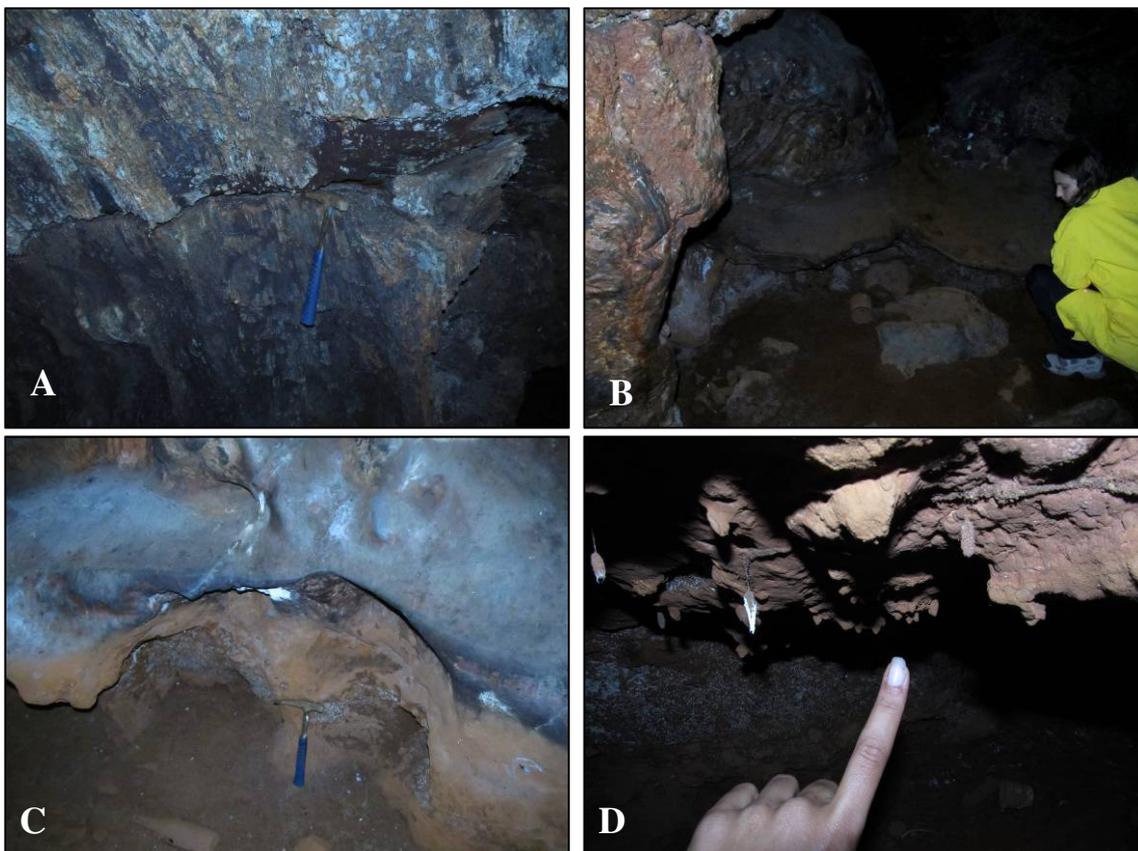
Gruta, possui o formato semi-oval e dá continuidade a um conduto de formato tubular (Figura 5.5-A e Figura 5.7).

De modo geral, a litologia constada em campo consiste na canga do tipo detrítica e no itabirito. Mais uma vez não foi possível afirmar se o itabirito presente no interior desta cavidade estava *in situ* ou se sofreu processos de vertente, sendo um matacão que cimentou com os demais clastos da canga detrítica. A medida que se adentra a caverna, nota-se que a matriz, na qual os detritos que compõem a canga estão imersos, fica mais esbranquiçada. A cavidade apresenta muitas fraturas em toda sua extensão (Figura 5.6-A).



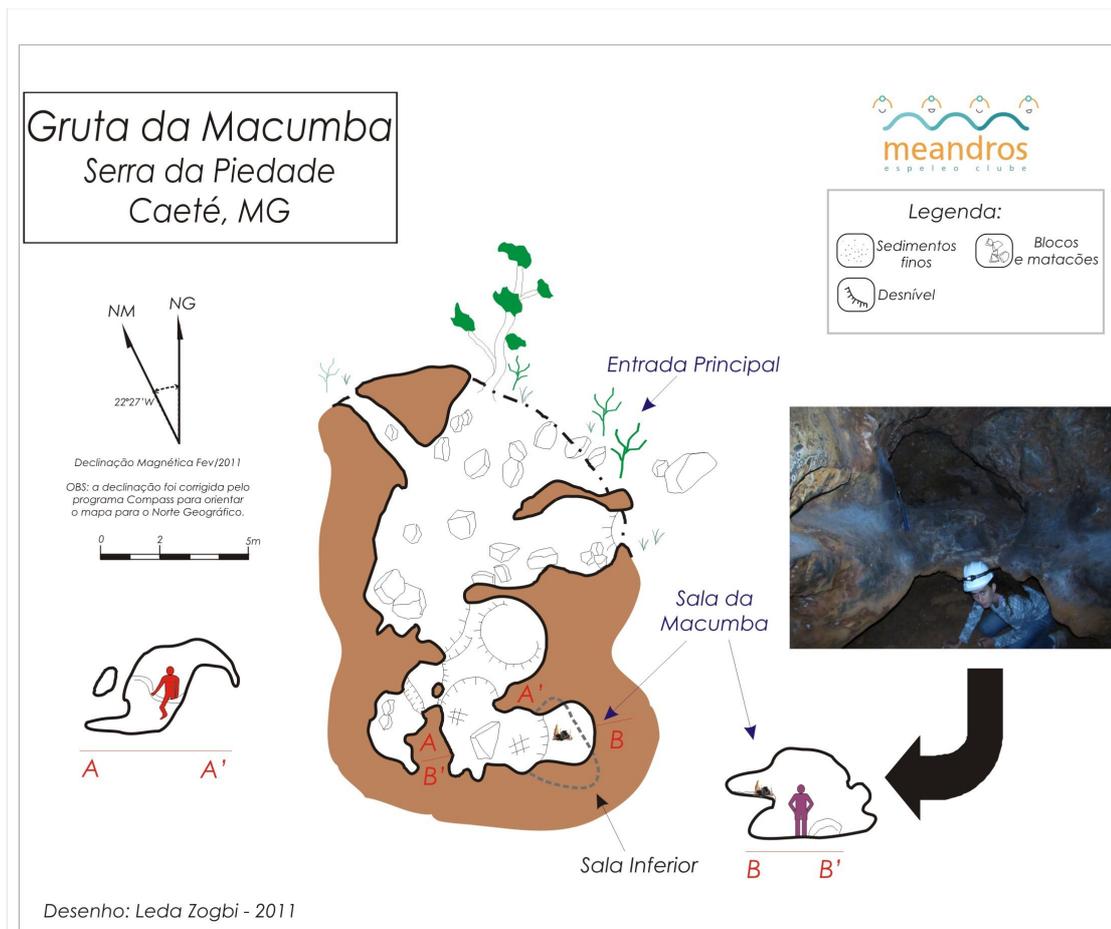
**Figura 5.5:** (A) Entrada da porção leste da Gruta da macumba, com formato que se assemelha ao semi-oval. (B) Entrada da porção central da Gruta da Macumba, que possui o formato semi-circular e (C) reentrância na porção sudeste da Gruta da Macumba, que foi utilizada como um altar ornamentado com flores de plástico, velas, copos de plástico, garrafas quebradas, etc., utilizados em ritos religiosos.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira



**Figura 5.6:** (A) Fratura localizada no interior da cavidade; (B) Paleopiso, principal feição que caracterizou a Gruta da Macumba como cárstica; (C) Feição côncava abaixo do paleopiso; (D) Espeleotemas precipitados abaixo da feição que se assemelha a um altar da Figura 5.5-C.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira



**Figura 5.7:** Mapa da Gruta da Macumba, onde é constatada a presença de paleopisite na porção sul da cavidade e condutos irregulares.

Quanto aos aspectos hidrológicos, constatou-se que a Gruta da Macumba apresenta gotejamento no período chuvoso e condensação tanto no período chuvoso como no período seco.

Quanto aos depósitos clásticos constatou-se que estes possuem granulometria que varia de sedimentos finos até os mais grosseiros, seixo, bloco e matacão. A litologia dos sedimentos mais grosseiros é representada pelo itabirito e pela canga. Quanto à descrição dos depósitos químicos, foi constatada a presença de espeleotemas, mas não foi possível classificar a tipologia do mesmo (Figura 5.6-D).

A cavidade foi classificada como cárstica (Tabela 5.2) devido à presença de feições que evidenciam processos de dissolução. Dentre estas feições destaca-se o paleopisite presente no interior desta cavidade (Figuras 5.6-B e 5.7). Além desta feição, as paredes da cavidade apresentam concavidades que se assemelham a formas alveolares (Figuras 5.5-C e 5.6-C).

### 5.2.3 Gruta da Clarabóia

**Tabela 5.3:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Clarabóia

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638827E/7808244N	1.447 metros	11 metros	Caverna sem feições cárticas

A Gruta da Clarabóia recebeu tal denominação devido ao vazio no teto gerado pelo colapso de um bloco de canga que compunha o platô superior (Figura 5.8-A). Esta é a terceira cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda da unidade platô superior (Figura 5.1). A caverna apresenta apenas uma entrada (Figura 5.8-C). Os condutos e a entrada que compõem esta cavidade possuem o formato irregular (Figura 5.8-B e 5.8-C).

De modo geral, a litologia verificada em campo consiste na canga do tipo detrítica e pelo itabirito. Mais uma vez, não foi possível afirmar se este itabirito está *in situ* ou se é um matacão que cimentou com os demais clastos que compõem a canga detrítica.

Em campo, constatou-se que a cavidade não apresenta nenhum tipo de ação hidrológica perceptível. Entretanto, vale ressaltar que a prospecção e descrição desta caverna foram realizadas no período seco.

Quanto aos depósitos clásticos constatou-se que estes possuem granulometria que varia de sedimentos finos até os mais grosseiros: seixo, bloco e matacão. A litologia dos sedimentos mais grosseiros é representada pela canga detrítica, proveniente de abatimentos da canga que compõe o platô superior, que por sua vez é o teto desta caverna.

Por fim, vale registrar que a Gruta da Clarabóia sofreu degradação humana, pois no seu interior foi possível constatar a presença de latas, copos, pedaços de garrafas plásticas, dentre outros.



**Figura 5.8:** (A) Clarabóia presente no teto da Gruta de mesmo nome; (B) Conduto irregular da Gruta da Clarabóia e (C) Entrada da Gruta da Clarabóia.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Mônica Correia.

#### 5.2.4 Gruta das Latinhas

**Tabela 5.4:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta das Latinhas

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638857E/7808238N	1.434 metros	21 metros	Caverna sem feições cársticas

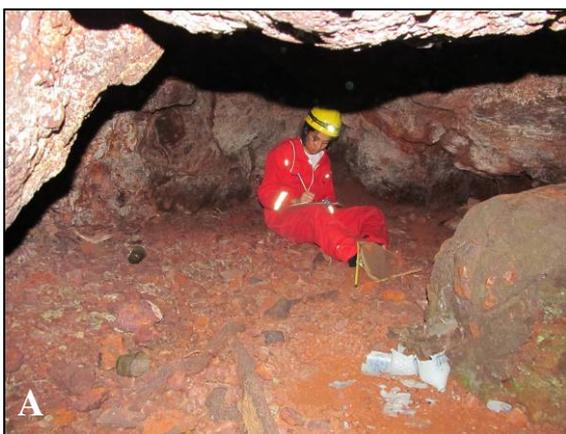
A Gruta das Latinhas recebeu tal denominação devido à presença de antigas latas de cerveja presentes no seu interior. Esta é a quarta cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda da unidade Platô Superior (Figura 5.1). A caverna apresenta uma entrada que aparenta ter o formato triangular (Figura 5.9-C). Já os demais condutos desta cavidade são irregulares e estão associados a fissuras de aparência atectônica, que são recorrentes nesta caverna (Figura 5.9-B).

De modo geral, a litologia constada em campo consiste na canga do tipo detrítica e o itabirito. Como nas demais cavidades, não foi possível afirmar se este itabirito está *in situ* ou se é um matacão que cimentou com os demais clastos que compõem a canga detrítica.

Não foi possível constatar nenhuma ação hidrológica perceptível. Entretanto, vale ressaltar que, assim como a Gruta da Clarabóia, a prospecção e descrição desta cavidade foram realizadas no período seco.

Quanto aos depósitos clásticos constatou-se que estes possuem granulometria que varia de sedimentos finos até os mais grosseiros, seixo, bloco e matacão (Figura 5.9-A). A litologia dos sedimentos mais grosseiros é representada pela canga detrítica.

Assim como a Gruta da Clarabóia, a Gruta das Latinhas também sofreu degradação humana. No seu interior foi possível constatar a presença de latas, copos, vidros e pedaços de alguidar<sup>7</sup>, que indicam que a cavidade foi utilizada com algum tipo de finalidade religiosa.



**Figura 5.9:** (A) Interior da Gruta das Latinhas, onde é possível observar sedimentos finos e grosseiros. (B) Fissuras presentes no interior da Gruta das Latinhas (C) Entrada da Gruta da Latinha, que aparenta ter o formato triangular. **Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Mônica Correia.

<sup>7</sup> Bacia de barro usada para rituais de Umbanda e Candomblé.

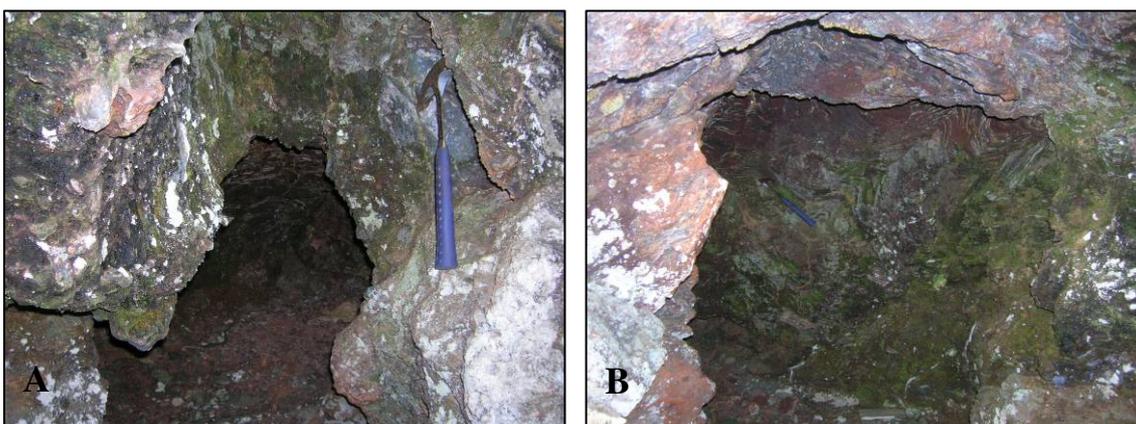
### 5.2.5 Gruta do Conduto I e Gruta do Conduto II

**Tabela 5.5:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Conduto I e da Gruta do conduto II

Cavernas	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Projeção Horizontal (m)	Classificação
Gruta do Conduto I	638820	7808179	1434	5	Caverna sem feições cársticas
Gruta do Conduto II	638820	7808180	1434	7	Caverna sem feições cársticas

A Gruta do Conduto I e II são, respectivamente, a quinta e a sexta cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda da unidade platô superior (Figura 5.1). As duas cavidades apresentam entradas que possuem formato irregular (Figura 5.10-A e 5.10-B). No seu interior foi possível constatar que a caverna é formada no itabirito e na canga.

Quanto aos depósitos clásticos, as duas Grutas apresentam em seu interior sedimentos finos e grosseiros. Estes últimos variam do tamanho de seixo a bloco. Assim, como as duas Grutas supracitadas, durante o período seco, estas cavidades não apresentaram ação hidrológica perceptível.



**Figura 5.10:** (A) Entrada da Gruta do conduto I (B) Entrada da Gruta do Conduto II.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira

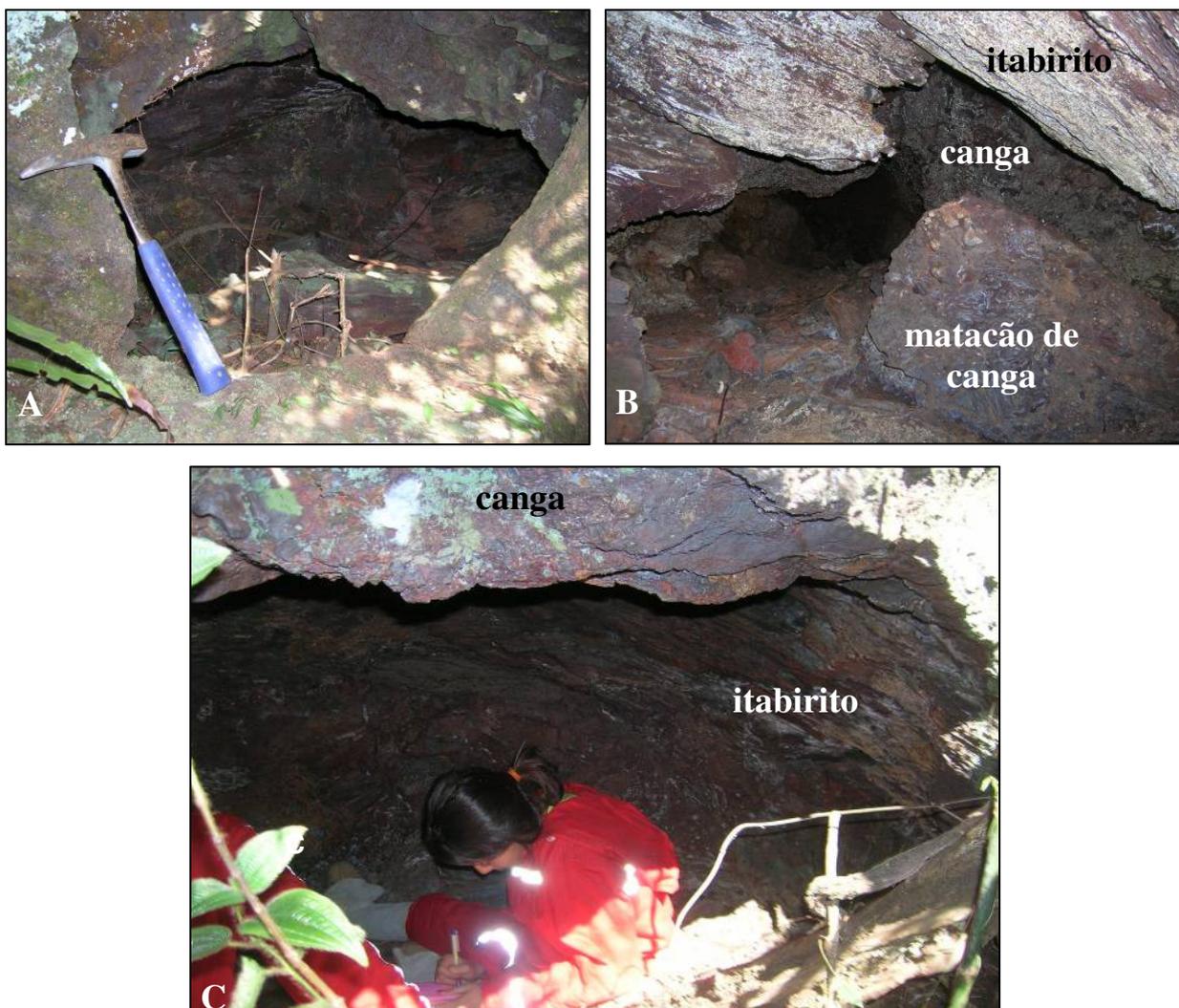
### 5.2.6 Gruta Pequena e Gruta do Morcego

**Tabela 5.6:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta Pequena e da Gruta do Morcego

<b>Cavernas</b>	<b>Leste (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Projeção Horizontal (m)</b>	<b>Classificação</b>
Gruta Pequena	638910	7808255	1434	2	Caverna sem feições cársticas
Gruta do Morcego	638911	7808265	1440	8	Caverna sem feições cársticas

A Gruta Pequena e do Morcego são, respectivamente, a sétima e oitava cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda da unidade Platô Superior (Figura 5.1). As duas cavidades apresentam entradas que possuem formato irregular (Figura 5.11-A e 5.11-C). Nas duas cavidades foi possível constatar a presença da canga detrítica e do itabirito, mas mais uma vez não foi possível afirmar se o mesmo estava *in situ*, ou se sofreu processos de vertente (Figuras 5.11-B e 5.11-C).

Quanto aos depósitos clásticos, as duas Grutas apresentam no seu interior sedimentos finos e grosseiros, estes últimos variam do tamanho de seixo a matacão. Assim, como as grutas supracitadas, durante o período seco, estas cavidades não apresentaram ação hidrológica perceptível.

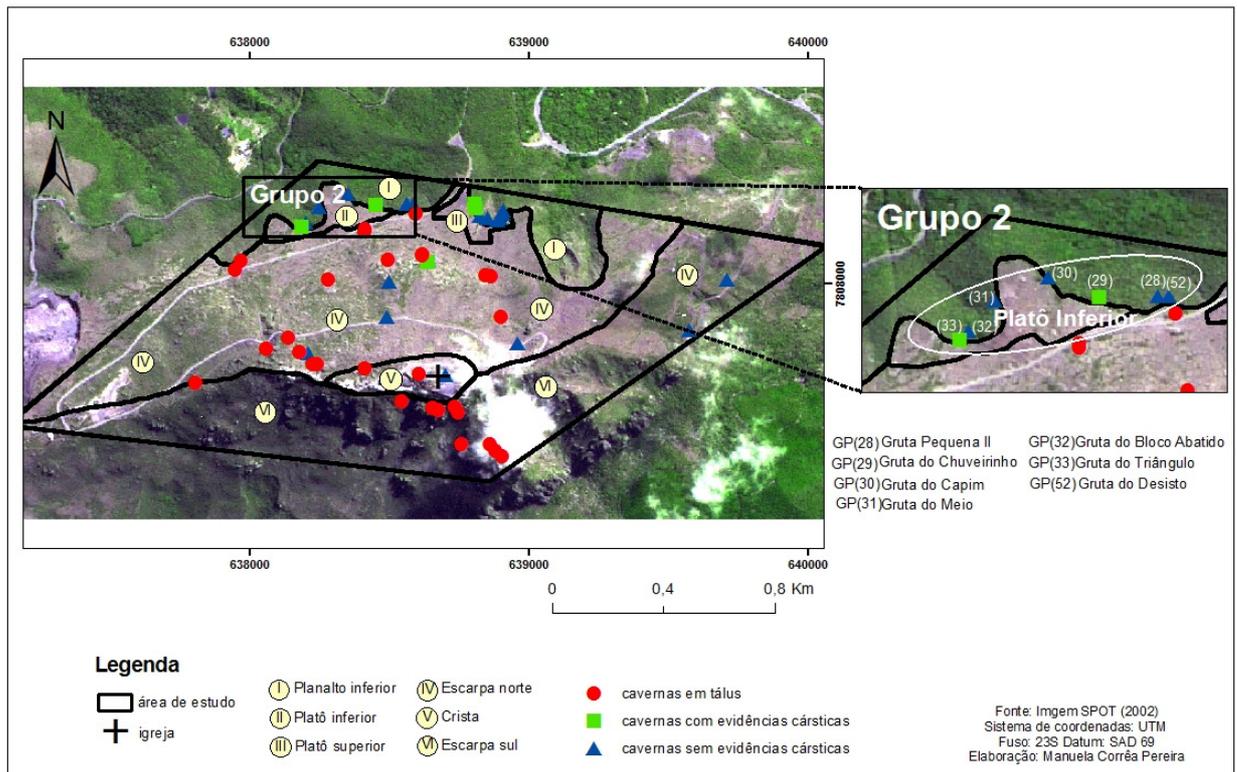


**Figura 5.11:** (A) Entrada da Gruta do morcego, que possui formato irregular; (B) Interior da Gruta do Morcego, onde é possível constatar a presença do itabirito, da canga detrítica e de um matação abatido de canga; (C) Entrada da Gruta pequena, que possui formato irregular e é caracterizada pela presença da canga detrítica e do itabirito.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Mônica Correia.

### 5.3- Grupo 2: cavidades da unidade Platô Inferior

O Grupo 2 é composto por sete cavidades que estão situadas na borda do Platô Inferior e também na ruptura do relevo (Figura 5.12). Nesta unidade foram encontradas duas cavidades classificadas como cavernas com evidências cársticas e cinco cavidades classificadas como cavernas sem evidências cársticas. Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade (LOBATO *et al.*, 2005), as cavidades deste grupo estão situadas no contato da canga com a o itabirito da Formação Cauê.



**Figura 5.12:** Localização das cavidades na unidade de relevo Platô Inferior.

### 5.3.1 Gruta do Desisto e Gruta Pequena II

**Tabela 5.7:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Desisto e da Gruta Pequena II

Cavernas	Leste (metros)	Norte (metros)	Altitude (metros)	Projeção Horizontal (metros)	Classificação
Gruta Pequena II	638566	7808289	1.412	4	Caverna sem feições cársticas
Gruta do Desisto	638588	7808289	1.415	2	Caverna sem feições cársticas

A Gruta do Desisto e a Gruta Pequena II são, respectivamente, a primeira e a segunda cavidade no sentido E-W que se insere na borda da unidade Platô Inferior (Figura 5.12). As duas cavidades apresentam apenas uma entrada de formato irregular e de difícil acesso (a altura da entrada das duas cavidades é em torno de 70 cm (Figura 5.13)).

No interior das duas cavidades constatou-se que as mesmas foram formadas inteiramente na canga detrítica. Quanto aos depósitos clásticos, foi observado que as duas cavidades não possuem sedimentos finos, entretanto possuem matacões. Estes matacões de

canga indicam que a gênese destas cavidades está atrelada ao colapso da canga, que gerou o vazio no interior das mesmas.



**Figura 5.13:** Entrada da Gruta do desisto, caracterizada por ser de difícil acesso.

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira

### 5.3.3 Gruta do Chuveirinho

**Tabela 5.8:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Chuveirinho

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638588E/ 7808289N	1.415 metros	70 metros	Caverna com feições cársticas

A cavidade foi denominada “Chuveirinho”, por apresentar gotejamento intenso durante o período chuvoso. A Gruta do Chuveirinho é a terceira cavidade, no sentido W-E, que se insere na borda do Platô Inferior (Figuras 5.12 e 5.14-A). A caverna apresenta somente uma entrada de formato irregular. Na sua entrada é possível observar matações de canga detrítica e árvores que dificultam a entrada do homem na cavidade (Figura 5.14-A).

Para facilitar a descrição dos aspectos físicos desta cavidade, ela foi subdividida em quatro salões: salão do sapo, salão principal, salão da capa e salão do contato (Figura 5.16). De modo geral, os dois primeiros salões foram formados sobre a canga detrítica composta por detritos que variam do tamanho de seixo até matacão, que estão imersos numa matriz

ferruginosa e estão densamente distribuídos (grande número de detritos por área). É possível visualizar o bandamento dos blocos de itabirito que compõem a canga. Já nos dois últimos salões, visualiza-se o contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê (Figura 5.14-B). Em todos os salões foi possível constatar gotejamento durante o período chuvoso, entretanto, no período seco a caverna não apresenta nenhum tipo de ação hidrológica perceptível.

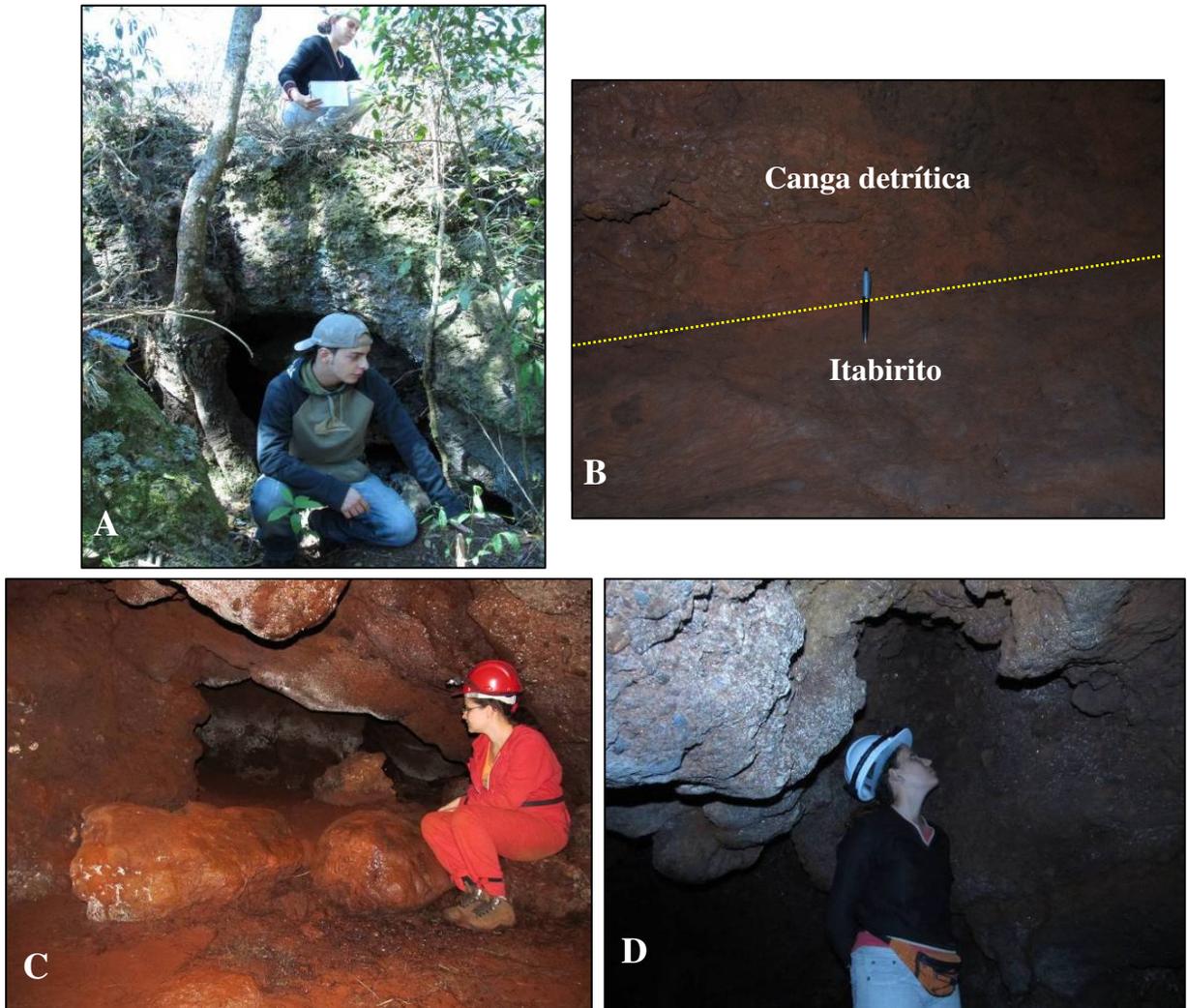
No salão do sapo é possível observar fissuras entre os matacões de itabirito e os demais detritos que compõem a canga. Os condutos que compõem este salão, assim como os demais condutos que compõem a cavidade, apresentam formato irregular (Figura 5.14-C). No chão do salão, predominam sedimentos finos, mas também é marcante a presença de matacões de canga. Ainda neste salão, é possível constatar no teto e nas paredes feições que se assemelham a cúpulas que foram formadas na canga detrítica (Figura 5.14-D). Entretanto, estas feições não possuem um grau de arredondamento para que sejam classificadas como cársticas.

A presença de um canal intermitente (Figura 5.15-A) e de uma pequena bacia que represa a água durante o período chuvoso são as principais características físicas do salão principal (Figura 5.16). Além disso, também foi possível constatar a presença de colunas residuais e cúpulas, estas últimas se assemelham às encontradas no salão do sapo. Quanto aos depósitos clásticos foi observada a presença de sedimentos finos, principalmente, no interior da bacia, além de blocos de canga nas demais partes do salão principal.

No salão da capa, foi possível observar o contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê. Além disso, foi possível evidenciar a principal feição que caracteriza esta cavidade como cárstica, um paleopiso (Figura 5.15-B e Figura 5.16). Neste salão, também constatou-se a presença de uma bacia caracterizada por represar a água que entra na caverna durante o período chuvoso, nela também constatou-se a presença de sedimentos finos. Estes sedimentos podem ser alóctones (provenientes dos canalículos, que podem conectar o ambiente exterior à cavidade) ou autóctones (provenientes da banda silicosa do itabirito) (Figura 5.15-C). Neste salão, assim como no salão principal e no salão do contato é recorrente a presença de colunas e pendentos. Estes últimos podem ter sido originados pelo colapso mecânico e/ou pela dissolução das porções inferiores das antigas colunas (Figura 5.14-D).

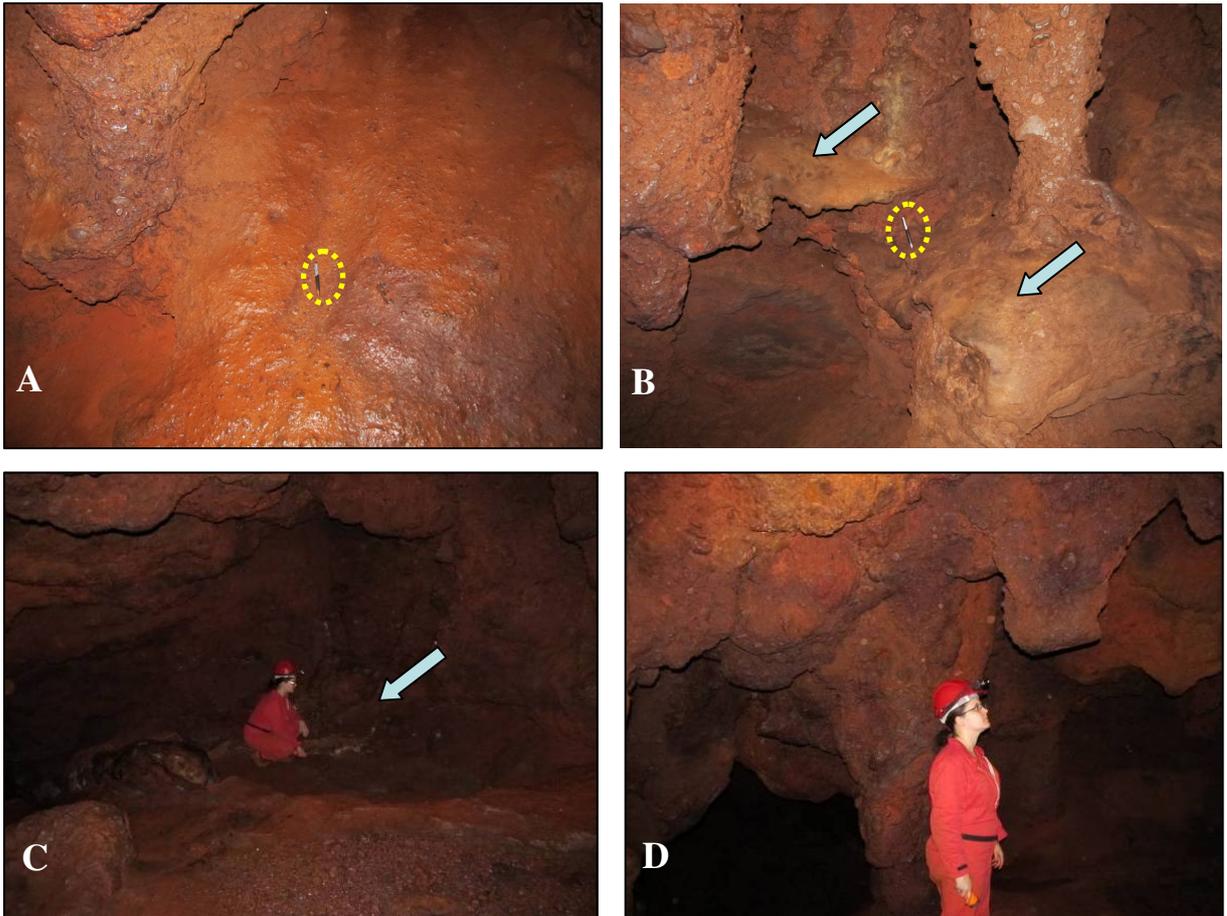
Por fim, o salão do contato, em sua porção final, é caracterizado pelo contato nítido entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê (Figura 5.14-F). Na porção oeste deste salão é possível evidenciar um ressalto, que apresenta gotejamento constante durante o

período chuvoso. Já na porção leste, mais uma vez é verificada uma pequena bacia que aparenta represar a água durante os meses chuvosos.



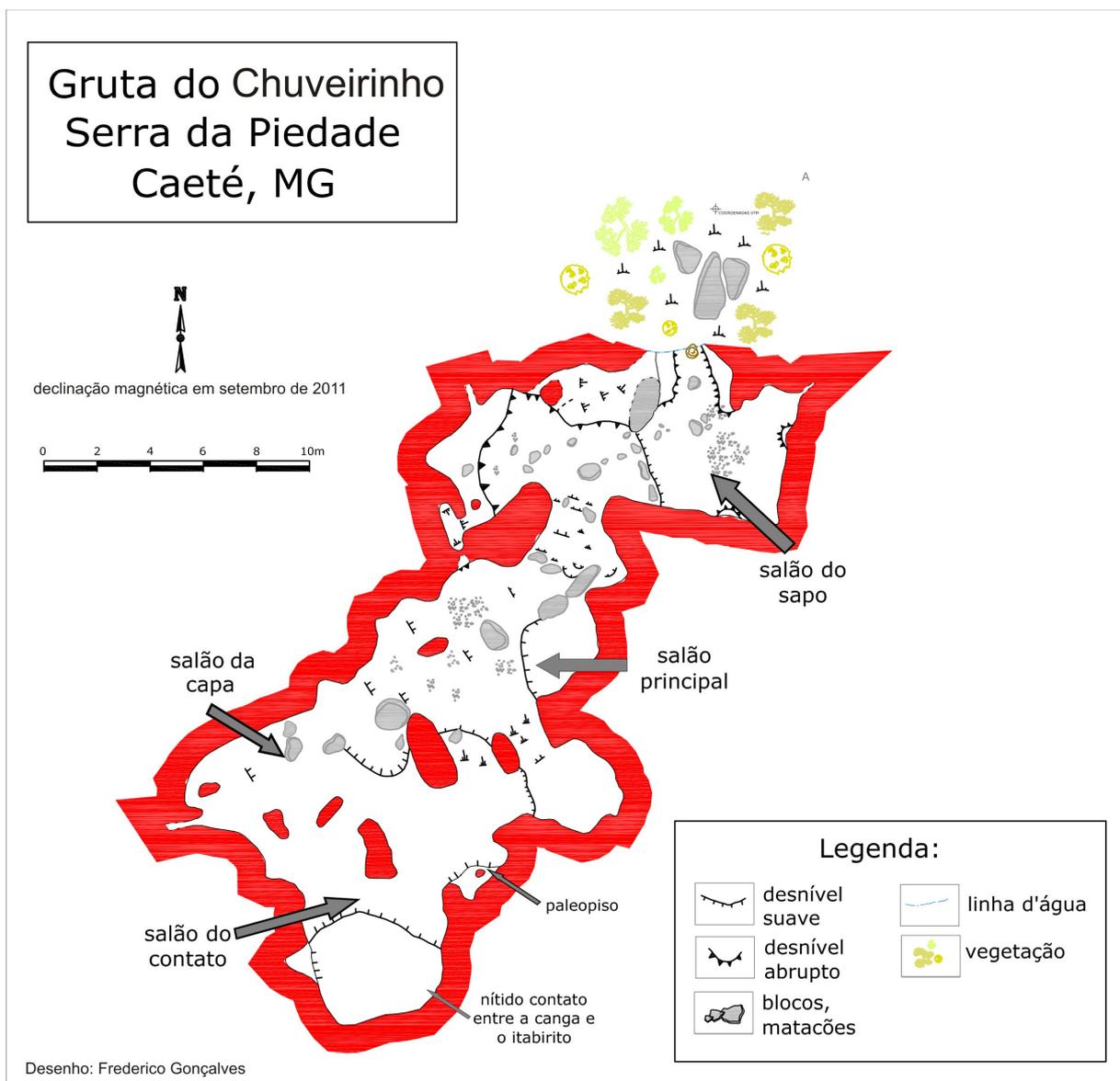
**Figura 5.14:** (A) Entrada da Gruta do Chuveirinho; (B) A linha tracejada amarela indica o contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê, presente no final do salão do contato; (C) Blocos de canga no salão do sapo e conduto irregular que conecta o salão do sapo ao salão principal; e (D) Cúpulas presente no teto do salão do sapo.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira.



**Figura 5.15:** (A) Pequeno canal intermitente presente no salão principal; (B) As setas azuis indicam o resquício de um possível paleopiso presente no salão da capa; (C) Pequena bacia presente no salão da capa, caracterizada por represar a água da chuva, que por sua vez utiliza das discontinuidades presentes entre os detritos da canga para ter acesso ao interior da caverna; e (D) Irregularidades no teto, coluna e pendente de teto presentes no salão do contato.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira



**Figura 5.16:** Planta baixa da Gruta do Chuveirinho

#### 5.3.4 Gruta do Capim

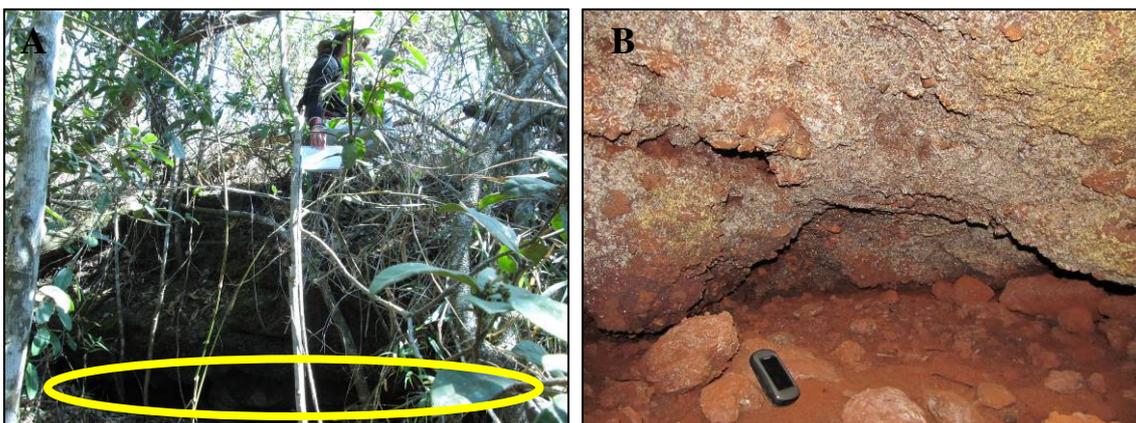
**Tabela 5.9:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Capim

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638357E/ 7808324N	1.404 metros	10 metros	Caverna sem feições cárticas

A Gruta do Capim é a quarta cavidade localizada no sentido E-W da unidade platô inferior (Figura 5.12). A cavidade apresenta apenas uma entrada de formato semi-circular e de

difícil acesso (Figura 5.17-A). A litologia desta cavidade consiste na canga do tipo detrítica composta por fragmentos mal selecionados que variam do tamanho de seixo até bloco. A cavidade não apresenta nenhum tipo de ação hidrológica visível. Quanto aos depósitos químicos e clásticos, foram observados espeleotemas do tipo coralóide no seu interior, além de sedimentos finos e detritos de canga que variam do tamanho de seixo até bloco (Figura 5.17-B).

No interior desta cavidade foi constatada a presença de descontinuidades que podem ter colaborado para sua gênese. Outro aspecto constatado no seu interior foi a presença de reentrâncias nas laterais desta cavidade, que podem ser uma evidência da ação dissolutiva da água (Figura 5.17-B). Apesar dessas evidências, a cavidade não foi classificada como cárstica, pois suas formas não são tão nítidas como as formas encontradas nas demais cavernas que obtiveram tal classificação.



**Figura 5.17:** (A) Entrada da Gruta do capim e (B) Sedimentos finos, grosseiros e reentrâncias estão presentes no interior da Gruta do Capim.

### 5.3.5- Gruta do Meio

**Tabela 5.10:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Meio

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638254E/ 7808279N	1.409 metros	6 metros	Caverna sem feições cársticas

A Gruta do Meio é a quinta cavidade localizada no sentido E-W da unidade platô inferior (Figura 5.12). A cavidade apresenta apenas uma entrada de formato irregular. A litologia desta cavidade consiste na canga do tipo detrítica composta por fragmentos

densamente distribuídos (grande quantidade de detritos por área). No seu interior foi possível constatar sedimentos finos e grosseiros. A cavidade não possui nenhum tipo de ação hidrológica perceptível.

### 5.3.6 Gruta do Bloco Abatido

**Tabela 5.11:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Bloco Abatido

<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Altitude</b>	<b>Projeção Horizontal</b>	<b>Classificação</b>
638203E/ 7808220N	1400 metros	10 metros	Caverna sem feições cársticas

A Gruta do Bloco abatido é a sexta cavidade localizada no sentido E-W da unidade platô inferior (Figura 5.12). A cavidade apresenta apenas uma entrada de formato irregular (Figura 5.18). A litologia desta cavidade consiste na canga do tipo detrítica composta por fragmentos bem compactados que variam do tamanho de seixo até bloco. Entretanto, esta cavidade apresenta um canalículo totalmente desenvolvido no itabirito. A cavidade não apresenta nenhum tipo de ação hidrológica visível.

Quanto aos depósitos químicos e clásticos, foram observados espeleotemas do tipo coralóide, além de sedimentos finos e detritos de canga que variam do tamanho de seixo até matacão (Figura 5.18). A cavidade recebeu tal denominação, pois é caracterizada pela presença de um matacão de dimensões significativas no seu interior.



**Figura 5.18:** Entrada da Gruta do Bloco Abatido.

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira

### 5.3.7 Gruta do Triângulo

**Tabela 5.12:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Triângulo

<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Altitude</b>	<b>Projeção Horizontal</b>	<b>Classificação</b>
638188E/ 7808204N	1.388 metros	102 metros	Caverna com feições cársticas

A Gruta do Triângulo é a sétima e última cavidade localizada no sentido E-W da unidade platô inferior (Figura 5.12). A cavidade recebeu tal denominação devido a um triângulo desenhado no matacão presente na entrada da Gruta (Figura 5.20). Este símbolo pode estar relacionado a algum tipo de ritual religioso. Outro fato de destaque é a presença de um caco de cerâmica presente na entrada da cavidade (Figura 5.18).

A cavidade apresenta apenas uma entrada de formato irregular e condutos que apresentam formatos irregulares, semi-circular e semi-oval. De modo geral, a litologia que predomina nesta cavidade é a canga do tipo detrítica composta por fragmentos densamente distribuídos (grande número de detritos por área) que variam do tamanho de seixo até calhau.

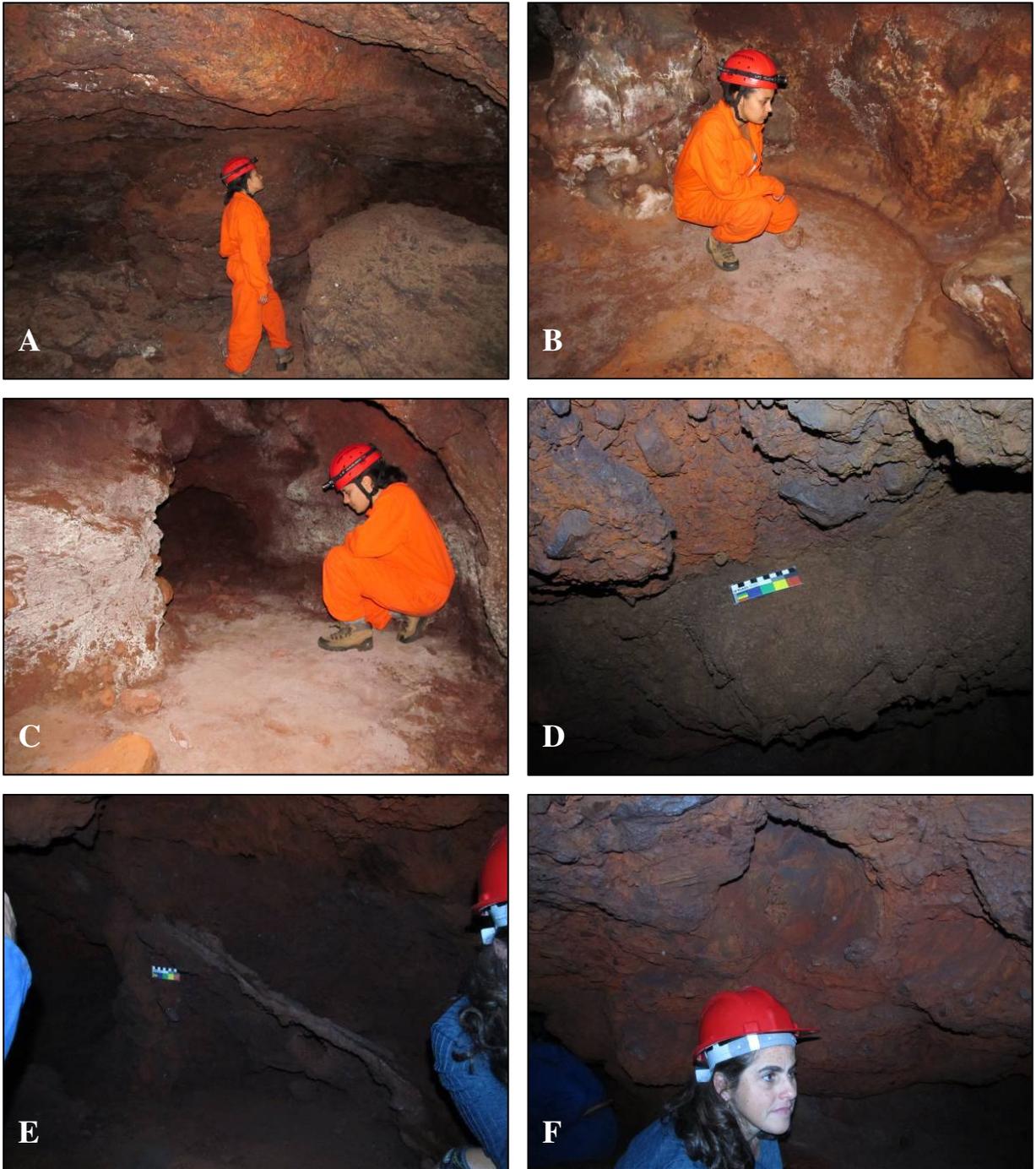
Além disso, em alguns salões é possível notar a presença do itabirito. Quanto aos aspectos hidrológicos, foram constatados a presença de gotejamentos durante o período chuvoso, canais de drenagem intermitente e condensação.

Para melhor descrevê-la, a Gruta do Triângulo foi subdividida em sete partes: salão dos matacões, salão da bacia, salão dos canalículos, setor oeste, setor leste, salão do paleopiso e salão final. (Figura 5.20). O salão dos matacões é caracterizado pela presença de matacões e blocos (Figura 5.19-A). A litologia destes depósitos é a canga detrítica. Entretanto, na porção inferior de alguns matacões de canga é possível visualizar o bandamento do itabirito, o que pode indicar um possível contato entre estas duas litologias. Já o salão da bacia é caracterizado pela presença de feições arredondadas. Dentre estas feições destaca-se uma pequena bacia, que aparenta represar a água durante o período chuvoso (Figura 5.19-B e Figura 5.20). Nesta bacia verifica-se a presença de sedimentos, que podem ter sido carregados pelo canal de drenagem intermitente que se origina no salão dos canalículos (Figura 5.20). O salão da bacia é ainda caracterizado pela presença de reentrâncias nas paredes e por uma feição que pode representar o estágio inicial de um paleopiso.

O terceiro salão, denominado salão dos canalículos, é caracterizado pela presença de pequenos canais que fazem conexão com o ambiente exterior à cavidade (Figura 5.20). Logo, os sedimentos finos presentes neste salão e nos demais salões à jusante podem ter origem alóctone, assim como podem ter sido transportados pelo canal de drenagem presente neste salão (Figura 5.19-C e Figura 5.20).

Nos setores leste e oeste predominam sedimentos finos e ainda é possível constatar canais de drenagem intermitente. No final do setor oeste é possível constatar a presença do itabirito no teto, este itabirito aparenta estar *in situ*. Já no setor leste foi encontrada uma porção de sedimentos presos ao teto desta cavidade (Figura 5.19-D). Este fato pode ser interpretado como indício de que a mesma estava entupida por estes sedimentos, ou seja, sofreu processos de carstificação. Já o salão do paleopiso, apresenta a principal feição que caracteriza a Gruta do Triângulo como cárstica: um paleopiso (Figura 5.19-E).

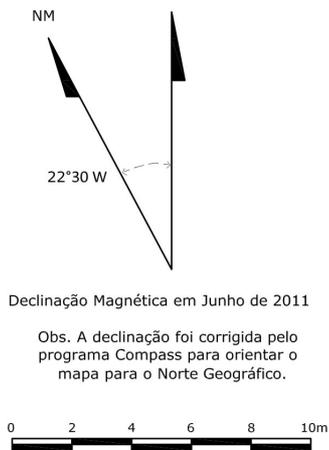
Por fim, no salão final nota-se que pela primeira vez o itabirito é predominante em relação à ocorrência da canga. Este salão é caracterizado pela presença de blocos e matacões cobertos por uma capa. Aparentemente, a capa que envolve estes sedimentos possui a mesma composição mineral da capa que está sobre o paleopiso. Neste salão também foi possível notar concavidades no teto, que foram formadas sobre o itabirito (Figura 5.19-F).



**Figura 5.19:** (A) Matacões presentes no salão dos matacões; (B) Pequena bacia presente no salão da bacia, que possui sedimentos finos carreados pelas águas temporárias dos canais de drenagem; (C) Sedimentos finos que podem ser alóctones, provenientes dos canalículos e carreados pelos canais de drenagem intermitentes; (D) Sedimentos no teto da Gruta do Triângulo, feição que pode evidenciar que a mesma estava preenchida; logo infere-se que a mesma sofreu paragênese; (E) Paleopiso, principal feição que caracteriza a Gruta do Triângulo como cárstica; (F) Concavidade no teto desenvolvida sobre o itabirito.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira

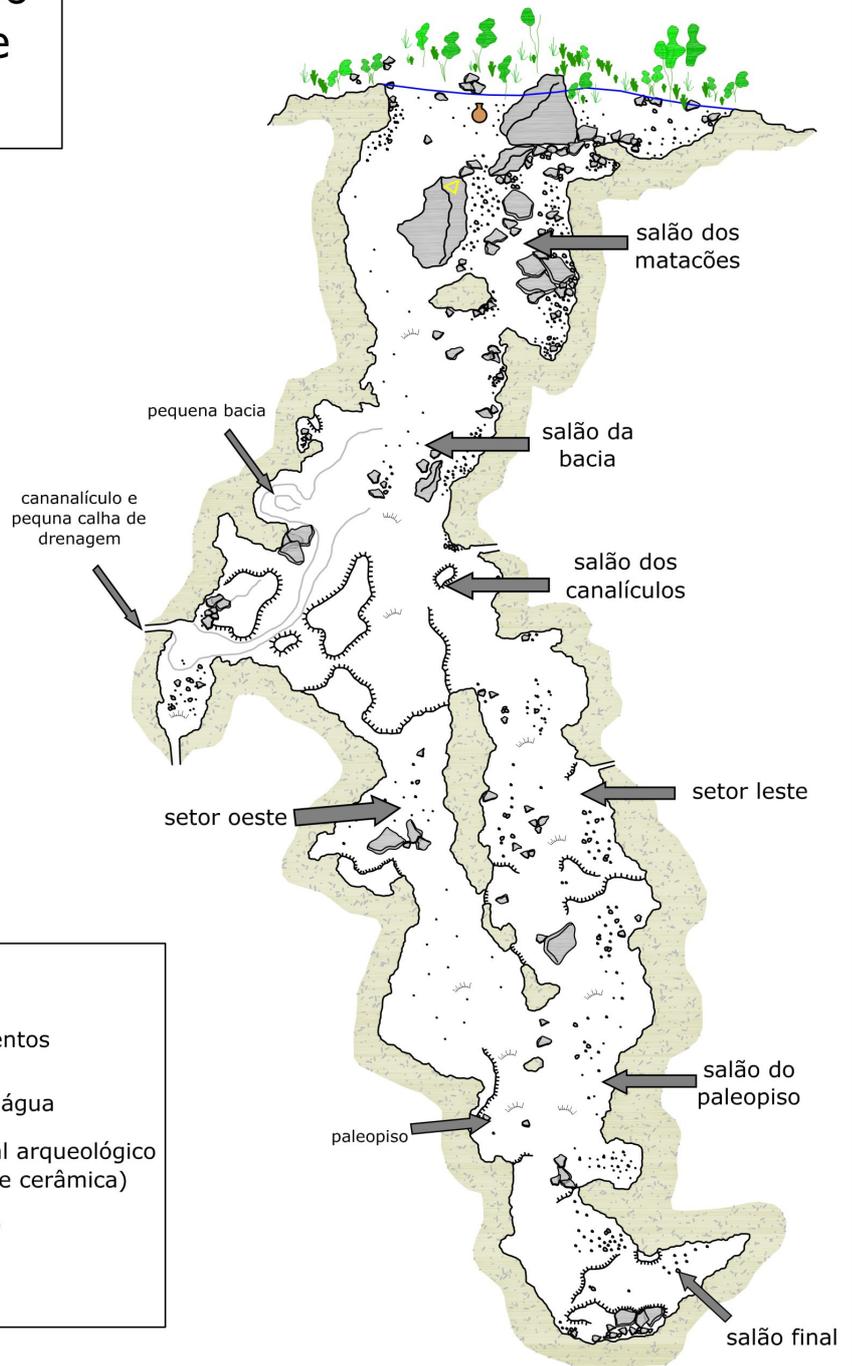
# Gruta do Triângulo Serra da Piedade Caeté, MG



**Legenda:**

	desnível suave		Sedimentos
	desnível abrupto		linha d'água
	blocos, matacões		material arqueológico (caco de cerâmica)
	seixos		pixação
	vegetação		

Desenho: Rafael Camargo

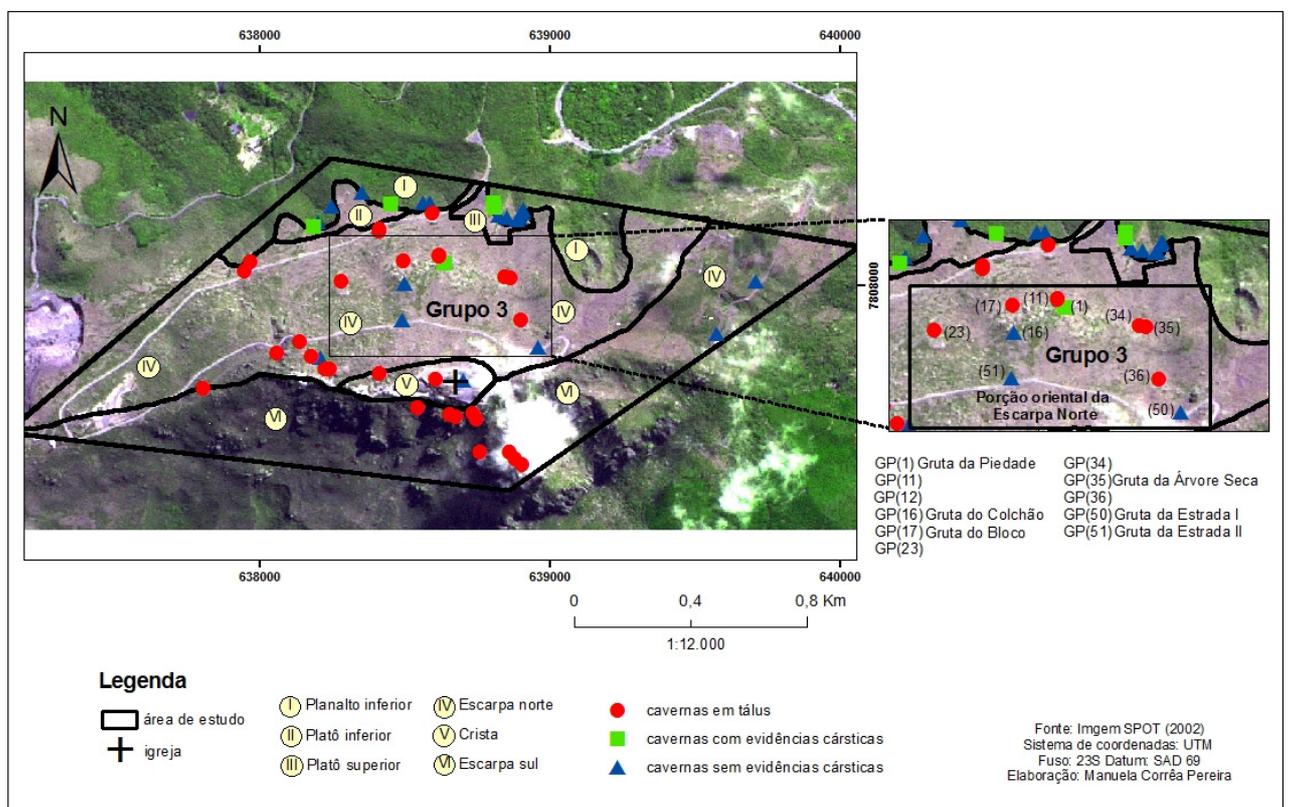


**Figura 5.20:** Planta baixa da Gruta do Triângulo.

## 5.4 Grupo 3: cavidades da porção superior da unidade Escarpa Norte

O Grupo 3 é composto por onze cavidades que estão situadas na porção superior da unidade de relevo denominada Escarpa Norte. Nesta porção foram encontradas: uma cavidade

classificada como caverna com evidências cársticas, três cavidades classificadas como cavernas sem evidências cársticas e sete cavidades classificadas como cavidades em tálus (Figura 5.21). Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade (LOBATO et al., 2005), as cavidades deste grupo estão situadas na canga. Entretanto, em campo constatou-se que as cavidades em tálus são formadas por matacões e blocos de itabirito; as cavidades sem evidências cársticas são formadas, majoritariamente na canga, mas apresentam pequenas porções de desenvolvimento no itabirito; e a caverna com feições cársticas é formada tanto na canga e no itabirito, como por matacões desta última litologia.



**Figura 5.21:** Localização das cavernas na porção superior da unidade de relevo Escarpa Norte.

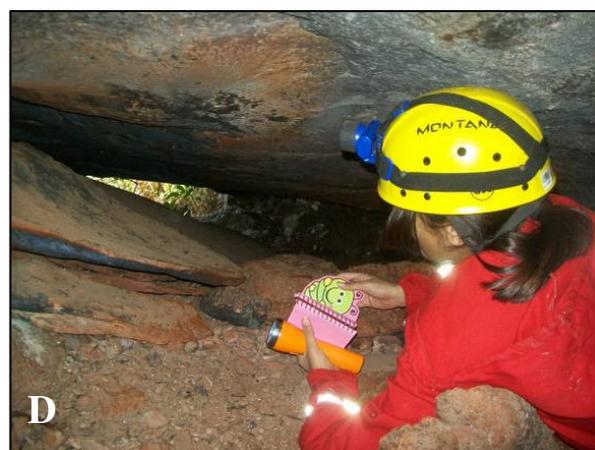
#### 5.4.1 Cavernas em tálus do Grupo 3

As cavernas em tálus do Grupo 3 são formadas, majoritariamente, pela queda de matacões de itabirito. Dentre estas cavidades, destaca-se a GP (11), que além de ser formada por matacões de itabirito, possui setores que são compostos por matacões de canga (Figura 5.22-A). Ainda nesta cavidade observa-se a presença de espeleotemas do tipo coralóides, formados abaixo do matacão de itabirito (Figura 5.22-B); depósitos clásticos de itabirito e

depósitos clásticos de canga (Figura 5.22-C) e processos de deslocamento do itabirito (Figura 5.22-D).

**Tabela 5.13:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das cavernas em tálus do Grupo 3.

<b>Cavernas do Grupo 3</b>	<b>Leste (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Projeção Horizontal (m)</b>	<b>Classificação</b>
GP(11)	638623	7808102	1493	14	Caverna em tálus
GP(12)	638623	7808106	1502	6	Caverna em tálus
GP(17) (Gruta do Bloco)	638499	7808086	1517	6	Caverna em tálus
GP(23)	638284	7808015	1529	12	Caverna em tálus
GP(34)	638849	7808030	1523	5	Caverna em tálus
GP(35) (Gruta da Árvore Seca)	638869	7808027	1526	8	Caverna em tálus
GP(36)	638903	7807880	1572	5	Caverna em tálus



**Figura 5.22:** (A) Porção da cavidade GP(11) que é formada por um matacão de canga; (B) Espeleotemas formados no teto de itabirito da caverna GP(11); (C) Sedimentos grosseiros de canga e itabirito presentes no chão da caverna GP(11); e (D) Processo de deslocamento do itabirito, que foi favorecido pelo seu bandamento desta litologia. **Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Leilane Sobrinho.

#### 5.4.2 Gruta da Piedade

**Tabela 5.14:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Piedade

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638643E/ 7808078N	1.500 metros	365 metros	Caverna com feições cársticas e em tálus

A cavidade foi denominada “Gruta da Piedade” por ser a Gruta de maior projeção horizontal encontrada na área de estudo, logo a cavidade recebeu a mesma denominação da Serra que abriga o Santuário Nossa Senhora da Piedade.

A Gruta da Piedade insere-se na porção superior da unidade Escarpa Norte (Figura 5.20). Esta cavidade destaca-se, pois além de apresentar uma considerável projeção horizontal (Tabela 5.14), também apresenta um expressivo desnível de 39 metros. Devido a este acentuado desnível a Gruta da Piedade foi subdividida em cinco níveis altimétricos: nível -1, nível 0, nível +1, nível +2 e nível +3 (Figura 5.23). Mais um dado que retrata a complexidade da Gruta da Piedade são as 15 entradas identificadas ao longo do mapeamento topográfico (Figura 5.23).

Para realizar a caracterização desta cavidade, buscou-se descrever os principais aspectos, processos e feições identificados ao longo da etapa de campo. Logo, os níveis que compõem esta cavidade foram subdivididos em salões e condutos. Foram descritos somente os salões e condutos que apresentavam feições e processos representativos e/ou relevantes para o tema desta dissertação.

O nível -1 é composto pelo salão arredondado, salão da placa, salão do rizotema, salão das saídas 4 e 5, salão dos blocos abatidos e conduto calibrado (este conduto foi representado na porção superior do mapa, como demonstra a linha tracejada em azul e o quadro de mesma cor, Figura 5.23).

O salão arredondado, diferente dos demais salões e condutos localizados neste nível, é caracterizado pela presença de sedimentos finos no chão, além disso, observa-se o contato entre o itabirito e canga detritica (Figura 5.24-A). Neste salão também foi possível constatar feições de formato alveolar, que aparentam ter sua gênese associada a processos de dissolução (Figura 5.24-B).

O salão da placa está localizado a oeste do salão arredondado (Figura 5.23). Este salão aparenta ter sua gênese associada ao deslocamento do itabirito, pois no chão é possível

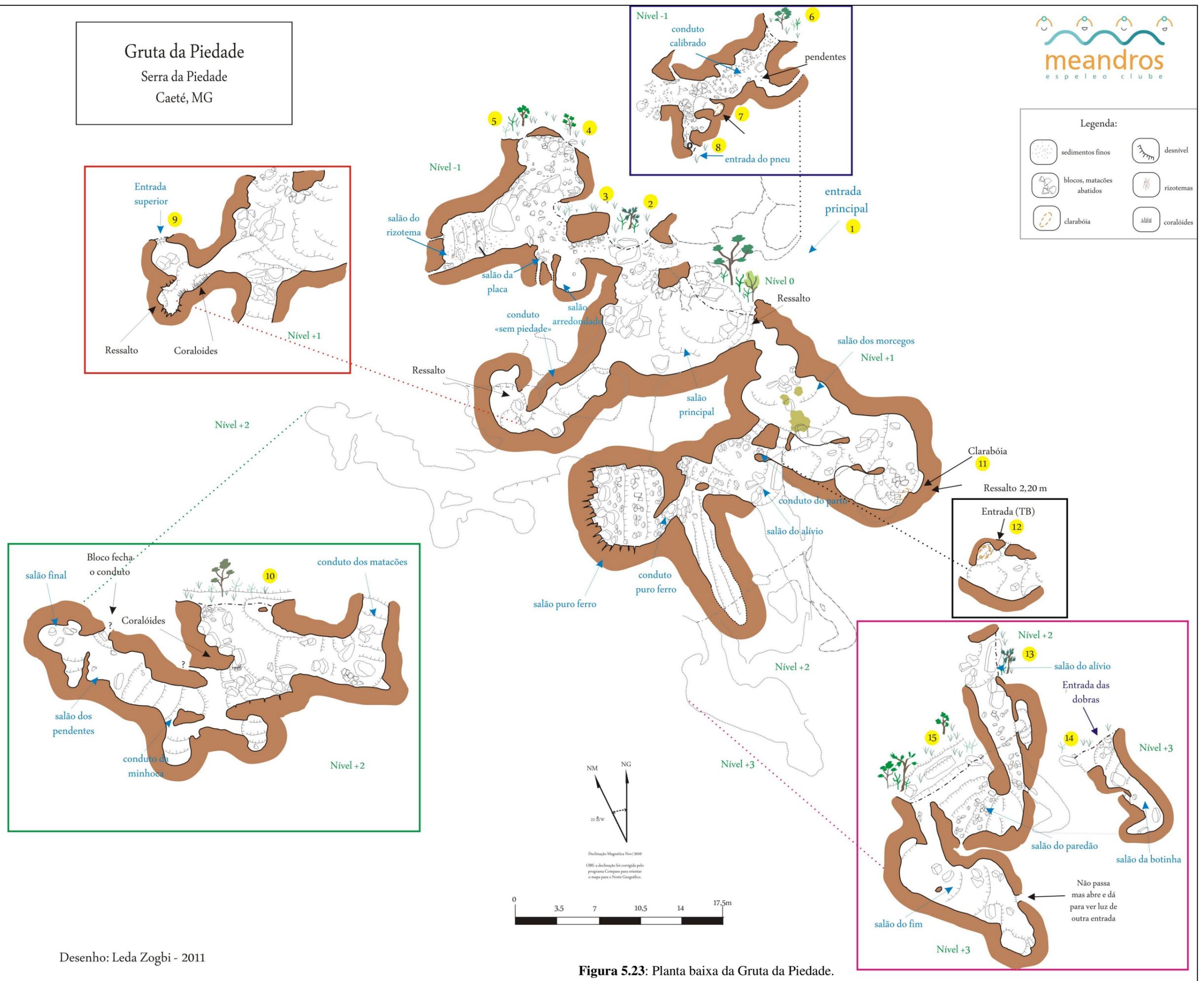
constatar a presença de placas desta litologia. No chão deste salão também é possível observar o predomínio de depósitos do tamanho de bloco a matacão.

A oeste e a norte do salão das placas, estão localizados, respectivamente, o salão do rizotema e o salão das saídas 4 e 5. Estes salões são caracterizados por ter uma declividade acentuada e pela presença de depósitos grosseiros, onde predominam o tamanho de bloco e matacão.

Por fim, o Conduto Calibrado possui um formato tubular, que aparenta ter sido formado por processos de *piping* (este conduto foi representado pela linha tracejada azul e pelo quadro de mesma cor, na Figura 5.23 e Figura 5.24-D). Este conduto pode ter sido fruto de processos de carstificação. Nele é possível evidenciar a presença de depósitos grosseiros de canga, principalmente, do tamanho de matacões. Além disso, a principal feição cárstica encontrada neste conduto são pendentes (Figura 5.23 e Figura 5.24-C).

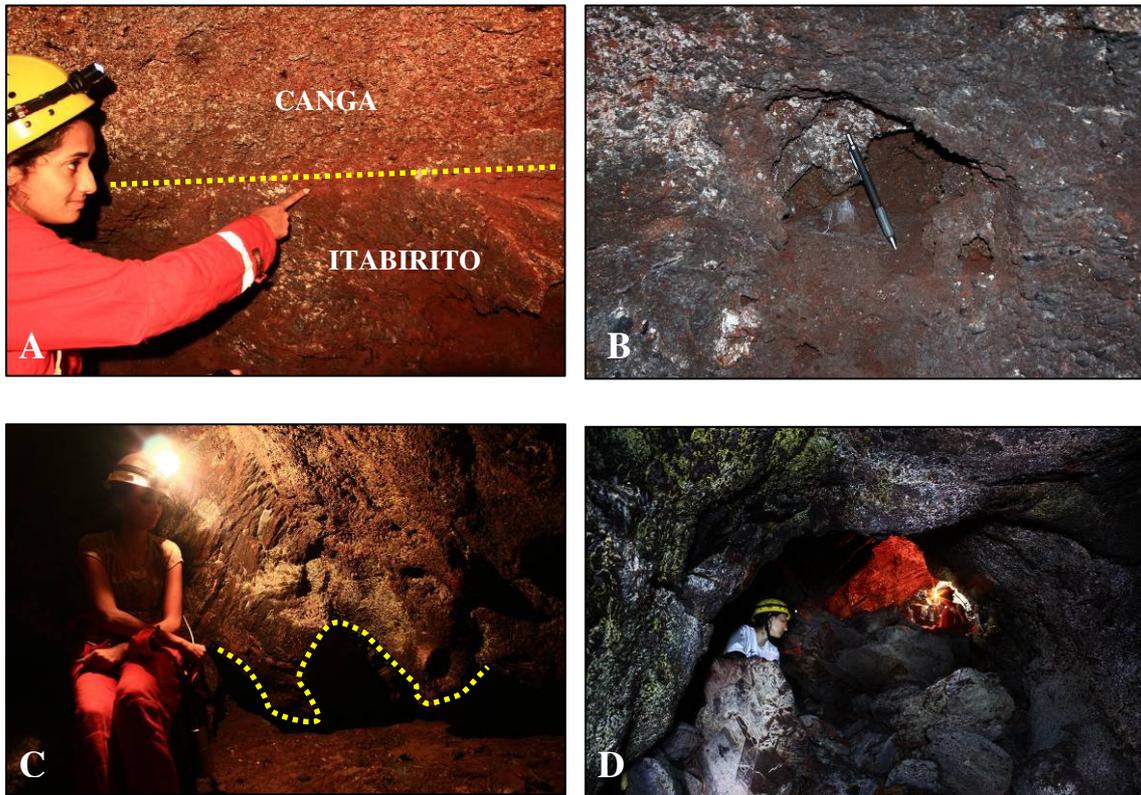
Gruta da Piedade  
Serra da Piedade  
Caeté, MG

Legenda:

Desenho: Leda Zogbi - 2011

Figura 5.23: Planta baixa da Gruta da Piedade.



**Figura 5.24:** (A) Contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê no Salão Arredondado; (B) Feição alveolar localizada no Salão Arredondado; (C) Pendentes localizados no final do Conduto Calibrado; e (D) Conduto Calibrado, onde é possível constatar o formato tubular e a presença de blocos de canga.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Thomas Corrêa.

O nível 0 da Gruta Piedade consiste no patamar, onde encontra-se a entrada principal da Gruta (Figura 5.23). Diferente das demais cavidades levantadas na área de estudo, a entrada da Gruta da Piedade é caracterizada por ser ampla, semelhante ao tamanho das entradas das cavidades em calcário (Figura 5.25-A). No salão subsequente à entrada principal, observam-se feições de formato alveolar nas paredes deste salão.

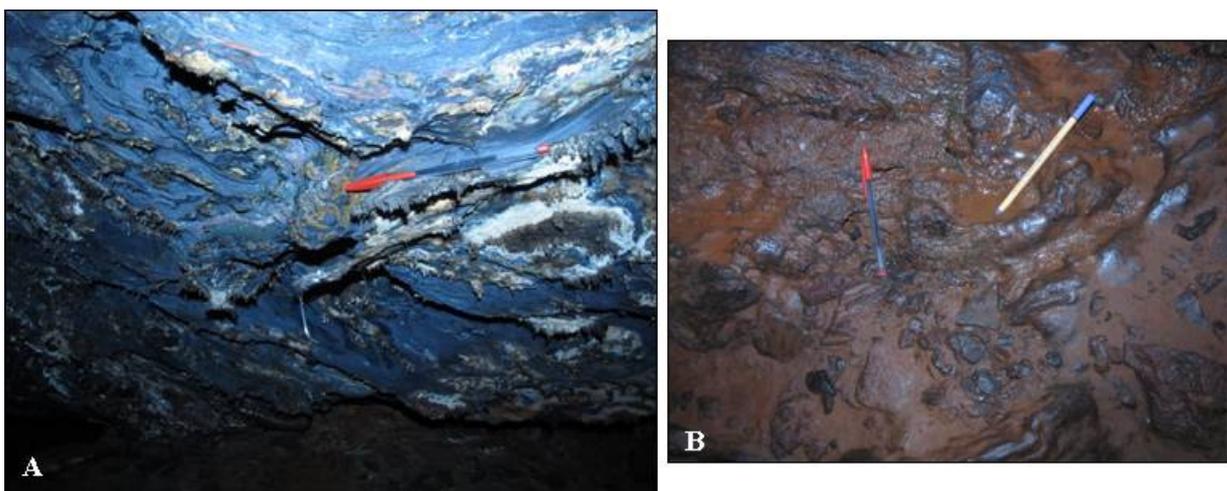
Na porção sudoeste do salão principal, encontra-se uma pequena entrada que dá acesso ao conduto denominado “sem piedade” (Figura 5.23 e Figura 5.25-C). Este conduto conecta o salão principal, localizado no Nível 0 aos salões e condutos do Nível +1 (este nível está representado pela linha tracejada vermelha e pelo quadro de mesma cor na Figura 5.23). Este conduto possui formato tubular e foi desenvolvido no contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê (Figura 5.25-F). Assim como o conduto calibrado, este conduto também possui evidências que pode caracterizá-lo como cárstico. Além do formato tubular, ele também possui pendentes de teto (Figura 5.25-E). No teto deste conduto, é possível constatar feições arredondadas que se assemelham a cúpulas (Figura 5.25-D).



**Figura 5.25:** (A) Entrada principal da Gruta da Piedade, localizada no Nível 0; (B) Queda d'água intermitente presente no salão principal da Gruta da Piedade; (C) Entrada do conduto “sem piedade”, que conecta o salão principal, situado no Nível 0, aos demais salões do Nível +1; (D) Feição que se assemelha à uma cúpula presente no teto do conduto “sem piedade”, no interior desta feição é possível notar um buraco arredondado que dá acessos aos salões do Nível +1; (E) Feições que aparentam ser pendentes de teto no conduto “sem piedade”; e (F) Contato evidente entre a canga e o itabirito no conduto “sem piedade”.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira, Leda Zogbi e Roberto Cassimiro.

Os salões que compõem o Nível +1, representados no quadrado vermelho da Figura 5.23, têm sua gênese associada à sobreposição de matacões de itabirito, ou seja, estes salões não foram formados *in situ*. As feições em destaque nesta porção da cavidade são os espeleotemas e as pequenas bacias de dissolução. Os espeleotemas encontrados são do tipo coralóide (Figura 5.23 e Figura 5.26-A) e foram formados sob os matacões de itabirito, que compõem os tetos e as paredes dos salões representados neste quadro. Geralmente este tipo de espeleotema é encontrado próximo às entradas que permita a circulação de ar. No caso deste salão os coralóides encontram-se próximos à entrada número 9 (Figura 5.23). Já as pequenas bacias são formadas sobre os blocos de itabirito, presentes no chão desta parte da cavidade (Figura 5.26-B). A gênese destas bacias pode estar associada a processos de dissolução, sendo que o principal agente, a água, provém dos vazios presentes entre os matacões de itabirito que formaram este setor.



**Figura 5.26:** (A) Espeleotemas do tipo coralóide formados no itabirito dobrado (B) Pequenas bacias perenes que aparentam terem sido formadas por processos de dissolução.

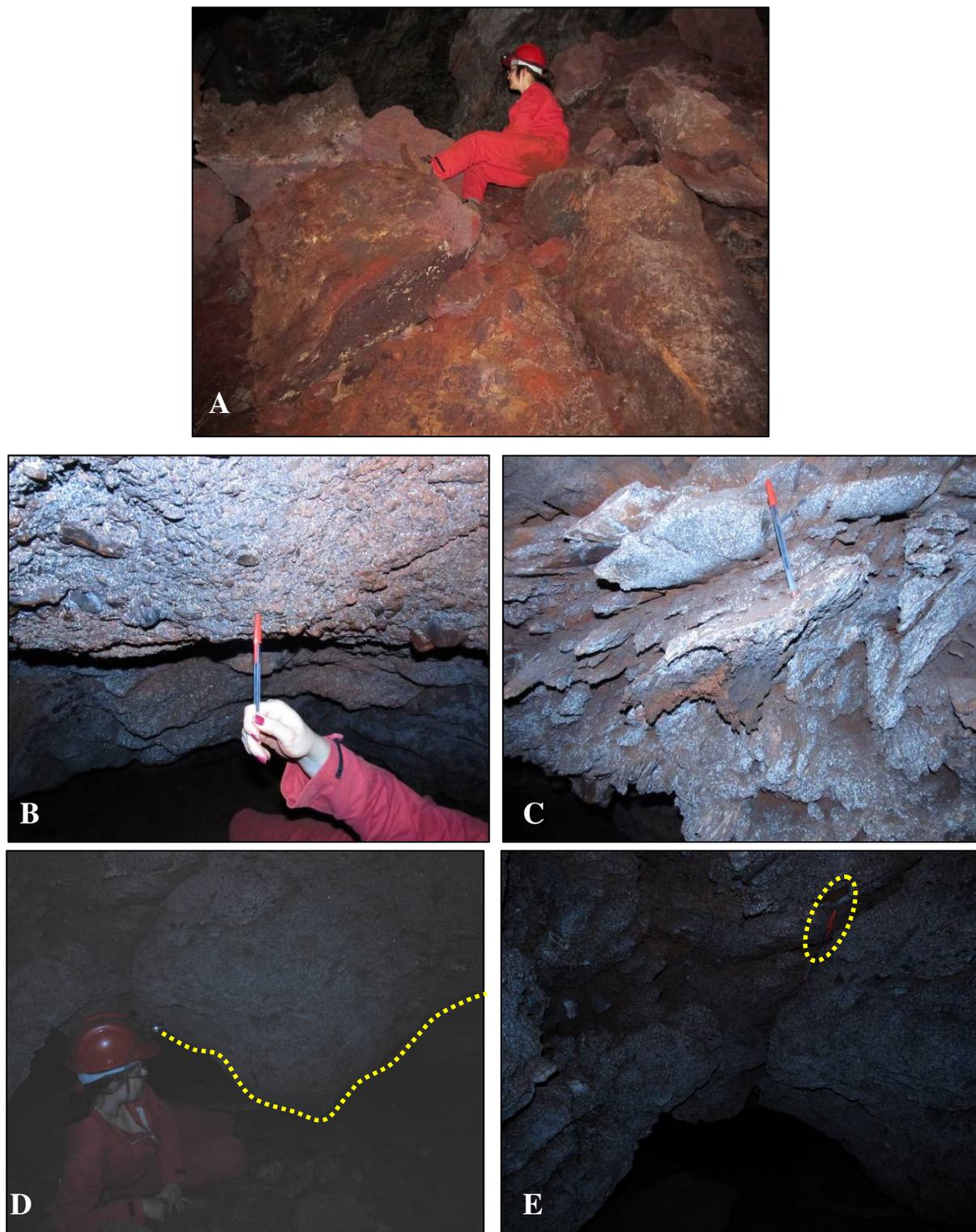
**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira

O conduto dos matacões conecta os salões do Nível +1 (representados na Figura 5.23 no quadrante vermelho) aos salões e condutos do Nível +2 (representados na Figura 5.23 no quadrante verde). Este conduto foi formado, predominante, no itabirito sendo possível observar matacões de consideráveis dimensões desta mesma litologia (Figura 5.27-A). Além disso, este conduto possui dimensões significativas e uma acentuada declividade.

O conduto dos Matacões finaliza em um salão amplo com a presença de blocos e sedimentos finos, além da entrada representada no mapa pelo número 10 (este salão e sua respectiva entrada estão representados na Figura 5.23 no quadrante verde). Neste salão é possível localizar um pequeno conduto que dá acesso aos de mais salões e condutos do Nível

+2. Nesta dissertação são descritos o conduto da minhoca e os salões do pendente e final, por apresentarem feições interessantes e representativas para este setor da caverna. O conduto da minhoca foi formado na canga detrítica, caracterizada por apresentar um grande número de detritos por área (Figura 5.27-B). No final deste conduto é possível notar a presença do itabirito descaracterizado, já que o mesmo apresenta somente a banda de hematita (Figura 5.27-C). Desse modo, infere-se que a banda silicosa foi lixiviada, fato indicativo de processos de dissolução. Vale ressaltar que no chão deste conduto é possível constatar a predominância de sedimentos finos e espeleotemas formados sob o itabirito.

O salão do pendente foi formado na canga detrítica que apresenta detritos que variam do tamanho de seixo até bloco. No chão deste salão predominam-se sedimentos finos, entretanto, é possível notar a presença de depósitos grosseiros do tamanho de seixo a bloco. Este salão recebeu tal denominação por apresentar um pendente (Figura 5.27-D), que está ao lado de um conduto de formato semi-circular com a presença de uma fissura (Figura 5.27-E). Por fim, o salão final apresenta a mesma litologia do salão do pendente. Entretanto, no final deste salão, é possível constatar a presença de itabirito, que aparenta estar sofrendo processos de deslocamento. Este salão também apresenta gotejamento.



**Figura 5.27:** (A) Conduto dos Matacões, caracterizados por apresentar matacões de significativas dimensões. (B) Pendente presente no salão do Pendente; (C) Fissura presente no conduto que dá acesso ao Salão do Pendente; (D) Canga caracterizada por apresentar uma alta densidade de detritos; (E) Itabirito descaracterizado e friável, já que não apresenta a banda silicosa que faz parte de sua composição original.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira.

Ao retornar à entrada principal da cavidade, que no mapa está representada pelo número 1, nota-se um ressalto na porção sudeste desta entrada que dá acesso aos condutos e salões desta porção (Figura 5.23). Após ultrapassar este ressalto, observa-se um conduto semi-circular (Figura 5.28-A) com reentrâncias que formam pequenos salões arredondados. Este conduto foi formado, predominantemente, na canga detrítica. Entretanto, em alguns destes pequenos salões laterais, nota-se a presença do itabirito. O final deste conduto dá acesso a um salão amplo que foi denominado salão dos morcegos, devido ao grande número destes animais que ocupam este salão (Figura 5.23). Neste salão foi possível observar tanto a presença da canga detrítica como a do itabirito. A matriz que envolve os detritos da canga varia da coloração esbranquiçada a avermelhada, já a granulometria destes detritos variam do tamanho seixo a bloco.

Quanto aos aspectos hidrológicos, observaram-se canais de drenagem intermitente (Figura 5.28-B) e gotejamento durante o período chuvoso. Já no que se refere aos depósitos clásticos, observaram-se tanto sedimentos finos, como sedimentos grosseiros, que variam do tamanho de seixo até matacão. Já quanto aos depósitos químicos, observaram espeleotemas do tipo coralóide.

Ao longo do salão dos Morcegos foram observadas concavidades no teto, mas não foi possível afirmar se as mesmas sofreram processos de dissolução. Além disso, observou-se que os dois primeiros condutos da porção oeste deste salão, tiveram sua gênese associada aos planos de acamamento do itabirito (Figura 5.28-C).



**Figura 5.28:** (A) Conduto de formato semi-circular que conecta o Salão Principal ao Salão dos Morcegos; (B) Canal de drenagem intermitente presente no Salão dos Morcegos; (C) Conduto que possui sua gênese associada aos planos de acamamento do itabirito.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira.

O conduto do perigo está localizado próximo aos condutos condicionados pelos planos de acamamento do itabirito (Figura 5.23). Neste conduto, observam-se feições côncavas no teto que se assemelham a domos. Entretanto, por ter um caráter irregular estas feições não receberam tal denominação (Figura 5.29-A). Este conduto possui o formato semi-oval e foi desenvolvido na canga detrítica, que está bastante intemperizada (Figura 5.29-B).

Já o conduto do parto dá acesso ao salão do alívio, onde está presente a entrada de número 13, localizada no Nível +2 (este salão está representado pela linha tracejada rosa e pelo quadro de mesma cor na Figura 5.23). O salão do alívio parece ter sua gênese associada à sobreposição de matacões de itabirito, no chão predominam depósitos grosseiros que variam do tamanho seixo até matacão. Na entrada 13, observa-se a presença de alvéolos desenvolvidos no itabirito (Figura 5.29-C).

O conduto puro ferro dá acesso ao salão homônimo. Este salão aparenta ter sido formado por um grande matacão de itabirito, ou seja, teve a sua gênese associada a processos de coluvionamento (Figura 5.29-D). Os depósitos clásticos deste salão são,

predominantemente, do tamanho de matacão. Estes depósitos aparentam terem sido originados do próprio deslocamento do matacão de itabirito que formou este salão. Neste salão também foram observados depósitos químicos do tipo coralóides.



**Figura 5.29:** (A) Côncavidade presente no teto do conduto do perigo; (B) Conduto semi-oval, caracterizado por possuir uma litologia bastante intemperizada; (C) Alvéolos presentes na Entrada 13 do Salão do Alívio; (D) Salão Puro Ferro, aparenta ter sido formado por um matacão de itabirito.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Joseane Biazini.

A sul da entrada 13 há condutos que darão acesso ao salão da botinha, que está localizado num patamar mais elevado, o Nível +3 (este salão está representado pela linha tracejada rosa e pelo quadro de mesma cor na Figura 5.23). O salão da botinha aparenta ter sua gênese associada à sobreposição de matações de itabirito. No final deste salão observa-se a presença da entrada de número 14 (Figura 5.23). Outra feição de destaque são formas alveolares presentes nas paredes deste salão (Figura 5.30-A)

O salão do paredão também aparenta ter sua gênese associada a processos de coluvionamento do itabirito. No final deste salão avista-se um paredão íngreme que dará acesso à entrada 15 (ver quadro rosa da Figura 5.23 e Figura 5.30-B). No chão deste salão

observa-se o predomínio de depósitos grosseiros de itabirito do tamanho de seixos à matacão. Estes sedimentos possuem origem tanto autóctone, proveniente do próprio deslocamento do talus de itabirito que formou o salão, como alóctone, proveniente dos detritos dos afloramentos de itabirito localizados à montante da entrada 15. No teto, observam-se depósitos químicos do tipo coralóides.

O salão do fim está localizado a sudeste da entrada 15 (ver quadro rosa da Figura 5.23). Nele predominam depósitos finos. Estes sedimentos podem ter sido originados da banda silicosa do itabirito (Figura 5.30-C). Este salão tem como substrato tanto o itabirito, como a canga detrítica. Os condutos são irregulares (Figura 5.30-D), há gotejamento durante o período chuvoso e concavidades no teto que se assemelham a domos.



**Figura 5.30:** (A) Forma alveolar localizada na parede do Salão da Botinha; (B) Teto do Salão do Paredão, que aparenta ser um matacão de itabirito; (C) Depósitos finos presentes no interior do salão do fim, estes sedimentos aparentam ter sua gênese associada à banda silicosa do itabirito, que foi lixiviada; e (D) Conduto irregular, que também é a entrada para o salão do fim.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Joseane Biazini.

### 5.4.3 Gruta do Colchão

**Tabela 5.15:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Colchão

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
638504E/ 7808009N	1.461 metros	6 metros	Caverna sem evidências cársticas

A Gruta do Colchão está conjugada a um abrigo que possui, aproximadamente, 22 metros de largura (Figura 5.31-A e Figura 5.31-B). Esta gruta recebeu tal denominação, devido a um colchão que aparenta ter sido utilizado por escaladores. No interior desta pequena cavidade, foi possível constatar a presença do itabirito e da canga detrítica. Os depósitos clásticos, que predominam nesta cavidade, são de granulometria grosseira. Tal fato evidencia que a gênese desta cavidade pode estar associada à processos de abatimento. Quanto aos depósitos químicos, a cavidade apresenta espeleotemas do tipo coralóides. Não foi possível constatar nenhum tipo de ação hidrológica perceptível nesta cavidade, entretanto, a mesma foi prospectada e descrita durante o período seco.



**Figura 5.31:** (A) Entrada da Gruta do Colchão e abrigo presente na sua parte externa e (B) Interior da Gruta do Colchão.

**Fotos:** Luciano Faria.

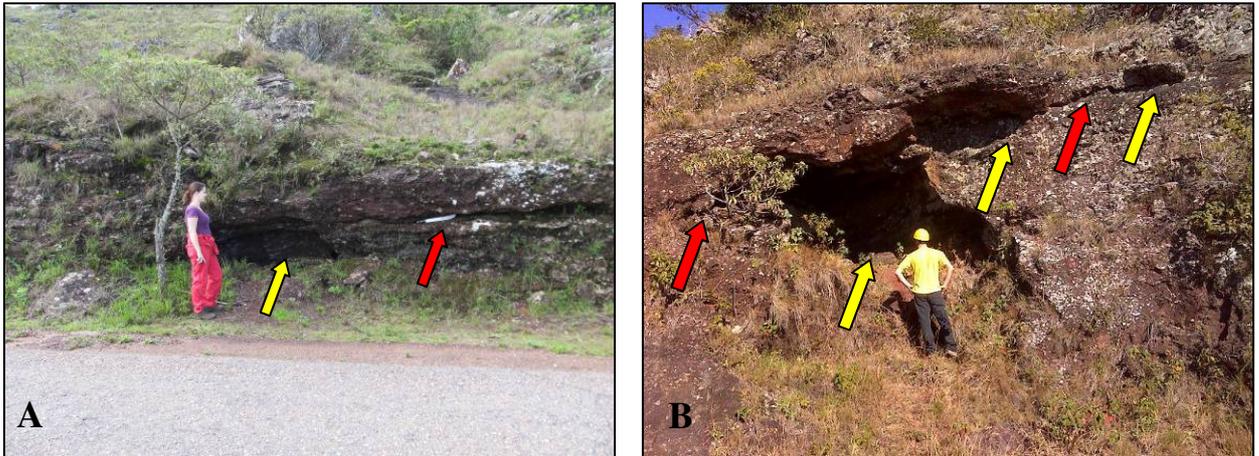
#### 5.4.4 Gruta da Estrada I e Gruta da Estrada II

**Tabela 5.16:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Estrada I e Gruta da Estrada II.

<b>Cavernas</b>	<b>Leste (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Projeção Horizontal (m)</b>	<b>Classificação</b>
Gruta da Estrada I	638963	7807787	1.641	6	Caverna sem feições cársticas
Gruta da Estrada II	638495	7807882	1.621	4	Caverna sem feições cársticas

A Gruta da Estrada I e Gruta da Estrada II estão localizadas na borda da estrada (Figura 5.21) que liga a rodovia MG-435 ao Complexo Arquitetônico do Santuário Nossa Senhora da Piedade. Nas duas cavidades foram observados lixos, tais como plásticos, latas, papéis e fezes.

A Gruta da Estrada I foi desenvolvida, predominantemente, na canga detrítica, que possui detritos do tamanho de seixos a bloco. Entretanto, no interior desta cavidade, foi observado um estreito conduto desenvolvido no itabirito. Já na Gruta da Estrada II foi observado que a mesma se desenvolve somente na canga detrítica. As duas cavidades apresentam condutos irregulares e não apresentam nenhum tipo de ação hidrológica visível ou depósitos químicos. Quanto aos depósitos clásticos, foi observado que a Gruta da Estrada I apresenta depósitos grosseiros do tamanho de seixo a matacão. Acredita-se que o matacão presente nesta Gruta, pode ter sido fruto de abatimentos condicionados pela fratura existente no exterior desta cavidade (Figura 5.32-A). A Gruta da Estrada II também apresenta uma fratura no seu exterior, logo, ela também pode ter sua gênese associada a essas fissuras (Figura 5.32-B).



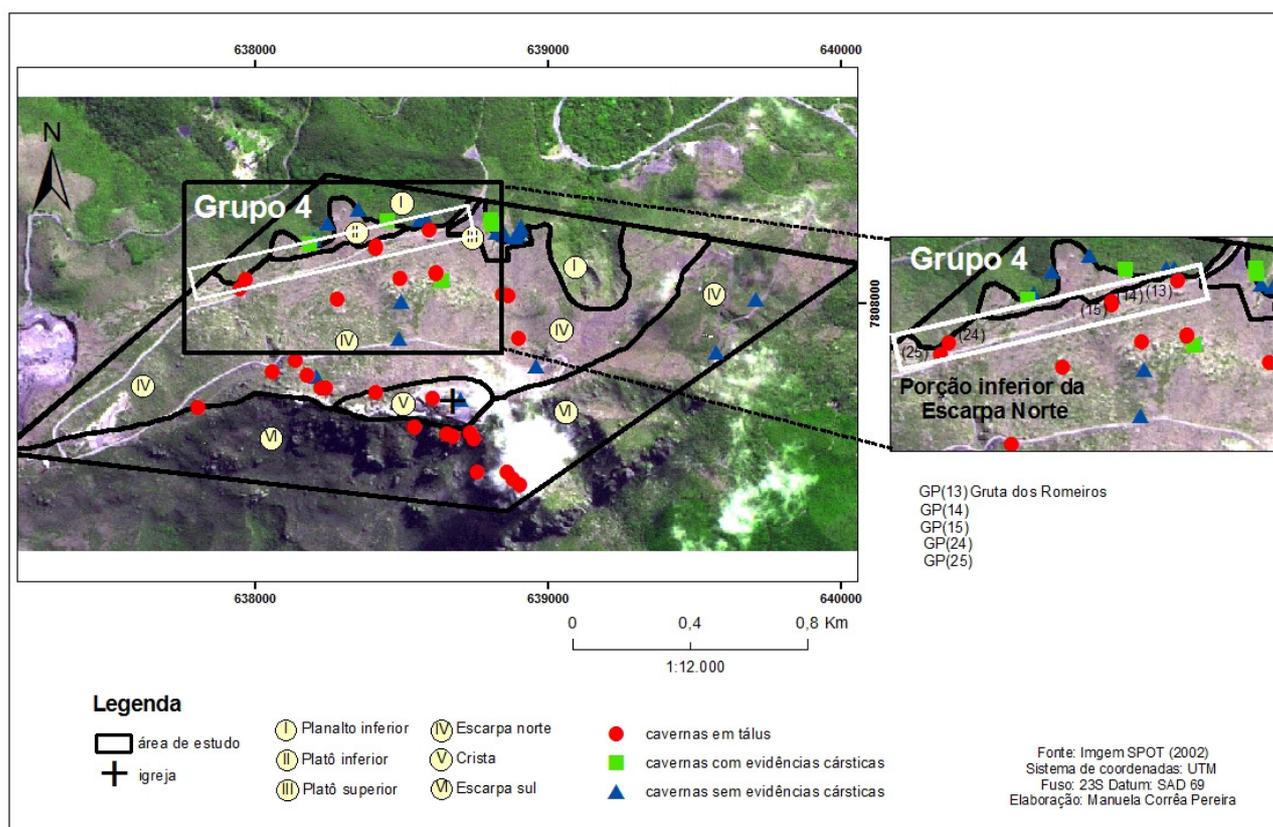
**Figura 5.32:** As setas vermelhas indicam as fraturas presentes no exterior das grutas, já as setas amarelas indicam os vazios ou condutos que podem ter sido gerados por estas fraturas. (A) Gruta da Estrada I e (B) Gruta da Estrada II.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira.

#### **5.5- Grupo 4: cavidades da porção inferior da unidade Escarpa Norte**

O Grupo 4 é composto por cinco cavidades que estão situadas na porção inferior da unidade de relevo denominada Escarpa Norte (Figura 5.33). Nesta porção, todas as cavidades encontradas foram classificadas como cavidades em tálus. Segundo o mapa geológico da Quadricula da Serra da Piedade (LOBATO *et al.*, 2005), as cavidades deste grupo estão situadas na canga. Entretanto, em campo constatou-se que estas cavidades foram formadas pela sobreposição de matacões e blocos de itabirito (Figuras 5.34-A e 5.34-C).

Dentre as cavidades do Grupo 4, destaca-se a Gruta dos Romeiros pelo seu caráter religioso. Essa caverna também foi indicada no croqui do Frei Rosário Joffily e pela facilidade de acesso, vem sendo alvo de grande fluxo de turistas/religiosos. Foram encontradas algumas imagens religiosas associadas ao rito católico e também alguidares quebrados na entrada relacionados a ritos de umbanda e candomblé (Figura 5.34-B).



**Figura 5.33:** Localização das cavidades na porção inferior da unidade de relevo Escarpa Norte.

**Tabela 5.17:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 4:

Cavernas do Grupo 4	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Projeção Horizontal (m)	Classificação
Gruta dos Romeiros	638599	7808255	1.422	19	Caverna em tálus
GP14	638416	7808197	1.436	14	Caverna em tálus
GP15	638416	7808188	1.435	6	Caverna em tálus
GP24	637959	7808111	1.436	9	Caverna em tálus
GP25	637950	7808051	1.610	8	Caverna em tálus

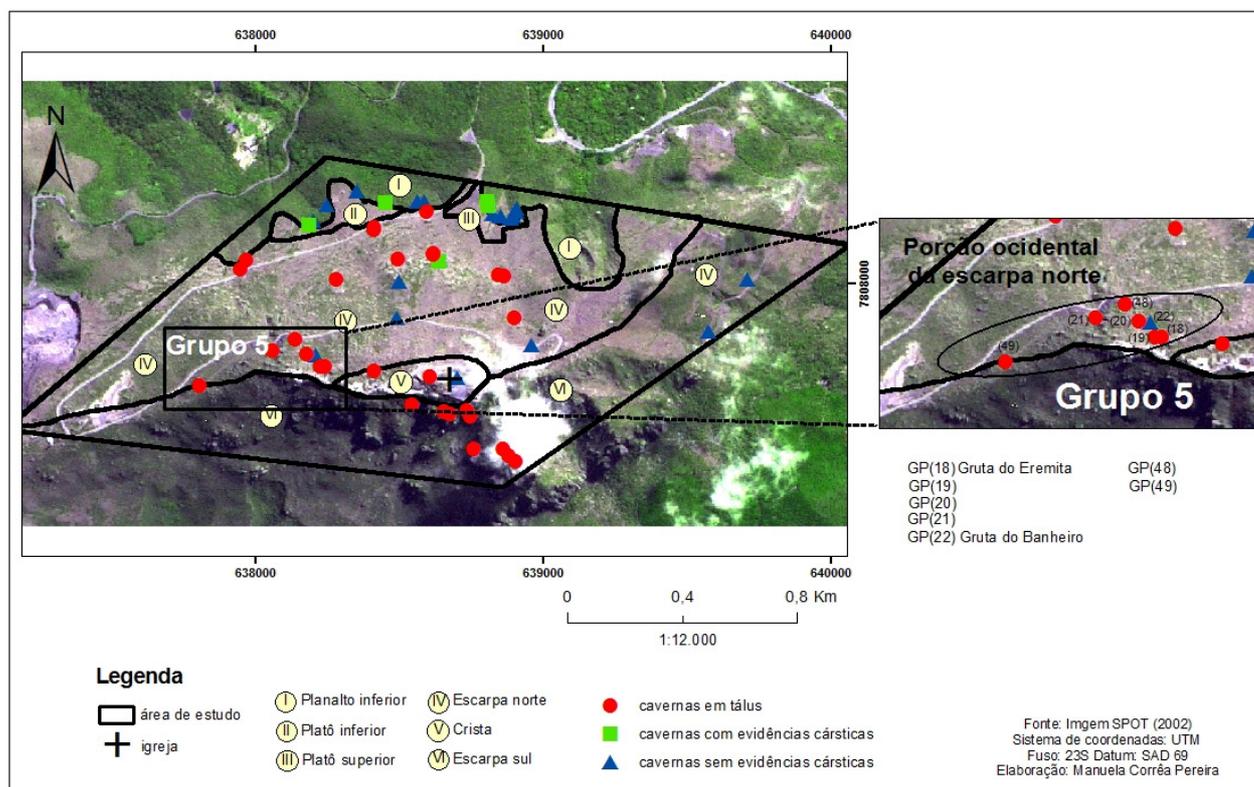


**Figura 5.34:** (A) Entrada das Gruta dos Romeiros, formada pela sobreposição de matacões de itabirito; (B) Alguidar (prato de barro utilizado em rituais religiosos) na entrada da Gruta dos Romeiros e (C) Teto de itabirito da cavidade GP(15).

**Fotos:** Luciano Faria

## 5.6 Grupo 5: cavidades da porção ocidental da unidade Escarpa Norte

O Grupo 5 é composto por sete cavidades que estão situadas na porção ocidental da unidade de relevo denominada Escarpa Norte (Figura 5.35). Nesta porção foram encontradas: uma cavidade classificada como caverna sem evidência cárstica e seis cavidades classificadas como cavidades em tálus (Figura 5.35 e Tabela 5.18). Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade (LOBATO *et al.*, 2005), as cavidades deste grupo estão situadas no itabirito da Formação Cauê. Entretanto, em campo constatou-se que a cavidade sem evidências cársticas foi formada na canga detrítica. Já as cavidades em tálus foram formadas pela sobreposição de matacões de itabirito.



**Figura 5.35:** Localização das cavidades na porção ocidental da unidade de relevo Escarpa Norte.

### 5.6.1 Cavernas em tálus do Grupo 5

As cavernas em tálus do Grupo 5 são formadas, majoritariamente, pela queda de matacões de itabirito. No interior destas cavidades foram encontrados detritos humanos como: papéis, garrafas, plásticos e fezes. Dentre estas cavidades, destaca-se a Gruta do Eremita que também foi indicada no croqui do Frei Rosário Joffily e hoje possui diversas placas informativas, distribuídas em pontos estratégicos, indicando sua localização (Figura 5.36-A e Figura 5.36-B).

**Tabela 5.18:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 5:

Cavernas do Grupo 5	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Projeção Horizontal (m)	Classificação
Gruta do Eremita	638244	7807710	1.683	7	Caverna em tálus
GP19	638227	7807710	1.689	6	Caverna em tálus
GP20	638181	7807754	1.658	5	Caverna em tálus
GP21	638060	7807765	1.632	5	Caverna em tálus
GP48	638143	7807804	1.729	11	Caverna em tálus
GP49	637809	7807641	1.580	5	Caverna em tálus



**Figura 5.36:** (A) Gruta do Eremita, formada pela sobreposição de matacões de itabirito e (B) Placa que indica a entrada da Gruta do Eremita.

**Fotos:** Roberto Cassimiro

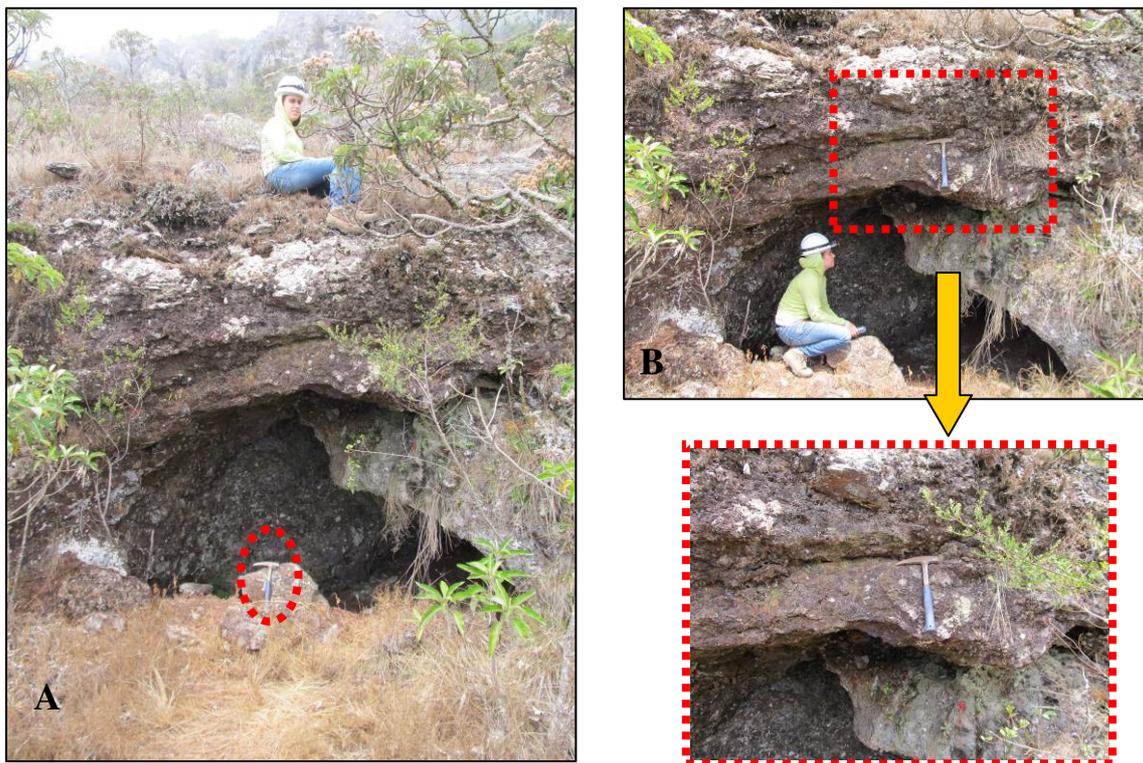
### 5.6.2 Gruta do Banheiro

**Tabela 5.19:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Banheiro:

Coordenadas UTM	Altitude (m)	Projeção Horizontal (m)	Classificação
638214E/ 7807751N	1.649	6	Caverna sem evidências cársticas

A Gruta do banheiro está localizada próxima a uma trilha e situa-se na ruptura do relevo (Figura 5.37-A). No seu interior observaram-se detritos humanos como pedaços de pano, plásticos e fezes.

Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade (LOBATO *et al.*, 2005), a litologia desta cavidade é o itabirito da Formação Cauê. Entretanto, em campo, constatou-se que a Gruta do Banheiro foi desenvolvida na canga, que é composta por detritos que variam do tamanho seixo a bloco. A cavidade apresenta um único conduto de formato irregular e não apresenta nenhum tipo de ação hidrológica visível ou depósitos químicos. Quanto aos sedimentos clásticos foram observados detritos de canga do tamanho de seixo a bloco, assim como sedimentos finos. No exterior da Gruta, é possível visualizar fraturas (Figura 5.37-B). A gênese desta cavidade pode estar associada a abatimentos da canga. Estes abatimentos podem estar condicionados por estas fraturas.



**Figura 5.37:** (A) A Gruta do Banheiro foi desenvolvida na ruptura do relevo, que possui escarpa sem continuidade lateral expressiva; (B) Fratura presente na entrada da Gruta do Banheiro.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira.

## 5.7 Grupo 6: cavidades da unidade Crista

O Grupo 6 é composto por três cavidades que estão situadas na unidade de relevo crista. Nesta porção foram encontradas: uma cavidade classificada como cavernas sem evidências cársticas e duas cavidades classificadas como cavidades em tálus (Figura 5.38 e Tabelas 5.20 e 5.21). Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade (LOBATO *et al.*, 2005), a cavidade GP(47) está situada no itabirito da Formação Cauê e as cavidades GP(37) e Gruta da Placa Azul estão situadas na canga. Entretanto, em campo constatou-se que a cavidade GP(37) foi formada pela associação de blocos de itabirito com afloramentos desta mesma litologia. Além disso, a cavidade denominada Gruta da Placa Azul, além da canga, também apresenta itabirito no seu interior.

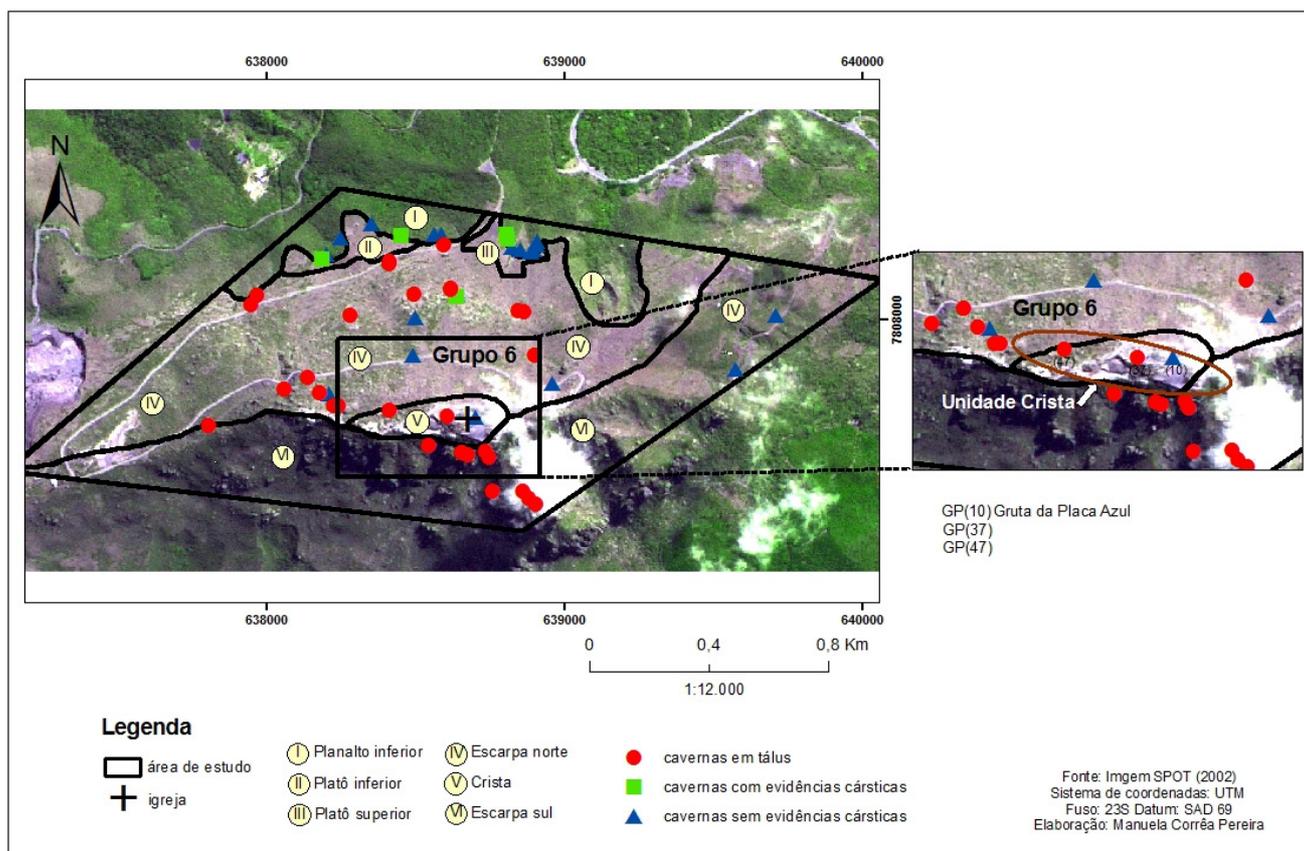


Figura 5.38: Localização das cavidades na unidade crista.

### 5.7.1 Cavernas em tálus do Grupo 6:

A cavidade GP(37) está localizada próxima às igrejas que compõem o complexo arquitetônico do santuário. Já a cavidade GP(47) está localizada próxima à estrada que dá acesso ao Observatório Astronômico da Universidade Federal de Minas Gerais. Estas duas cavidades foram formadas pela associação de blocos de itabirito com afloramentos desta mesma litologia. No interior das duas cavidades constatou-se a presença de uma grande quantidade de detritos antrópicos.

**Tabela 5.20:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 6:

<b>Cavernas do Grupo 6</b>	<b>Leste (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Projeção Horizontal (m)</b>	<b>Classificação</b>
GP37	638611	7807673	1.710	5	Caverna em tálus
GP47	638414	7807693	1.725	12	Caverna em tálus

### 5.7.2 Gruta da Placa Azul

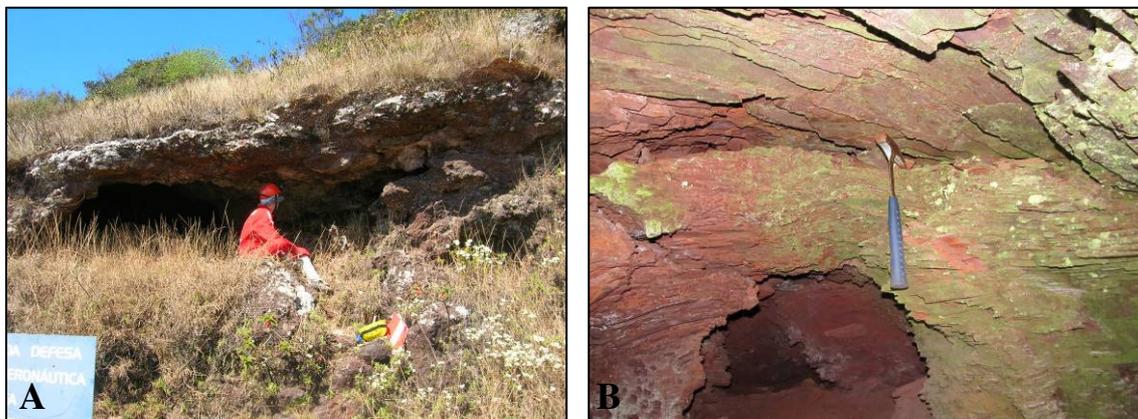
**Tabela 5.21:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Placa Azul:

<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Altitude</b>	<b>Projeção Horizontal</b>	<b>Classificação</b>
638706E/7807672N	1.695 metros	9 metros	Caverna sem evidências cársticas

A Gruta da Placa Azul recebeu tal denominação devido a uma placa, desta cor, localizada próxima à sua entrada. Esta cavidade localiza-se na ruptura do relevo (Figura 5.39-A). A cavidade foi formada, predominantemente, na canga detrítica, que apresenta detritos que variam do tamanho de seixo a bloco. Entretanto, na porção sul desta cavidade, é possível constatar a presença de dois estreitos condutos que foram desenvolvidos no itabirito (Figura 5.39-B).

Esta cavidade também apresenta fraturas que podem ter condicionado o abatimento de parte dos depósitos clásticos presentes na gruta. Dentre estes depósitos clásticos, destaca-se

um grande matacão de canga presente no interior da cavidade. Não foi possível identificar depósitos químicos, tampouco atividade hidrológica na Gruta da Placa azul.



**Figura 5.39:** (A) A Gruta da Placa azul está localizada na ruptura do relevo; e (B) Estreito conduto desenvolvido no itabirito da Gruta da Placa Azul.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira.

## 5.8 Grupo 7: cavidades da unidade Escarpa Sul

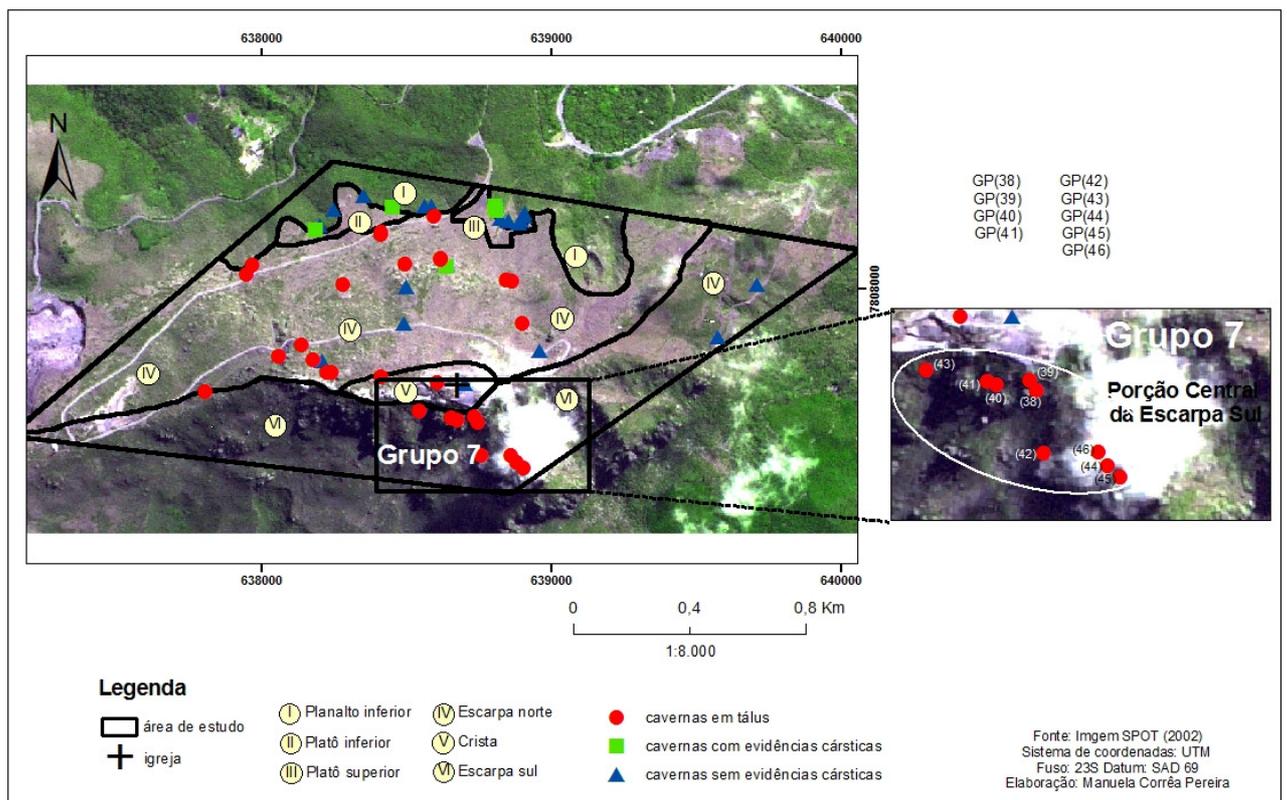
O Grupo 7 é composto por nove cavidades que estão situadas na unidade de relevo Escarpa Sul. Nesta porção, todas as grutas foram classificadas como cavidade em tálus (Figura 5.41 e Tabela 5.22). Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade, as cavidades estão situadas no itabirito da Formação Cauê (LOBATO *et al.*, 2005). Em campo constatou-se que todas as cavidades foram formadas pela associação de matacões de itabirito com afloramentos desta mesma litologia.

As cavidades presentes nesta unidade de relevo encontram-se bem preservadas da degradação humana devido ao relevo abrupto que dificulta o acesso a esta escarpa. Entretanto, apesar desta feição não ter sido contabilizada como cavidade para esta pesquisa, a “Gruta dos Milagres” é um grande atrativo para os romeiros da Serra da Piedade (Figura 5.40). Este paredão foi, popularmente, denominado “Gruta dos Milagres” ou “Milagres”, pois os romeiros acreditam que a água que ali goteja possui propriedades curativas para os enfermos e serve como prevenção aos que dela bebem (CASSIMIRO *et al.* 2011).



**Figura 5.40:** “Gruta dos Milagres” localizada na Escarpa Sul da Serra da Piedade, o círculo vermelho indica o tanque de alvenaria que acumula a água “milagrosa”.

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira.



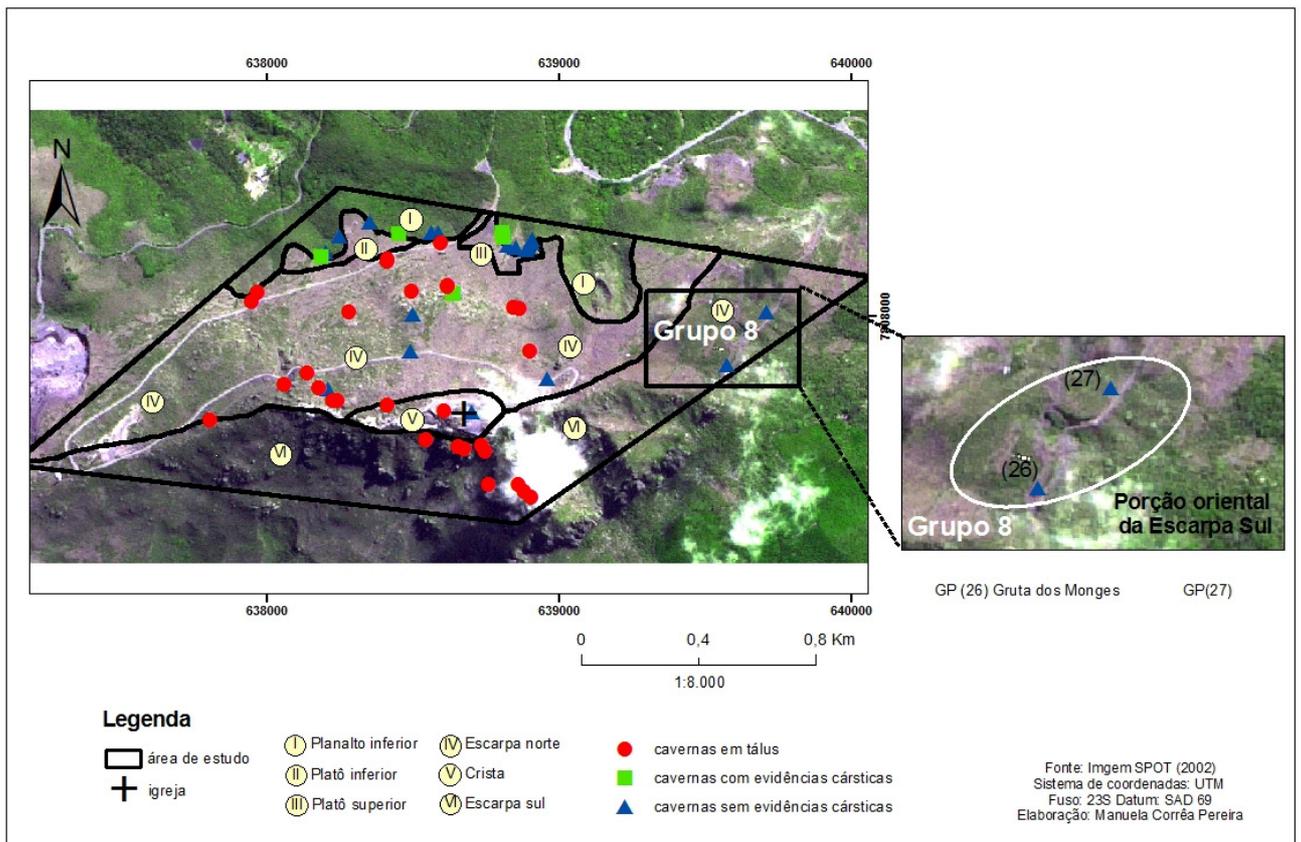
**Figura 5.41:** Localização das cavidades na Escarpa Sul.

**Tabela 5.22:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação das Cavernas do Grupo 7:

<b>Cavernas do Grupo 7</b>	<b>Leste (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Projeção Horizontal (m)</b>	<b>Classificação</b>
GP38	638749	7807536	1.655	6	Caverna em tálus
GP39	638738	7807554	1.653	6	Caverna em tálus
GP40	638675	7807545	1.673	15	Caverna em tálus
GP41	638658	7807551	1.670	6	Caverna em tálus
GP42	638762	7807419	1.666	18	Caverna em tálus
GP43	638547	7807574	1.558	16	Caverna em tálus
GP44	638882	7807396	1.553	5	Caverna em tálus
GP45	638905	7807375	1.560	26	Caverna em tálus
GP46	638865	7807421	1.567	15	Caverna em tálus

### **5.9 Grupo 8: cavidades da porção oriental da unidade Escarpa Sul**

O Grupo 8 é composto por duas cavidades que estão situadas na porção oriental da unidade de relevo Escarpa Sul. Ambas foram classificadas como cavernas sem evidências cársticas (Figura 5.42 e Tabelas 5.23 e 5.24). Segundo o mapa geológico da Quadrícula da Serra da Piedade, estas cavidades estão situadas no itabirito da Formação Cauê (LOBATO *et al.*, 2005). Entretanto, em campo constatou-se que ambas foram, predominantemente, formadas na canga detrítica, sendo que a Gruta dos Monges apresenta pequenas porções desenvolvidas no itabirito.



**Figura 5.42:** Localização das cavidades na porção oriental da Escarpa Sul.

### 5.9.1 Gruta dos Monges

**Tabela 5.23:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta do Monges.

Coordenadas UTM	Altitude	Projeção Horizontal	Classificação
639578E/7807832N	1.448 metros	35 metros	Caverna sem feições cársticas

A Gruta dos Monges é composta por três entradas que estão localizadas na borda de uma antiga estrada sem pavimentação (Figura 5.43-B). Esta Gruta já foi indicada num croqui elaborado pelo Frei Rosário Joffly. Neste croqui, o ex-reitor do santuário indica que esta Gruta está próxima a um grande rochedo (Figura 5.43-A).

A Gruta dos Monges foi desenvolvida na canga detrítica, composta por detritos que variam do tamanho de seixos a matacão. Nota-se que alguns matações de itabirito estão imersos nesta canga, já em alguns setores não foi possível afirmar se o itabirito estava *in situ* ou se consiste em matações desta litologia que cimentaram com os demais detritos da canga.

Os depósitos clásticos desta cavidade são, predominantemente, de canga e variam do tamanho de calhau a matacão (Figura 5.43-C).

Também foi possível notar fraturas que aparentam ser atectônicas, o que pode ter contribuído com processos de abatimentos no interior da gruta. Além disso, constatou-se gotejamento no período chuvoso e depósitos químicos do tipo coralóides.



**Figura 5.43:** (A) Grande rochedo descrito pelo ex-reitor Frei Rosário e constatado em campo; (B) Entradas da Gruta dos Monges; e (C) Depósitos de granulometria grosseira presentes no interior da Gruta dos Monges.

**Fotos:** Manuela Corrêa Pereira e Roberto Cassimiro.

### 5.9.2 GP (27)

A gruta GP(27) está localizada na ruptura do relevo e na borda da mesma estrada desativada que dá acesso à Gruta dos Monges. Esta gruta consiste em uma pequena cavidade de apenas 4 metros de projeção horizontal (Tabela 5.24 e Figura 5.44). A litologia desta cavidade, assim como seus sedimentos clásticos é a canga detítica. Estes últimos variam do tamanho seixo a bloco e indicam que a cavidade teve sua gênese atrelada a processos de

abatimentos. Quanto à atividade hidrológica, a gruta apresenta gotejamento durante o período chuvoso.

**Tabela 5.24:** Coordenadas, Altitude, Projeção Horizontal e Classificação da Gruta da Piedade (27).

<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Altitude</b>	<b>Projeção Horizontal</b>	<b>Classificação</b>
639712E/7808016N	1.416 metros	4 metros	Caverna sem feições cársticas



**Figura 5.44:** Entrada da Gruta GP (P27).

**Foto:** Manuela Corrêa Pereira.

## **6 CONTEXTO DAS CAVIDADES NO RELEVO DA SERRA DA PIEDADE**

Neste capítulo buscou-se estabelecer uma relação entre a classificação realizada no capítulo anterior para as cavidades da Serra da Piedade (cavernas em tálus, cavernas com feições cársticas e cavernas sem feições cársticas) e os seguintes parâmetros: projeção horizontal (mensurada em campo ou através de mapeamentos topográficos); declividade do relevo onde a cavidade está localizada (gerada através da imagem SRTM/EMBRAPA); altitude das cavidades (coletadas em campo, através de GPS); litologia (constatada em campo) e ruptura de relevo (constatada em campo e através de imagem de satélite SPOT, 2002).

Para uma melhor análise, conforme já especificado no capítulo de procedimentos metodológicos, os parâmetros supracitados foram subdivididos em classes. A projeção horizontal foi subdividida em quatro classes de desenvolvimento: classe 1 ( 0 – 15 metros), classe 2 (16 – 30 metros), classe 3 (31 – 45 metros) e classe 4 (acima de 45 metros). A declividade foi subdividida em seis classes: classe 1 (0-10%), classe 2 (10-20%), classe 3 (20-30%), classe 4 (30-40%), classe 5 (40-50%) e classe 6 (50-90%). Os intervalos altimétricos foram subdivididos da seguinte forma: classe 1 (1.360-1.420 metros), classe 2 (1.420-1.480 metros), classe 3 (1.480-1.540 metros), classe 4 (1.540-1.600 metros), classe 5 (1.600-1.680 metros) e classe 6 (acima de 1.680 metros). Em campo, pode-se agrupar e classificar a(s) litologia(s) presentes no interior das cavidades da seguinte forma: canga detrítica; canga detrítica/itabirito; matacões de itabirito; e canga detrítica/itabirito/matacões de itabirito. Por fim, classificou-se a escarpa presente nas cavidades situadas na ruptura do relevo, logo criaram-se três classes: cavidades com continuidade lateral expressiva, cavidades com continuidade lateral pouco expressiva e cavidades que não estão situadas na ruptura do relevo. Desse modo, foi possível traçar um perfil das cavidades da Serra da Piedade.

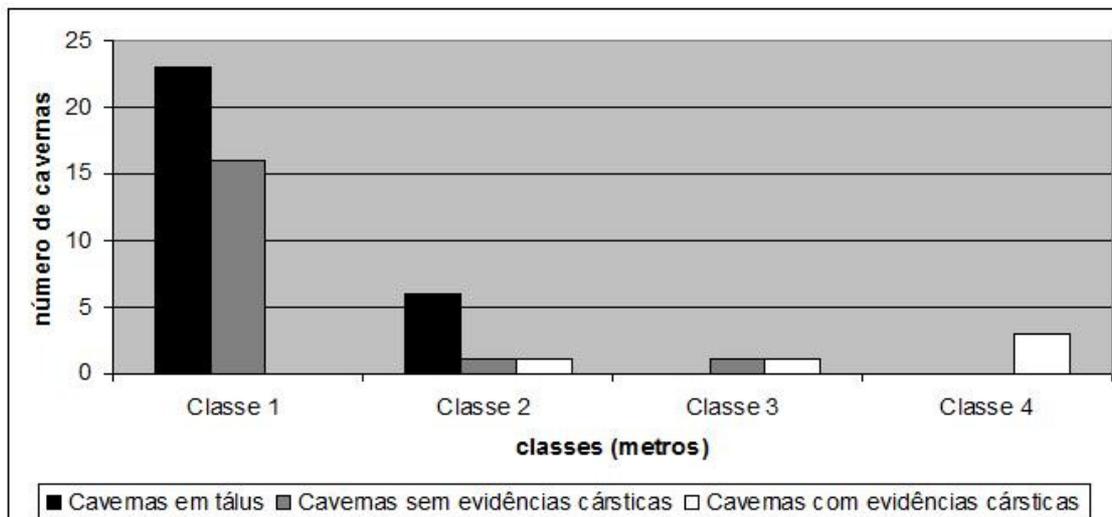
### **6.1 Cavernas X projeção horizontal**

Através da análise da projeção horizontal das cavidades levantadas, constatou-se que as cavernas em tálus possuem um desenvolvimento inibido quando comparada às demais categorias. Portanto, todas as cavidades deste tipo estão nas classes de tamanho 1 ou 2 (Figura 6.1). As cavernas sem evidências cársticas também possuem um desenvolvimento inibido e estão representadas pelas classes 2, 3 e principalmente, pela classe 1 (Figura 6.1). Por fim, as

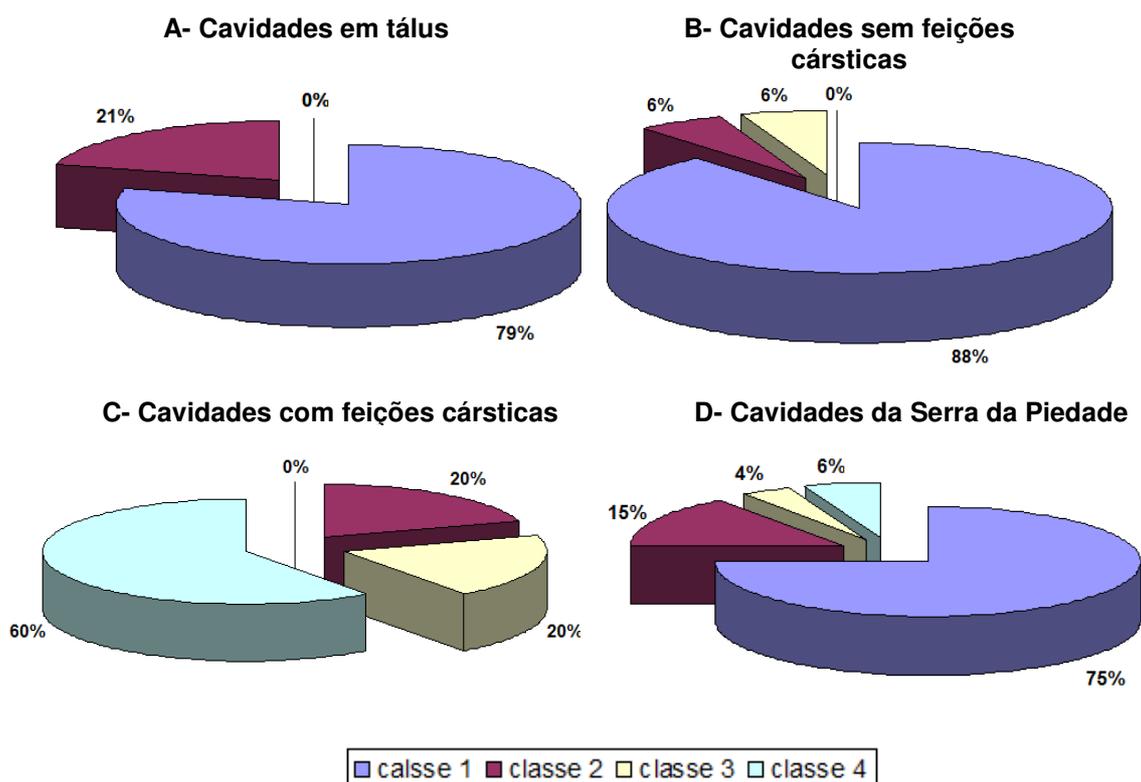
cavernas com evidências cársticas se diferem do comportamento dos demais tipos de cavidades, pois tendem a apresentar maiores dimensões. Esta categoria é representada, principalmente pela classe 4 que, na área de estudo, contém cavernas com projeção horizontal de até 365 metros (Figura 6.1).

Em termos de porcentagem (Figura 6.2), constatou-se que 79% das cavidades em tálus estão na classe 1, 21% na classe 2 e que não há nenhuma cavidade formada por queda de matacões nas classes 3 e 4. A classe 1 também predomina para as cavernas sem feições cársticas, já que 88% destas cavidades estão nesta classe, 6% na classe 2, 6% na classe 3 e não há nenhuma cavidade sem feições cársticas na classe 4 (Figura 6.2-B). Já para as cavidades com feições cársticas, 60% das cavidades estão situadas na classe 4, 20% na classe 3, 20% na classe 2 e nenhuma cavidade está situada na classe 1 (Figura 6.2-C). Por fim, constatou-se que 75% do total de cavidades da Serra da Piedade está situada na classe 1, 15% na classe 2, 6% na classe 4 e 4% na classe 3 (Figura 6.2-D).

Baseando-se no parâmetro projeção horizontal, pode-se inferir que, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade são caracterizadas por terem um desenvolvimento inibido. A maioria, ou 75% das cavernas desta Serra possuem entre 0 e 15 metros de desenvolvimento (Figura 6.2-D). Portanto, as cavidades em tálus e as cavidades sem feições cársticas são as classes de caverna mais representativas, em termos de projeção horizontal, para a Serra da Piedade. Já que, respectivamente, 79% e 88% de suas cavidades possuem entre 0 e 15 metros de desenvolvimento (Figura 6.2-A e 6.2-B). Em contrapartida, as cavidades com feições cársticas fogem deste padrão, já que 60% de suas cavidades ultrapassam 45 metros de desenvolvimento (Figura 6.2-C).



**Figura 6.1:** Relação entre o número de cavernas de cada classe e as classes de projeção horizontal: classe 1 ( 0 – 15 metros), classe 2 (16 – 30 metros), classe 3 (31 – 45 metros) e classe 4 (acima de 45 metros).



**Figura 6.2:** Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe de projeção horizontal: classe 1 ( 0 – 15 metros), classe 2 (16 – 30 metros), classe 3 (31 – 45 metros) e classe 4 (acima de 45 metros).

## 6.2 Cavernas X declividade

Através da análise das classes de declividade, constatou-se que as cavernas em tálus e as cavernas sem evidências cársticas estão situadas nas classes 1, 2, 3 e 4 (Figura 6.3). Já as cavernas com feições cársticas estão situadas apenas na classe 2 (Figura 6.3). Tal fato indica que as cavernas em tálus e as cavernas sem evidências cársticas estão aptas a se desenvolverem tanto num relevo suave ondulado (classes 1), como num relevo ondulado (classe 2) e ainda num relevo forte ondulado (classes 3 e 4) (Tabela 6.1 e Figura 6.3). Já as cavernas com feições cársticas da Serra da Piedade estão restritas a se desenvolverem num relevo ondulado (classe 2) (Tabela 6.1 e Figura 6.3).

Em termos de porcentagem, constatou-se que a maioria das cavidades em tálus (45%) está na classe 3 (Figura 6.4-A). Segundo a classificação de Santos *et. al.* (2005), estas cavidades estão situadas num relevo forte ondulado (Tabela 6.1). Já a maioria das cavidades sem feições cársticas (55%) está situada na classe 2 (Figura 6.4-B), ou seja, num relevo ondulado (Tabela 6.1). O mesmo acontece com a maioria das cavidades com feições cársticas, onde 100% das cavidades estão situadas no intervalo de 10-20% de declividade (Tabela 6.1 e Figura 6.4-C).

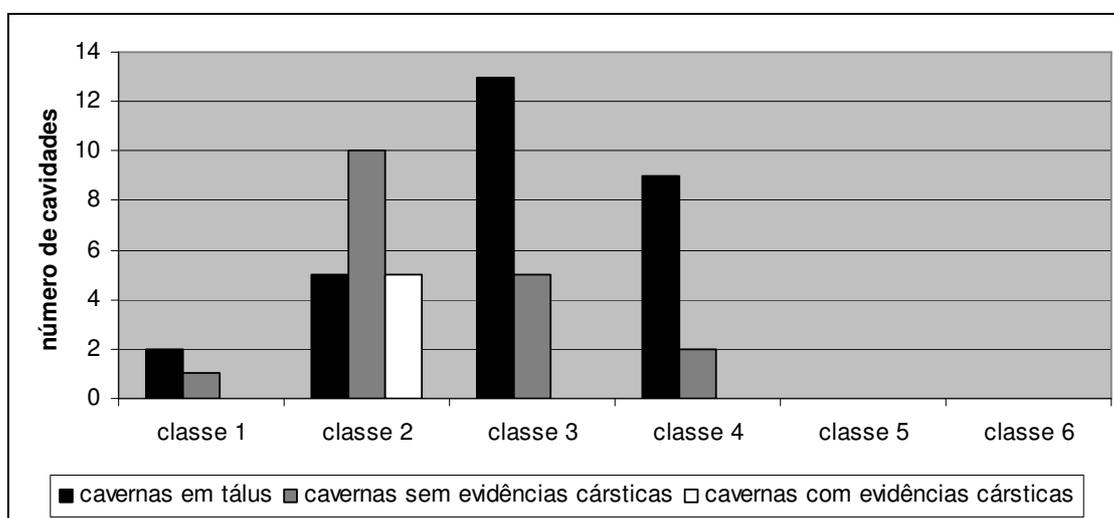
**Tabela 6.1:** Relação entre as classes de declividade e o tipo de relevo (esta classificação utilizou de forma adaptada a classificação realizada por SANTOS et al. 2005).

<i>Classes</i>	<i>Declividade (%)</i>	<i>Tipo de relevo</i>
1	0 - 10%	<i>suave ondulado</i>
2	10 - 20%	<i>ondulado</i>
3	20 - 30%	<i>forte ondulado</i>
4	30 - 40%	<i>montanhoso</i>
5	40 - 50%	<i>montanhoso</i>
6	50 - 90%	<i>escarpado</i>

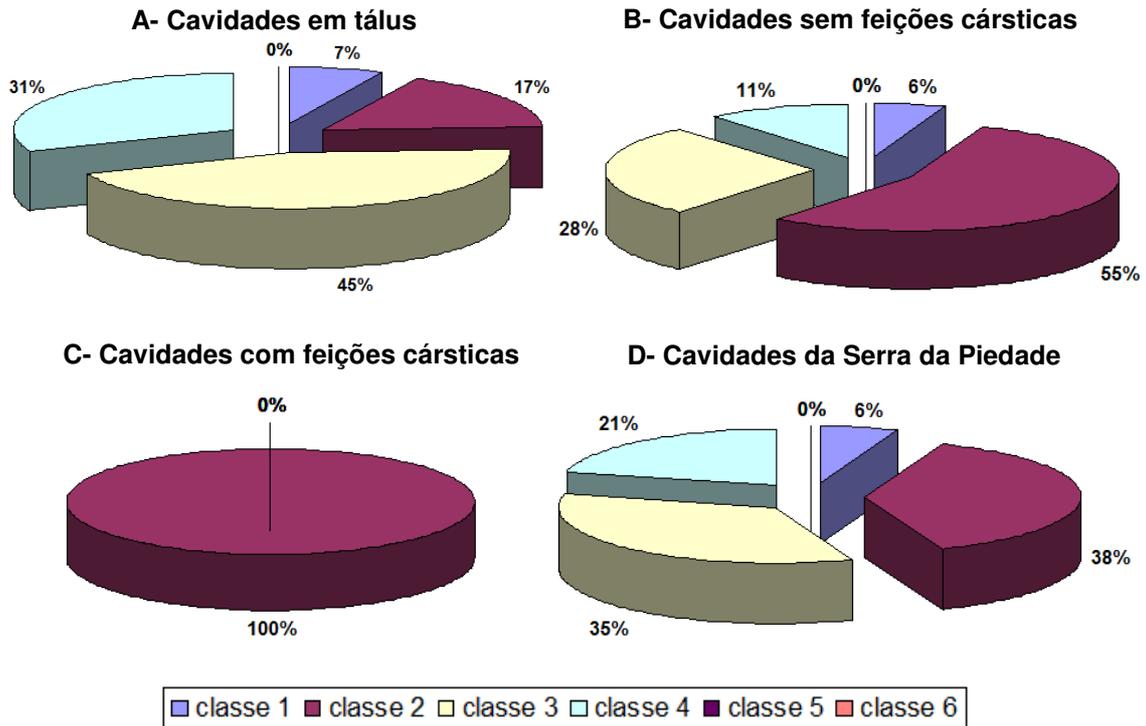
Segundo a classificação de Santos *et. al.* (2005), a maioria das cavidades da Serra da Piedade está situada num relevo ondulado (Tabela 6.1 e Figura 6.4-D). Apesar desta classificação, o relevo das cavidades que estão situadas nesta classe é, relativamente, suave (Figura 6.5). Como abordado ao longo do capítulo 4, a Serra da Piedade, assim como as demais serras do Quadrilátero Ferrífero, é caracterizada por possuir um relevo movimentado.

Desse modo, na área de estudo, predominam as classes 3 e 4 (Figura 6.5), que correspondem, respectivamente, a um relevo forte ondulado e montanhoso (Tabela 6.1). Entretanto, especialmente as cavernas formadas *in situ* estão preferencialmente nas bordas dos platôs escalonados, unidade de relevo que tende a ser plana (Figura 6.5). Já as cavidades em tálus estão mais aptas a se formarem num relevo mais movimentado (Figura 6.4 e 6.5). Tal fato ocorre, pois muitas destas cavidades foram formadas pela associação de matacões de itabirito com o afloramento desta mesma litologia. Logo, estes matacões são sustentados pelo afloramento de itabirito, isto ocorre em todas as cavernas da escarpa sul e em algumas cavernas da escarpa norte, especialmente, aquelas localizadas nas classes de declividade mais acentuada (Figura 6.5).

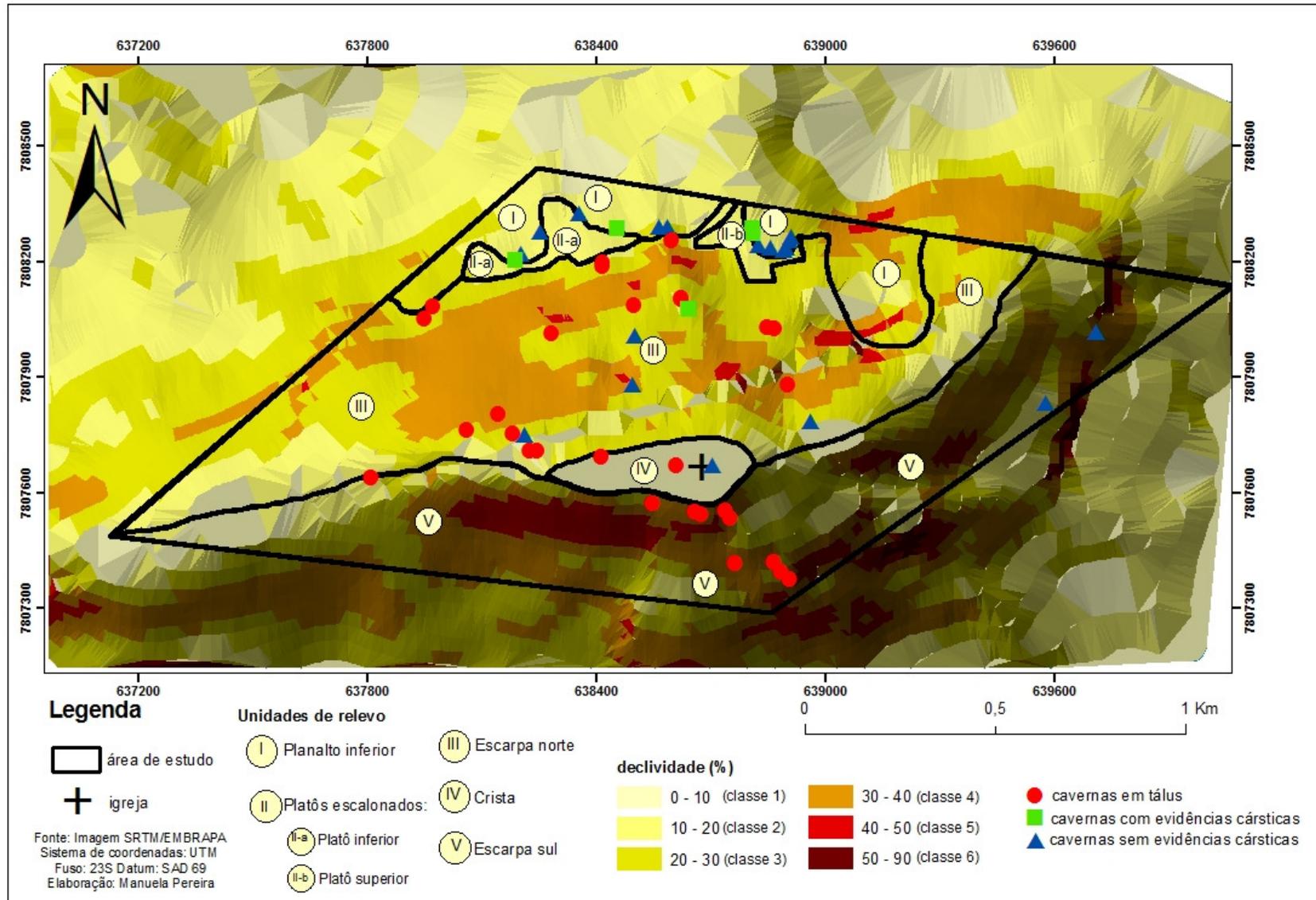
Baseando-se no parâmetro declividade, pode-se inferir que, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade estão inseridas num relevo ondulado (Tabela 6.1 e Figura 6.4-D), mas que é, relativamente, suave (Figura 6.5). Portanto, as cavidades com feições cársticas e as cavidades sem feições cársticas são as classes de caverna mais representativas, em termos de declividade, para a Serra da Piedade. Já que, respectivamente, 100% e 55% de suas cavidades estão situadas na classe 2 (10-20%) de declividade (Figura 6.4-B 6.4-C E 6.4-D).



**Figura 6.3:** Relação entre o número de cavernas de cada classe e as classes de declividade: (classe 1: 0-10%; classe 2: 10-20%; classe 3: 20-30%; classe 4: 30-40%; classe 5: 40-50% e classe 6: 50-90%).



**Figura 6.4:** Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe de declividade: (classe1: 0-10%; classe 2: 10-20%; classe 3: 20-30%; classe 4: 30-40%; classe 5: 40-50% e classe 6: 50-90%).



**Figura 6.5:** Mapa de declividade onde estão contextualizadas as cavidades, as unidades de relevo e as classes de declividade.

### 6.3 Cavernas X hipsometria

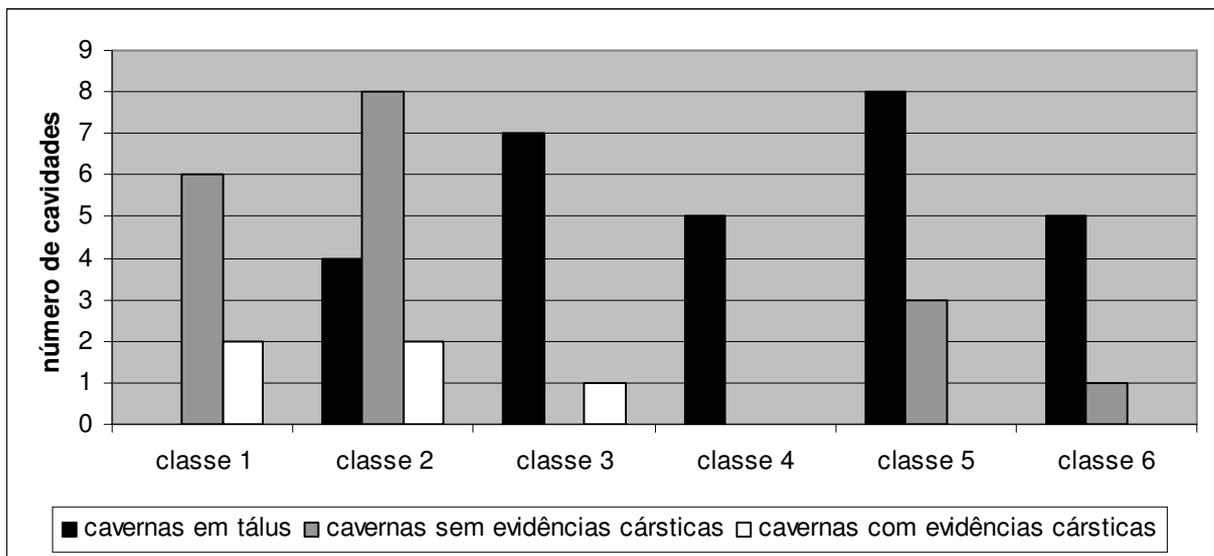
Através da análise das classes de altimetria, constatou-se que as cavernas em tálus estão situadas nas classes 2, 3, 4, 5 e 6 (Tabela 6.2 e Figura 6.6). As cavernas sem feições cársticas estão situadas nas classes 1, 2, 5 e 6 (Tabela 6.2 e Figura 6.6). Já as cavernas com feições cársticas estão situadas apenas nas classes 1, 2 e 3 (Tabela 6.2 e Figura 6.6). Pode-se inferir que as cavidades em tálus e as cavidades sem feições cársticas estão aptas a se desenvolver em qualquer posição altimétrica da área de estudo. Já as cavernas com feições cársticas estão posicionadas nos patamares altimétricos mais rebaixados.

Em termos de porcentagem, constatou-se que a maioria das cavidades em tálus (28%) está na classe 5 (Figura 6.7-A). O mapa da Figura 6.8 contextualiza as cavidades em tálus, assim como as demais cavidades, nas classes de altimetria. Nele é possível constatar que esta categoria de cavidades situa-se, sobretudo, nos patamares altimétricos mais elevados. Já a maioria das cavidades sem feições cársticas (44%) está localizada na classe 2 (Figura 6.7-B). De acordo com a Figura 6.8, pode-se constatar que grande parte destas cavidades estão concentradas nas bordas do platô superior e inferior, que estão situados na classe 2 (Tabela 6.2). Por fim, a maioria das cavidades com feições cársticas (40%) estão situadas nas classes 1 e 2 (Figura 6.7-C). Logo, constata-se que as duas cavernas com feições cársticas localizadas na borda do platô inferior (Figura 6.6 e Figura 6.8), correspondem a 40% das cavidades desta categoria (Figura 6.7-C) e estão localizadas na classe 1 (Figura 6.8). O mesmo acontece com as duas cavidades com feições cársticas situadas na borda do platô superior (Figura 6.6 e Figura 6.8). Elas também correspondem a 40% das cavidades desta categoria, entretanto, estão localizadas na classe 2 (Figura 6.7-C).

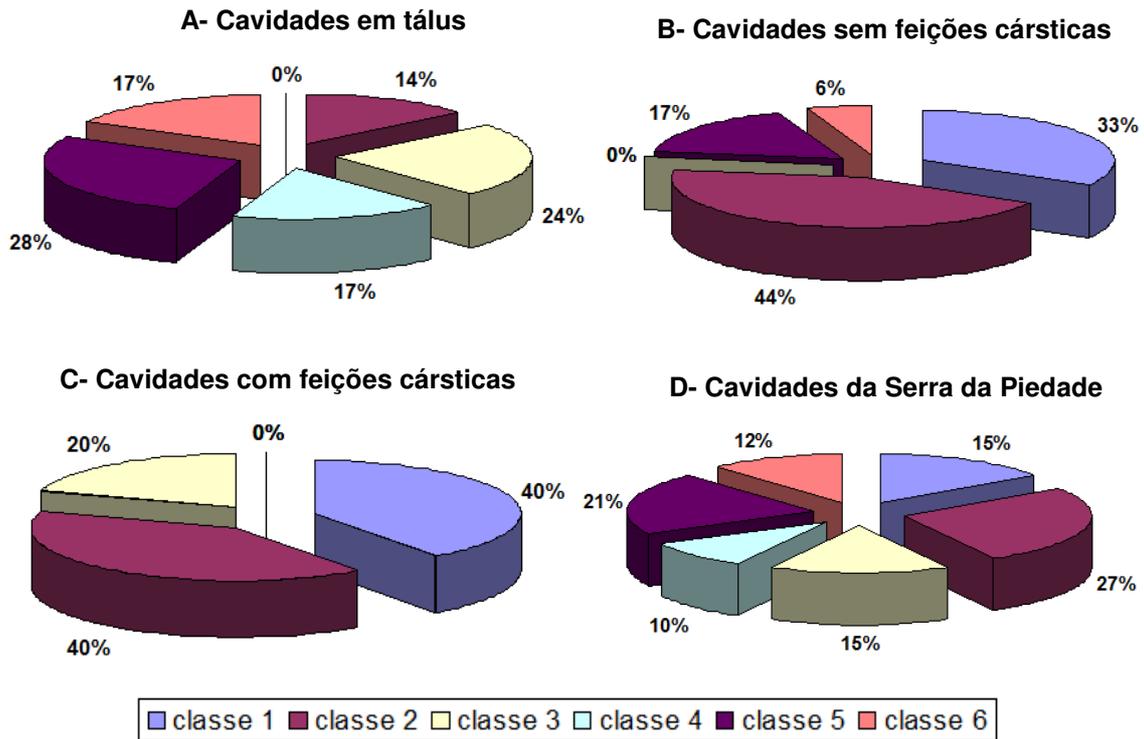
Baseando-se no parâmetro hipsometria, pode-se inferir que, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade são caracterizadas por estarem localizadas na classe 2, segundo patamar altimétrico mais rebaixado (Figuras 6.6, 6.7-D e 6.8). Portanto, as cavidades com feições cársticas e as cavidades sem feições cársticas são as classes de caverna mais representativas, em termos de hipsometria, para a Serra da Piedade. Já que, respectivamente, 40% e 44% de suas cavidades estão situadas na classe 2 (1420-1480 metros) de altimetria (Figura 6.7-B e 6.7-C).

**Tabela 6.2:** Classes de hipsometria da área de estudo.

Classes	Altitude (metros)
1	1.360-1.420
2	1.420-1.480
3	1.480-1.540
4	1.540-1.600
5	1.600-1.680
6	Acima de 1.680



**Figura 6.6:** Relação entre o número de cavernas de cada classe e as classes de hipsometria: classe 1: 1.360-1.420 metros; classe 2: 1.420-1.480 metros; classe 3: 1.480-1.540 metros; classe 4: 1.540-1.600 metros; classe 5: 1.600-1.680 metros e classe 6: acima de 1.680 metros.



**Figura 6.7:** Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe de declividade: classe 1: 1.360-1.420 metros; classe 2: 1.420-1.480 metros; classe 3: 1.480-1.540 metros; classe 4: 1.540-1.600 metros; classe 5: 1.600-1.680 metros e classe 6: acima de 1.680 metros.

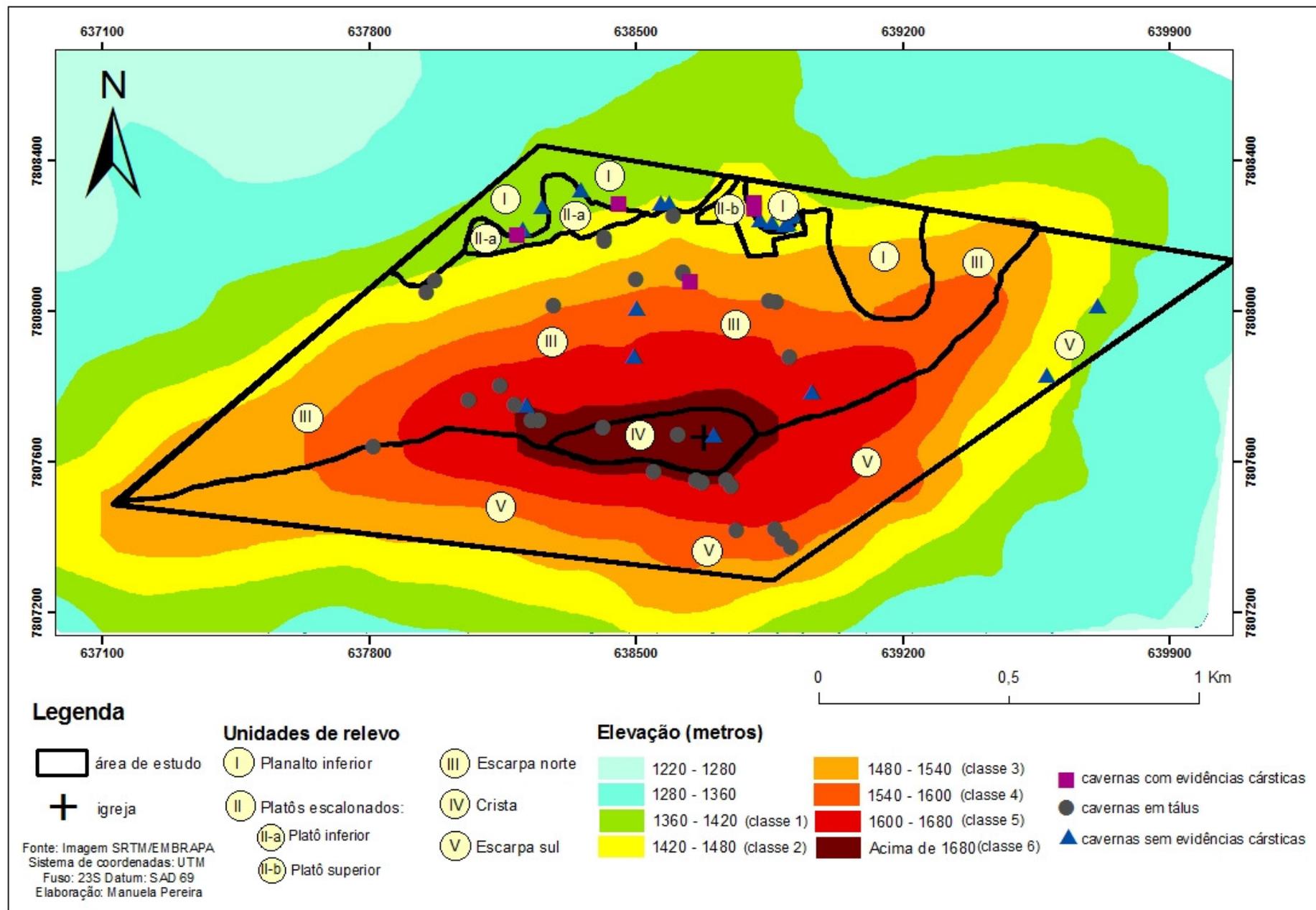


Figura 6.8: Mapa hipsométrico da área de estudo, onde estão contextualizadas as cavidades, as unidades de relevo e as classes de hipsometria.

## 6.4 Cavernas X litologia

O capítulo anterior abordou de forma detalhada a litologia de cada cavidade levantada na área de estudo. Já neste capítulo buscou-se criar classes que representassem, de maneira generalizada, a litologia das cavidades da Serra da Piedade. Desse modo, foram criadas quatro classes litológicas: canga detrítica (caracterizada por ter sido formada por detritos de outra litologia e cimentada pelo mineral limonita); matacões de itabirito (nesta classe, buscou-se ressaltar que o itabirito não está *in situ*, ou seja, sofreu processos de vertente); canga detrítica/itabirito<sup>8</sup> (contato entre a canga detrítica e o itabirito da Formação Cauê); e canga detrítica/itabirito/matacões de itabirito (cavernas que foram formadas no contato da canga com o itabirito, mas também possui setores formados por matacões desta última litologia).

Através da análise da litologia, constatou-se que todas as cavernas em tálus foram formadas por matacões de itabirito (Figura 6.9). As cavernas sem feições cársticas foram formadas na canga detrítica ou no contato da canga detrítica com o itabirito da Formação Cauê (Figura 6.9). Já as cavernas com feições cársticas foram formadas no contato da canga detrítica com o itabirito ou no contato da canga detrítica com o itabirito associada à matacões de itabirito (Figura 6.9).

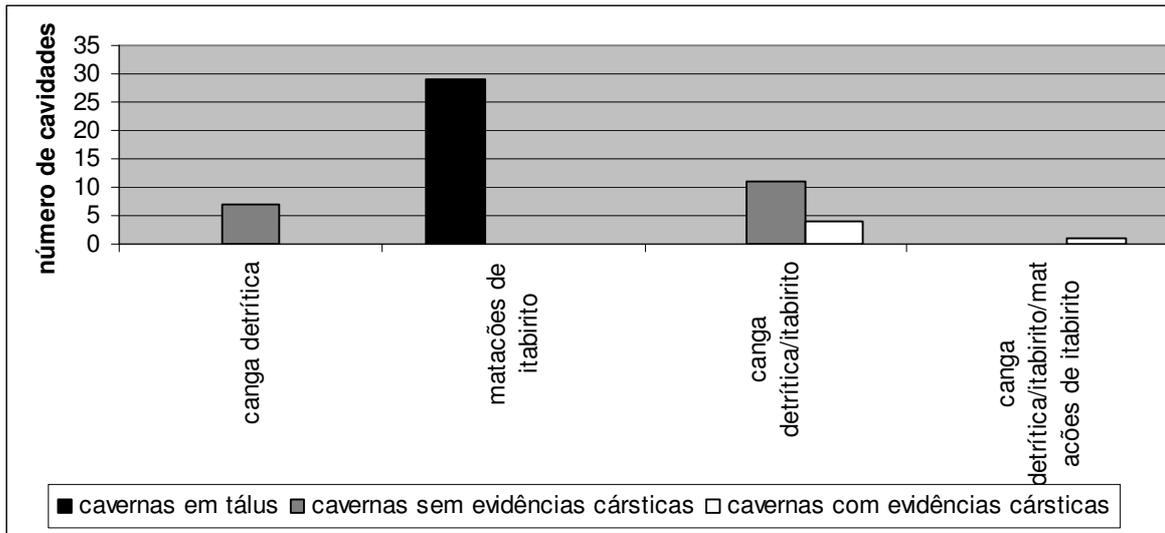
Em termos de porcentagem, constatou-se que todas as cavidades em tálus (100%) são formadas por matacões de itabirito<sup>9</sup> (Figura 6.10-A). Já 61% das cavidades sem feições cársticas foram formadas no contato da canga detrítica com o itabirito e 39% na canga detrítica (Figura 6.10-B). Por fim, 80% das cavidades com feições cársticas foram formadas no contato da canga detrítica com o itabirito e 20% na canga detrítica (Figura 6.10-C).

Baseando-se no parâmetro litologia, pode-se inferir que, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade são caracterizadas por serem formadas por matacões de itabirito, mesmo porque predominam a classe de cavidades em tálus na área de estudo (Figura 6.10-D). Entretanto, também é recorrente as cavidades formadas na canga detrítica ou no contato desta litologia com o itabirito da Formação Cauê (Figura 6.10-D).

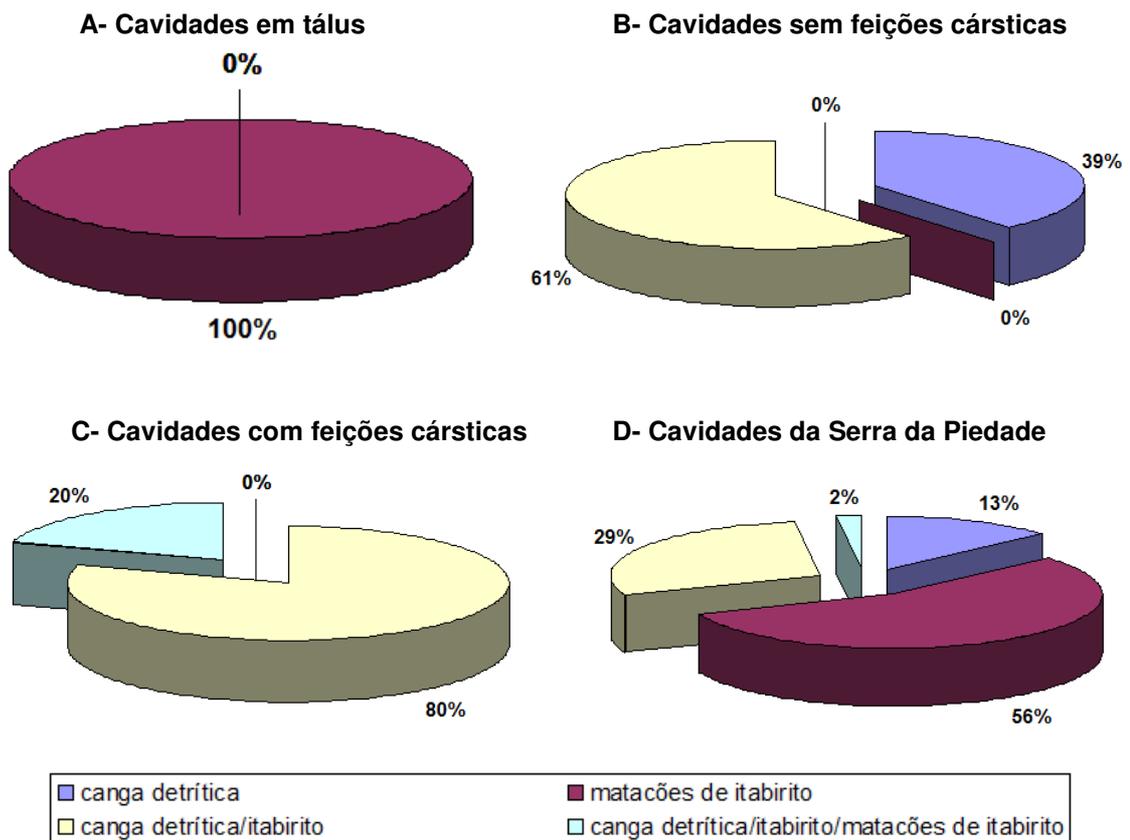
---

<sup>8</sup> Nesta classe também foram agrupadas as cavidades onde não foi possível afirmar, em campo, se o itabirito estava *in situ* ou se consiste em matacões desta litologia, que cimentaram com os demais clastos da canga detrítica. Entretanto, segundo o mapa da Quadrícula da Serra da Piedade, as cavidades estão situadas neste contato.

<sup>9</sup> Tal fato é evidente, pois pela própria denominação do termo “cavernas em tálus”, já infere-se que as mesmas foram formadas por blocos ou matacões de alguma litologia.



**Figura 6.9:** Relação entre o número de cavernas de cada classe e a litologia.



**Figura 6.10:** Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe e a litologia.

## 6.5 Cavernas X escarpa

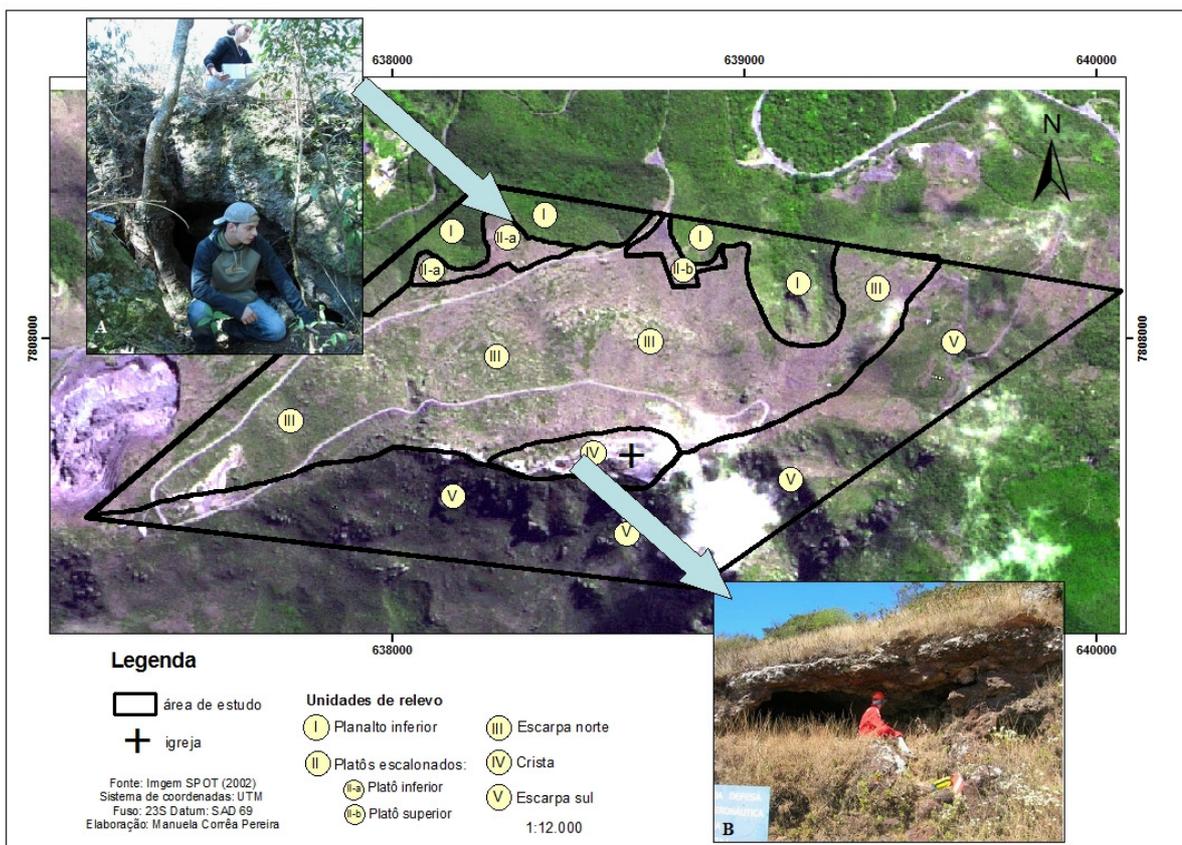
Em campo e através da análise de imagens de satélite, constatou-se que as cavidades da Serra da Piedade puderam ser agrupadas em três categorias, que caracterizam a tipologia do relevo na qual estão inseridas: cavidades inseridas na ruptura do relevo, sendo que a escarpa desta ruptura possui continuidade lateral expressiva (Figura 6.11-A); cavidades inseridas na ruptura do relevo, sendo que a escarpa desta ruptura possui continuidade lateral pouco expressiva (Figura 6.11-B); e cavidades que não estão localizadas na ruptura do relevo, logo não estão situadas em nenhuma tipologia de escarpa.

Entendem-se como cavidades com continuidade lateral expressiva, as cavernas situadas nas bordas dos platôs considerados como unidades de relevo para este estudo (rever capítulo 3). As escarpas destes platôs possuem dimensões mapeáveis na escala de 1:12.000 (Figura 6.11-A). Já as cavidades com continuidade lateral pouco expressiva, estão localizadas em pequenos platôs, que foram identificados em campo, mas não são mapeáveis para escala deste estudo (Figura 6.11-B).

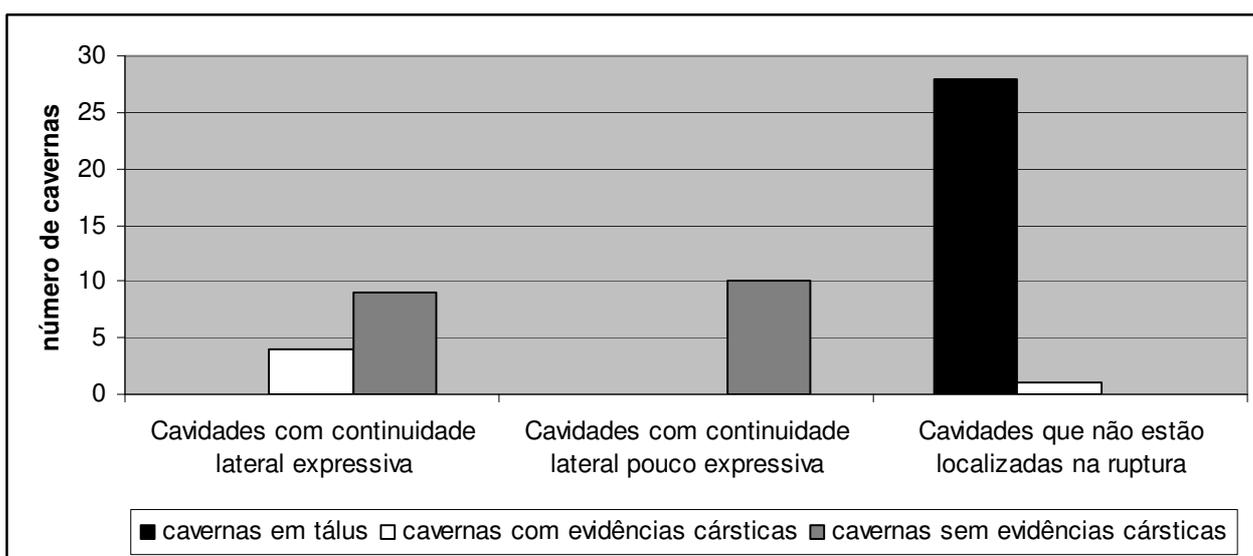
Ao estabelecer uma relação entre a tipologia da escarpa e a tipologia das cavidades, observou-se que todas as cavidades em tálus não estão situadas na ruptura do relevo, portanto não apresentam escarpa (Figura 6.12). As cavidades sem evidências cársticas foram desenvolvidas tanto na escarpa com continuidade lateral expressiva como na escarpa com continuidade lateral pouco expressiva (Figura 6.12). Já quatro cavidades com evidências cársticas foram desenvolvidas na escarpa lateral com continuidade expressiva e apenas uma não está contextualizada na ruptura do relevo (Figura 6.12).

Em termos de porcentagem, 100% das cavidades em tálus não estão localizadas na ruptura do relevo (Figura 6.13-A), mesmo porque estas cavidades foram formadas por processos exógenos. A maioria ou 56% das cavidades sem feições cársticas está situada em escarpas com continuidade lateral pouco expressiva (Figura 6.13-B). Por fim, a maioria ou 80% das cavidades com feições cársticas está situada em escarpas com continuidade lateral expressiva (Figura 6.13-C). A única cavidade que não está situada na ruptura do relevo é a Gruta da Piedade, cavidade de maior projeção horizontal da área de estudo.

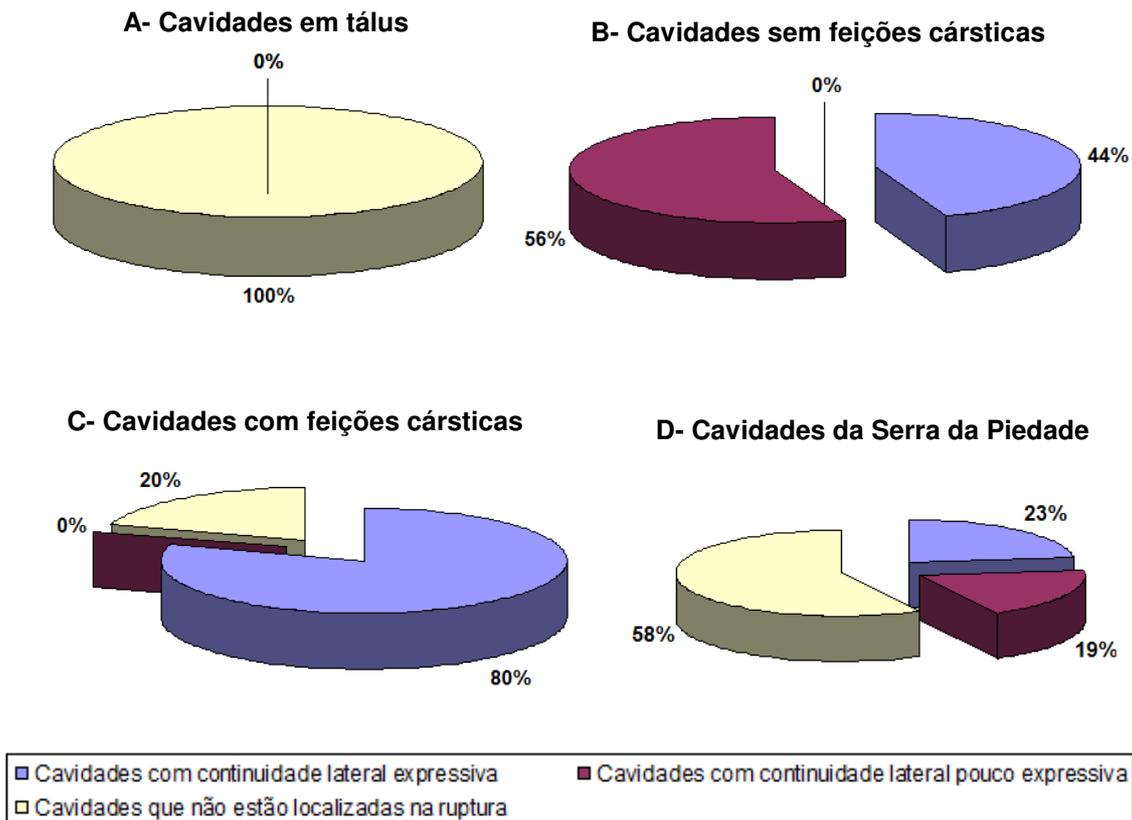
Baseando-se no parâmetro tipologia da escarpa, pode-se inferir que, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade são caracterizadas por não estarem situadas na ruptura do relevo, mesmo porque predominam a classe de cavidades em tálus na área de estudo (Figura 6.13-D). Entretanto, também são recorrentes as cavidades que estão localizadas na ruptura do relevo.



**Figura 6.11:** Imagem de satélite onde estão contextualizadas a unidades de relevo da área de estudo e duas cavidades: (A) Gruta do Chuveirinho, caverna com feições cársticas, localizada numa escarpa com continuidade lateral expressiva, que consiste na borda do platô inferior; (B) Gruta da Placa Azul, caverna sem feições cársticas, localizada numa escarpa com continuidade lateral pouco expressiva, que por sua vez está situada no interior da unidade crista.



**Figura 6.12:** Relação entre o número de cavernas presentes em cada classe e a tipologia da escarpa na qual estão inseridas.



**Figura 6.13:** Relação entre a porcentagem de cavernas presentes em cada classe e a tipologia da escarpa na qual estão inseridas.

## 6.6 Perfil das cavidades da Serra da Piedade

Neste tópico, buscou-se traçar um perfil das cavidades da Serra da Piedade. Para isso, elaborou-se um quadro contendo as classes de cavernas (cavidades em tálus, cavidades sem feições cársticas, cavidades com feições cársticas e o total de cavidades da Serra da Piedade) e as classes dos parâmetros analisados<sup>10</sup> (projeção horizontal, declividade, hipsometria, litologia e escarpa) (Tabela 6.3).

<sup>10</sup> Neste quadro foi representado somente a classe de cada parâmetro que predominou para cada tipologia de cavidade.

**Tabela 6.3:** Relação entre os tipos de cavernas da Serra da Piedade e suas respectivas classes que predominaram nos quesitos: projeção horizontal, declividade, hipsometria, litologia e escarpa.

<b>Tipologia da caverna</b>	<b>Projeção</b>	<b>Declividade</b>	<b>Hipsometria</b>	<b>Litologia</b>	<b>Escarpa</b>
cavidades em tálus	classe 1	classe 3	classe 5	matacões de itabirito	não apresenta
cavidades sem feições cársticas	classe 1	classe 2	classe 2	canga detrítica/itabirito	pouco expressiva
cavidades com feições cársticas	classe 4	classe 2	classe 2	canga detrítica/itabirito	expressiva
cavidades da Serra da Piedade	classe 1	classe 2	classe 2	canga detrítica/itabirito	não apresenta

Conforme constatado da Tabela 6.3, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade, são caracterizadas por serem pouco desenvolvidas (classe 1, 0-15 metros de projeção horizontal); estarem num relevo que tende a ser suave em relação ao seu entorno (classe 2, 10-20% de declividade), estarem situadas em um dos patamares altimétricos mais rebaixados da área de estudo (classe 2, 1.420-1.480 metros); serem desenvolvidas no contato da canga detrítica com o itabirito da Formação Cauê e não apresentarem escarpa.

Pode-se constatar que, apesar das cavidades em tálus serem a maioria em número (29 de 52 cavidades levantadas), esta categoria foi a que adquiriu menor peso quando às demais categorias (Tabela 6.3). Os parâmetros projeção horizontal e escarpa das cavernas em tálus são os únicos que coincidem com os parâmetros do total de cavidades da Serra da Piedade (Tabela 6.3).

As cavidades sem feições cársticas é a categoria que mais se aproxima das características do total de cavernas (Tabela 6.3). Todos os parâmetros das cavernas sem feições cársticas coincidem com os parâmetros do total de cavidades da Serra da Piedade, exceto a tipologia de escarpa.

Por fim, a classe das cavidades com feições cársticas obteve um peso intermediário (Tabela 6.3). Já que dentre os cinco parâmetros analisados, três coincidem com os parâmetros do total de cavidades da Serra da Piedade: declividade, hipsometria e litologia.

A Gruta da Piedade, cavidade com feições cársticas pertencente ao grupo das cavidades localizadas na porção superior da escarpa norte (rever capítulo anterior), é a caverna que mais se destaca por distanciar dos parâmetros projeção horizontal, litologia e escarpa do total de cavidades da Serra da Piedade (Tabela 6.3). Esta cavidade possui 365 metros de projeção horizontal, valor que supera todas as cavidades já registradas no Quadrilátero Ferrífero (CECAV, 2009). A Gruta da Piedade é a única cavidade que apresenta salões e condutos que foram formados, tanto na canga detrítica, como no contato desta

litologia com o itabirito e por matacões de itabirito. Além disso, diferente do comportamento de todas as cavidades com e sem feições cársticas, nenhuma entrada da Gruta da Piedade está inserida na ruptura do relevo.

## **7 FEIÇÕES CÁRSTICAS DA SERRA DA PIEDADE**

### **7.1 Considerações iniciais**

Ao longo do capítulo 5, foram descritas e classificadas as cavidades da Serra da Piedade. Dentre as categorias criadas ao longo deste capítulo, destaca-se aquela intitulada como “cavernas com feições cársticas”. Conforme abordado ao longo do capítulo 1, o “carste” em rochas não carbonáticas é uma temática que pode ser considerada recente, mesmo porque, este termo era atribuído somente a paisagens esculpidas sobre rochas tradicionalmente cársticas, como o calcário e o dolomito.

Considerando-se que o termo “carste” refere-se a uma forma caracterizada como um “vazio” presente na rocha e gerado por processos de dissolução (RODET, 2011), infere-se que existem processos de carstificação nas rochas ferríferas da Serra da Piedade. Entretanto, é importante ressaltar que o relevo da Serra da Piedade não pode ser considerado cárstico. Apesar de processos de carstificação serem recorrentes na área de estudo, as dimensões destas feições são pouco significativas para que este relevo receba tal denominação.

### **7.2 Feições endocársticas das cavernas da Serra da Piedade**

Conforme abordado ao longo do capítulo 5, as cavernas denominadas Gruta da Piedade, Gruta do Cascalhinho, Gruta da Macumba, Gruta do Chuveirinho e Gruta do Triângulo foram classificadas como cársticas. No interior destas cavidades foram encontradas feições cársticas como preenchimento, paleopiso, domo, alvéolo e pendente.

Um preenchimento alterítico<sup>11</sup> foi encontrado no teto da Gruta do Triângulo. Tal feição pode ser um indício de que esta cavidade estava obstruída por sedimentos, ou seja, sofreu processos de carstificação. Logo o preenchimento encontrado no teto desta gruta, pode ser considerado um produto residual dos sedimentos gerados pelo intemperismo. Isto indica que a cavidade, em algum momento, sofreu a dinâmica paragenética<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Resultante da alteração da rocha.

<sup>12</sup> A paragênese é uma dinâmica de escoamento, que condiciona a evolução de uma galeria, agindo no seu próprio entupimento por ação química e acumulação sedimentar (RENAULT, 1968). Desse modo, o preenchimento encontrado na Gruta do Triângulo é uma relíquia, já que os demais sedimentos podem ter sofrido ação química, pois foram dissolvidos ou carreados por esta ação freática.

Feições que se assemelham a paleopisos foram constatadas nas cavernas denominadas Gruta da Macumba, Gruta do Triângulo e Gruta do Chuveirinho. Estas feições podem indicar que estas cavidades sofreram duas fases de formação, comprovando a presença de dois níveis na cavidade.

Feições denominadas domos foram encontradas na Gruta do Cascalhinho. Este tipo de feição pode indicar um período freático da cavidade. Desse modo, houve aumento de CO<sub>2</sub>, possibilitado pelo contato entre a água e o ar. Logo, houve um intenso intercâmbio geoquímico entre o ar carregado deste gás e a rocha. O resultado desta ação corrosiva pode ser evidenciado nas formas circulares e côncavas encontradas no teto desta Gruta.

Feições como alvéolos estão presentes tanto na entrada da Gruta da Piedade como no interior da mesma. Alguns autores associam a presença de alvéolos na entrada das cavidades com a ação de agentes orgânicos (Willems *et al.*, 2002). Entretanto, tais feições também são encontradas em seu interior. Desse modo, estes alvéolos podem ser vistos como elementos originais que com a coalescência, resultam em tubos (pipes) e anastomoses.

Por fim, pendentes foram encontrados na Gruta da Piedade e do Cascalhinho. Esta feição relíquia pode ter indicado a ação dissolutiva da água, que colaborou com a coalescência de dois condutos. Piló (2000) considera que esta forma residual é típica do processo paragenético, onde o resultado é a ampliação do conduto pré-existente de forma ascendente.

### **7.3 Feições exocársticas da Serra da Piedade**

Na etapa de campo, além das feições endocársticas, também constatou-se a existência de feições cársticas superficiais na Serra da Piedade. Estas feições se assemelham as formas de dissolução classificadas como *kamenitzas*. *Kamenitza* é um termo esloveno que significa bacia. Para Ford Williams (2007) esta forma é classificada como “solution pans” ou “painéis de dissolução” e são caracterizadas por uma base plana ou quase plana, onde há a presença de um exutório.

No caso das *kamenitzas* da Serra da Piedade, foi observado que a banda de hematita se sobressai quando comparada à banda composta por sílica. Logo, é possível inferir que a solubilidade da banda silícica é maior do que a banda composta por ferro. Entretanto, esta última também pode ter sofrido dissolução. Estas feições possuem pequenas dimensões quando comparadas às feições carbonáticas (Figura 7.1).



**Figura 7.1:** Kaminitzas encontradas na Serra da Piedade.

#### **7.4 Litologia e inserção das cavernas *in situ* no relevo da Serra da Piedade**

Ao longo do capítulo 6, pode-se notar que as cavernas com feições cársticas apresentam características que se assemelham as das cavernas sem feições cársticas. Dentre estas características destacam-se a litologia e a tipologia do relevo.

Quatro das cinco cavernas com feições cársticas estão localizadas nas bordas da unidade de relevo denominada platô escalonado e onze das dezoito cavernas sem feições cársticas também estão localizadas nesta unidade. Apesar de não haver nenhuma feição que evidencie processos de carstificação, acredita-se que grande parte destas cavidades teve origem cárstica por estarem posicionadas na borda da mesma unidade de relevo das cavernas com feições cársticas.

A litologia também é um fator comum entre as cavernas com feições cársticas e sem feições cársticas localizadas nas bordas dos platôs, sobretudo na borda do platô superior. Em campo, contactou-se que todas as cavernas do platô superior foram formadas no contato da

canga detrítica com o itabirito da Formação Cauê<sup>13</sup>. Este contato também foi constatado em todas as cavidades com feições cársticas. Já grande parte das cavernas sem evidências cársticas do platô inferior, foi formada na canga detrítica. Apesar deste fato, deve-se considerar que o itabirito, em comparação é uma rocha menos resistente aos processos intempéricos, logo esta litologia pode não estar mais presente nestas cavidades por ter sido lixiviada.

As demais cavidades sem feições cársticas<sup>14</sup> aparentam ter sua gênese atrelada a processos de abatimentos. No seu interior foram constatados blocos e matacões de canga e fraturas que aparentam ser atectônicas. O abatimento destes sedimentos clásticos pode ter sido favorecido por estas fraturas. Este processo também foi constatado por Pilo; Auler (2009) nas cavidades em canga da Serra dos Carajás. Para estes autores estas fraturas foram denominadas como juntas de alívio de pressão, que influenciam a ocorrência de movimentos de massa e frentes de alteração química da rocha.

## **7.5 Cavidades cársticas da Serra da Piedade X demais cavidades já descritas no Quadrilátero Ferrífero**

Estabelecendo um paralelo entre as cavidades da Serra da Piedade e as demais cavidades já relatadas no Quadrilátero Ferrífero por outros autores, foram constatadas semelhanças e diferenças. Assim como as cavernas com feições cársticas da Serra da Piedade, as “cavernas de dissolução” da Serra do Tamanduá, descritas por Simmons (1963), também foram formadas no contato da canga com o itabirito. Entretanto, o autor relata que as cavernas erosivas desta Serra estão imediatamente abaixo do manto de canga. Já na Serra da Piedade, quatro das cinco cavernas com feições cársticas também estão localizadas, imediatamente, abaixo do manto de canga.

Pilo; Auler (2005) observaram que as cavernas em formações ferríferas da região de Capão Xavier no Quadrilátero Ferrífero/MG também se assemelham às cavernas descritas por Simmons (1963). Logo, na região do Capão Xavier haveria “cavernas de erosão” e “cavernas de dissolução”. Entretanto, os autores não utilizaram esta terminologia, pois acreditam que mesmo nas cavernas denominadas “erosivas” pode haver ocorrência da ação dissolutiva. Na

---

<sup>13</sup> Conforme abordado ao longo do capítulo 6, em algumas destas cavidades não foi possível afirmar se o itabirito estava *in situ* ou se consiste em um matacão que cimentou com os demais clastos da canga detrítica.

<sup>14</sup> Estas cavidades não estão localizadas nas bordas dos platôs, portanto estão localizadas na escarpa com continuidade lateral pouco expressiva (rever capítulos 6 e 7).

Serra da Piedade, apesar das cavernas cársticas terem obtido tal denominação, estas cavidades também sofreram processos erosivos.

Por fim, as cavidades cársticas da Serra da Piedade, se assemelham as cavidades classificadas como endógenas por Stávale (2007)<sup>15</sup>. Entretanto, as cavidades formadas por processos exógenos, não foram encontradas na área em estudo<sup>16</sup>.

---

<sup>15</sup> Para esta autora, este tipo de cavidade é caracterizado por possuir grandes dimensões e processos de dissolução associados a sua gênese.

<sup>16</sup> Para esta autora, cavidades exógenas ocorrem graças ao processo de retração lateral da vertente, onde o itabirito subjacente à canga é erodido e esta carapaça sustenta o teto da cavidade.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se que, na Serra da Piedade, cavidades em formações ferríferas e canga são geoformas recorrentes, já que foram encontradas 52 cavidades em 192 hectares. Estas cavidades puderam ser agrupadas em três classes: cavidades em tálus (29), cavidades sem feições cársticas (18) e cavidades com feições cársticas (5).

Do ponto de vista da Geomorfologia Cárstica, as formas encontradas nas cavernas com feições cársticas e as feições superficiais de dissolução são significativas. Elas indicam processos de carstificação em rochas ferríferas, embora não sejam tão desenvolvidas como as feições presentes em rochas carbonáticas e siliciclásticas.

Quanto aos parâmetros analisados no sexto capítulo desta dissertação, verificou-se que, de modo geral, as cavidades da Serra da Piedade são caracterizadas por: serem pouco desenvolvidas; estarem localizadas num relevo que tende a ser suave em relação ao seu entorno; estarem situadas em patamares altimétricos mais rebaixados; serem desenvolvidas no contato da canga detrítica com o itabirito da Formação Cauê; e não apresentarem escarpa. Entretanto, a categoria de maior destaque, composta por cavernas com feições cársticas, possui as cavidades desenvolvidas e que estão localizadas nas bordas dos platôs, ou seja, na escarpa com continuidade lateral expressiva.

Dentre as cavernas levantadas e analisadas, a Gruta da Piedade, cavidade com feições cársticas, é a cavidade de maior destaque. Esta cavidade possui 365 metros de projeção horizontal, valor que supera todas as cavidades em itabirito e canga já registradas no Quadrilátero Ferrífero (CECAV, 2009). A Gruta da Piedade é a única cavidade que apresenta salões e condutos que foram formados tanto na canga detrítica, como no contato desta litologia com o itabirito e por matacões de itabirito. Além disso, diferente do comportamento de todas as cavidades com e sem feições cársticas, nenhuma entrada da Gruta da Piedade está inserida na ruptura do relevo.

Espera-se que os levantamentos e as análises realizados nesta dissertação sirvam de base para estudos mais aprofundados que envolvam cavidades na Serra da Piedade. Uma vez que, neste trabalho, buscou-se debater sobre estas cavidades de forma horizontalizada. Logo, devido a quase ausência de estudos acadêmicos acerca da gênese e evolução destas geoformas, torna-se necessário pesquisas mais aprofundadas sobre este tema. Principalmente para, através de análises geológicas e geoquímicas, explicar, de forma mais sistematizada, a morfogênese e a morfodinâmica destas cavidades.

Espera-se também, que este trabalho desperte o interesse de outras áreas relacionadas aos estudos espeleológicos, além da geociências. As cavernas em minério de ferro/itabirito e canga da Serra da Piedade podem conter informações preciosas para a biologia, arqueologia, paleontologia, história e estudos religiosos, que não foram abordados nesta dissertação.

## REFERÊNCIAS

- ALKIMIM, F. F., MARSHAK, S. (1998). Transamazonian Orogeny in the São Francisco Cráton, Minas Gerais, Brazil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Res.**, 90:29-58.
- AULER, A.; PILÓ, L. B. (2005). Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **O Carste**, Belo Horizonte, 17(3):70-72.
- BARBOSA, O. *et al.* (1966). **Geologia estratigráfica, estrutural da área do Projeto ARAGUAIA**. Rio de Janeiro: MME; DNPM. 95 p. (Monografia 19).
- BOWDEN, D. J. (1980). Sub-Laterite Cave Systems and Other Pseudokarst Phenomena in Theye Humid Tropics. The Example of the Kasewe Hills, Sierra Leone. **Z. Geomorph.**, 24:77-90.
- BOYÉ, M.; PASCUAL, J. F. (1977). Sur la présence d'alunite à la grotte de Fourgassié dans lês bauxites des montagnes de Roura (Guyane Française). **Rev. Géomorphol. Dynam.**, Paris, 26(1):1-14.
- BUENO, M. E. T. (1992). Geografia da Serra da Piedade. In: Duarte, R. H. (Org.). **Serra da Piedade**. Belo Horizonte: CEMIG. 136 p.
- BULL, L. J.; KIRKBY, M. J. (1997). Gully Processes and Modelling. **Progress in Physical Geography**, 21(3):354-374.
- CARVALHO, A. F.; CURI, N.; AHINZATO, E. (2010). Relações solo paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 45(8):903-916.
- CECAV – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. (2010). **Base de dados das cavernas localizadas em Minas Gerais**. Disponível em: <[www.icmbio.gov.br/cecav](http://www.icmbio.gov.br/cecav)>. Acesso em: 8 out. 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980). A morfologia cárstica. In: \_\_\_\_\_. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher. p. 153-158.
- COELHO, C. E. S. (1986). Depósitos de ferro da Serra do Carajás, Pará. In: SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. (Coord.). **Principais depósitos minerais do Brasil, ferro e metais da indústria de aço**. Brasília: DNPM, v. 2. p. 29-64.

DECHÉLAT, E. (1938). Le modèle latéritique de l'ouest de la Guinée Française, **Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dynam.**, 2(1):5-120.

DIXEY, L. (1920). Notes on laterization in Sierra Leone. **Geol. Magaz.**, 57:211-220.

DORR, J.V.N. II *et al.* (1957) **Revisão estratigráfica pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 36 p.

DORR, J.V.N. II (1969) **Physiographic Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. United States Geological Survey Professional Paper 641-A, 109 p.

FONSECA, A. C. R. (2009). Análise química dos espeleotemas goethíticos e hematíticos das Crostas Ferruginosas de região de Morro das Balas, município de Formiga- MG. **Conexão Ciência**, 4:1-145.

FORD, D.; WILLIAMS, P. (2007). **Karst Geomorphology and Hydrology**. London: Chapman and Hall.

GAUTIER, E. F. (1902). **Madagascar**: essai de géographie physique. Paris. Collin.

GUILD, J. N. (1957). **Geology and Mineral Resources of the Conganhas District**. United States Geological Survey Professional Paper 641-A, 110 p.

HARDT, R.; PINTO, S. A. F. (2009). Carste em litologias não carbonáticas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 10:99-105.

HENWOOD, W. J. (1871). On the Gold Mines of Minas Gerais. In: \_\_\_\_\_. **Observations on Metalliferous Deposits**. New York: William Cornish. p. 168-370. (Transactions of the Royal Geological Society of Cornwall, v. 8).

HERZ, N. (1970). **Metamorphic Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Geological Survey Professional Paper 641-C, p. 1-81.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2005. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home](http://www.ibge.gov.br/home)>. Acesso em: 9 jul. 2010.

JENNINGS, J. N. (1985). **Karst Geomorphology**. Oxford: Basil Blackwell. p. 106-117.

JOFFILY, R. Croqui em papel vegetal (dimensões 104 cm x 56 cm) (sem data). Belo Horizonte: Memorial da Arquidiocese de Belo Horizonte.

LAMOUNIER, W. L. *et al.* (2010). A influência da litologia na distribuição da cobertura vegetal e no uso do solo na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero - MG. **Revista Geografias**, 6(1). p. 152-165.

LOBATO, L. M. *et al.* (2005). **Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG com nota explicativa**. Belo Horizonte: CODEMIG. CD-ROM.

MACHADO, N.; CARNEIRO, M. (1992). U-Pb Evidence of Late Archean Tectono-Thermal Activity in Southern São Francisco Shield, Brazil. **Can. J. Earth Sci.**, 29:2341-2346.

MARENT, B. R.; SALGADO, A. A. R. (2010). Mapeamento das unidades do relevo da porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero – MG. **Geografias**, Belo Horizonte, 6(1):118-139.

MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. (2005). Evolução da cobertura de alteração no Platô N1 Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. **O Carste**, Belo Horizonte, 17(3):78-91.

MCFARLANE, M. J. (1976). **Laterite and Landscape**. London: Academic Press. 151 p.

MCFARLANE, M. J.; TWIDALE, C. R. (1987). Karstic Features Associated with Tropical Weathering Profiles. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Supplement Band, 64:73-95.

MINAS GERAIS. **Lei n. 15.178**, de 16 de junho de 2004. Autoriza o IEPHA/MG (Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais) a definir os limites de conservação da Serra da Piedade, conforme previsto pela Constituição Estadual. Belo Horizonte, 2004.

MOREIRA, J. R. A.; PINHEIRO R. V. L.; PAIVA, R. S. (1986). **Novos dados espeleológicos dos platôs N1 e N4 da Serra dos Carajás**. Belém: Grupo Espeleológico Paraense – GEP. 23 p. Relatório.

NOCE, C. M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. (1998). U-Pb Geochronology of Gneisses and Granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco Craton): Age Constraints for Archean and Paleoproterozoic Magmatism and Metamorphism. **Revista Brasileira de Geociências**, 28 (1):95-102.

NUNES, B. A.; IBGE (1995). **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, (Manuais técnicos em geociências; nº 5).

PALMER, A. N. (2009). **Cave Geology**. 2 ed. Kansas, Allen Press 454p.

PEREIRA, M. C.; SALGADO, A. A. R. (2010). Mapeamento e análise das depressões cársticas presentes na Serra do Gandarela – Quadrilátero Ferrífero/MG: Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8., Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, p. 1-14.

PEREIRA, M. C; SOUZA, T. A. R. (2009). A ocorrência de cavernas em minério de ferro e canga: a evolução dos estudos geoespeleológicos no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos\\_expandidos/eixo4/003.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos_expandidos/eixo4/003.pdf)>. Acesso em: 8 mar. 2012.

PILÓ, L. B (2000). Geomorfología cárstica. In: Revista Brasileira de Geomorfologia. Minas Gerais, v. 1, n. 1, p. 88-102.

PILÓ, L. B.; AULER, A. (2005). Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG. **O Carste**, 17(3):92-105.

PILÓ, L. B.; AULER, A. (2009). Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da região de Carajás, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30., Montes Claros. **Anais...** Montes Claros: Sociedade Brasileira de Espeleologia. p.181-186.

PINHEIRO, R. V. L.; SILVEIRA, L. T.; MAURITY, C. W.; HENRIQUES, A. L. (1985). **Considerações preliminares sobre a espeleologia da Serra dos Carajás (PA)**. Belém: Grupo Espeleológico Paraense – GEP. 38 p. Relatório.

PINHEIRO, R. V. L.; MAURITY, C. W. (1988). As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil. In: CONGRESSO DE ESPELEOLOGIA DA AMÉRICA LATINA E DO CARIBE, 1., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Espeleologia. p. 179-186.

PISSIS, N. A. (1842). Mémoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulèvements qui, à diverses époques, ont changé le relief de cette contrée. **Memoire de L’Institute de France**, 10:353-413.

RENAULT, Ph. (1968). **Contribution à l’ étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse**. 3e partie: Les facteurs sédimentologiques. *Annales de Spéléologie*, 23(3): 529-596.

RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. (1994).Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil.**Geonomos**, Belo Horizonte, 2:1-11.

RIZZINI, C. T. (1976). **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos. São Paulo: Hucitec.

RODET, J. (2011). **Tópicos Especiais IV**: Geografia cárstica – princípios e técnicas. Belo Horizonte, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, ago.-nov. Minicurso.

ROSIERE, C. A.; CHEMALE JR., F. (2000) . Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero – uma visão geral e discussão. **Geonomos**, Belo Horizonte, 8(2):27-42.

RUCHKYS, Ú. A.; RENGGER, F. E.; NOCE, C. M.; MACHADO, M.M.M. (2007). Serra da Piedade, Minas Gerais: da lenda do Sabarabuçu ao patrimônio histórico, geológico, paisagístico e religioso. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; Born, M. L. B. (Org.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília (DF): Ministério de Minas e Energia; DNPM; CPRM; SIGEP.v. II.

RUCHKYS, Ú. A.; VITINI, M. S.; GUIMARÃES, R. L. (2009). Geoparks, regiões de mineração e Quadrilátero Ferrífero: um modelo sistêmico de gestão territorial possível? In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO, 64., Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração.

SAINT-HILAIRE, A. (1974). **Viagem pelo distrito dos diamantes e litoral do Brasil**. Belo Horizonte: Itatiaia.

SALGADO, A. A. R. *et al.* (2004).O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, 5(1):55-69.

SALGADO, A. A. R.(2006). **Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG**: Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais. Tese (Doutorado em Geografia)– Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SALGADO, A. A. R. *et al.* (2007-a). Study of the Erosive and Denudational Processes in the Upper Córrego Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG - Brazil) by the in Situ-Produced Cosmogenic <sup>10</sup>Be Method.**Earth Surface Processes and Landforms**, 32:905-911.

SALGADO, A. A. R. *et al.* (2007-b) Estimativa das taxas de erosão das terras altas da alta bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: implicações para a evolução do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, 8:1-8.

SALGADO, A. A. R. *et al.* (2008). Relief Evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by Means of (10Be) Cosmogenic Nuclei. **Zeitschrift für Geomorphologie**, 52:317-323.

SANTOS, R.D. *et al.* (2005). **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS. 92 p.

SCLIAR, C. (1992). Geologia da Serra da Piedade. In: DUARTE, R. H. (Org.). **Serra da Piedade**. Belo Horizonte: Cemig. 136 p.

SILVA, S. M. (2004). **Carstificação em Rochas Siliciclásticas: Estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais** (Dissertação). Belo Horizonte: UFMG, 143p.

SIMMONS, G. C. (1960). Origin of Certain Cangas of the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, 9:37-59.

SIMMONS, G. C. (1963). Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Trad. Augusto Auler. **The National Speleological Society Bulletin**, 25:66-72.

SIMMONS, G. C. (1964). Leucophosphite, a New Occurrence in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **The American Mineralogist**, 49:377-386.

STÁVALE, Y. O. (2007). **Cavernas em minério de ferro – Quadrilátero Ferrífero – Parque Estadual do Rola Moça**. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TASSINI, R. (1947). **Verdades históricas e pré-históricas de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Edição do Autor.

TOLBERT, G. E.; TREMAINE J. W.; MELCHER, G. C.; GOMESC, B. (1971). The Recently Discovered Serra dos Carajás Iron Deposits, Northern Brazil. **Economic Geology**, Carajás, 66(7):985-994.

TRICART, J. (1972). **The Landforms of the Humid Tropics, Forests and Savanas**. London: Longman.

TWIDALE, C. R. (1987). Sinkholes (Dolines) in Lateritised Sediments, Western Sturt Plateau, Northern Territory, Australia. **Geomorphology**, 1:33-52.

VIANELLO, R.L., MAIA, L. F. P.G. (1986). Estudo preliminar da climatologia dinâmica do estado de Minas Gerais. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 12(138): 6-8.

WERNEK, G. (2011). Mineiros celebram os 50 anos da padroeira do estado. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 11 jul. 2010. Disponível em: <[http://www.uai.com.br/htmls/app/noticia173/2010/07/11/noticia\\_minas,i=168304/MINEIROS+CELEBRAM+OS+50+ANOS+DA+PADROEIRA+DO+ESTADO.shtml](http://www.uai.com.br/htmls/app/noticia173/2010/07/11/noticia_minas,i=168304/MINEIROS+CELEBRAM+OS+50+ANOS+DA+PADROEIRA+DO+ESTADO.shtml)>. Acesso em: 28 fev. 2011.

WHITE, W. B. (1988). **Geomorphology and Hidrology of Karst Terrains**. 1.ed. Oxford: Oxford University Press.

WILLEMS, L. (2000). **Phénomènes karstiques en roches silicatées non carbonatées**. Thèse (Doctorat en Sciences) –Département des sciences géographiques, Université de Liege, Liege.

## ANEXOS