

# MODELO EVOLUTIVO PARA A GRUTA DO MURO, OURO BRANCO - MG

## EVOLVING MODEL FOR THE GRUTA DO MURO, OURO BRANCO – MG

Marco Antonio Bragante-Filho (1,2), Cláudio Mauricio Teixeira-Silva (1), João Paulo Alves (1,2), Bruna de Oliveira Meyer (1,2), Letícia Batisteli (1,2), Pedro Henrique Assunção (1,2), Paulo Eduardo Lima (1,2), Mateus Lima Rosa (1,2), Érica Nunes (3), Lorena de Oliveira Pires (1,2), Jeferson Alves Araújo-Junior (1,2), Pedro Inácio Cruz-Neto (1,2) & Ícaro Souza Abreu (1,2)

(1) Sociedade Excursionista & Espeleológica, Ouro Preto MG.

(2) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto MG.

(2) Sociedade Brasileira de Espeleologia, São Paulo - SP.

Contatos: [marcoab.filho@gmail.com](mailto:marcoab.filho@gmail.com); [claudiomts@gmail.com](mailto:claudiomts@gmail.com).

### Resumo

Este artigo sintetiza os estudos geoespeleológicos realizados na gruta do Muro (CNC, MG-1943) inserida no Parque Estadual da Serra de Ouro Branco no município de Ouro Branco, região centro-sul do estado de Minas Gerais. A gruta do Muro se desenvolve em rochas metareníticas do Grupo Itacolomi e pertence à porção sudeste da região conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Foi realizado o levantamento das litofácies, das estruturas e feições geológicas, dos seus aspectos hidrogeológicos e hidrológicos, e dos depósitos sedimentares alóctones e autóctones. Como resultados desses estudos foram elaborados um mapa estrutural, um perfil estratigráfico e estereogramas de densidades dos pólos de superfícies geológicas. Através da interpretação desses diversos dados estabeleceu-se uma história evolutiva para a gênese da gruta do Muro. Esta história foi dividida em três etapas: deposição da rocha hospedeira, deformação da rocha hospedeira e estágio de estabilidade tectônica. Essa última dividida em dois períodos: juvenil e maduro, em que atuam processos sob influência da zona freática e vadosa respectivamente. A gruta encontra-se no estágio de formação de estabilidade tectônica com fluxos hídricos ativos, percolação de fluidos em planos de fraqueza, incisão de blocos e formação de espeleotemas.

**Palavras-Chave:** Geoespeleologia; Gruta do Muro; Quadrilátero Ferrífero; Grupo Itacolomi; Parque Estadual da Serra de Ouro Branco.

### Abstract

*This article summarizes the geoespeleological studies undertaken at the Gruta do Muro Cave (CNC, MG-1943), located in the Ouro Branco Mountain Range Park (Parque Estadual da Serra de Ouro Branco), city of Ouro Branco, southern central region of the state of Minas Gerais. Rocks from the Itacolomi group consists of metarenitics, located in the southeastern portion of the Iron Quadrangle (Quadrilátero Ferrífero). The gathering of geoespeleological data was based on the geological framework where the cave is located, namely, the description of: lithofacies; geological structures and features; hydrogeological and hydrological aspects; and the allochthonous and autochthonous sedimentary deposits. The results are: (1) a structural map, (2) a stratigraphic profile; and (3) density stereograms of geological horizons. Based on this data, is interpreted that the genesis of the Gruta do Muro occurred in three stages: host rock deposition; host rock deformation; and tectonic stability. The latter one is divided into two periods: young and mature, influenced by herein work process underneath the influence of groundwater and the vadose zone, respectively.*

**Key-Words:** Geoespeleology; Gruta do Muro cave; Iron Quadrangle; Itacolomi Group; Ouro Branco Mountain Range Park.

## 1. INTRODUÇÃO

As cavidades naturais compreendem qualquer espaço subterrâneo desenvolvido por processos naturais, com ou sem abertura identificada, assim como todo seu conteúdo mineral, hídrico, biótico,

arqueológico, paleontológico, e geológico, independentemente das suas dimensões e configurações do zoneamento fótico (LINO, 2009).

Sob o ponto de vista da “Teoria do Fractal”, “Teoria do Caos” e “Princípio Único”, as complexas

formas que as cavernas apresentam refletem padrões condicionados por inúmeros fatores regionais. Dentre estes fatores, devem ser destacados: tipo de rocha hospedeira, geologia estrutural, espessura do pacote rochoso, ação biológica, temperatura e clima. A Geoespeleologia é o estudo da interação dos processos químicos e físicos que atuam na formação das cavidades naturais subterrâneas. A morfologia das cavernas é o produto de uma interação entre os processos erosivos e de dissolução somados as características da rocha hospedeira. Dentre as características mais importantes deve-se citar: composição, estruturação sedimentar e metamórfica, o grau de diagênese, porosidade e permeabilidade (LINO, 2009).

A gênese de cavidades em rochas siliciclásticas ainda é um tema bastante controverso, visto que a sílica, sob influência das condições superficiais naturais, é resistente ao intemperismo. Martini (1979), Galán (1991), Melo; Giannini (2007) reconhecem a importância dos processos de dissolução química nos estágios iniciais, ainda que sejam predominantes os processos mecânicos no desenvolvimento de cavidades nesse litotipo. Esses autores também afirmam a predominância dos processos químicos sobre a sua matriz, fator que desencadeia o processo de “*piping*”, com desprendimento e erosão dos grãos de quartzo. Neste contexto, Fabri (2011) ressalva a importância da disponibilidade hídrica na atuação dos processos mecânicos sobre a rocha, assim como da conformação topográfica regional. Ainda devem ser considerados outros fatores que influenciam a resistência à dissolução: o grau de cristalização dos grãos, temperatura, acidez, saturação em sólidos totais dissolvidos na solução e tempo de exposição às reações químicas (YARIV; CROSS, 1979). Valores de pH elevados (condições alcalinas) aumentam a solubilidade da sílica (KRAUSKOPF, 1972) e a concentração de ácidos orgânicos na solução pode acelerar a cinética da dissolução dos minerais silicatados (FABRI, 2011, ICEHOWER; DOVE, 2000, WILLEMS *et al*, 2002, VILES *et al*, 1994). No entanto, independente dos fatores condicionantes, a dissolução do quartzo exige elevada estabilidade tectônica regional (MARTINI, 2000, GALÁN, 1991) e dessa forma acompanharia preferencialmente planos e lineações de fraqueza da rocha acentuando a sua porosidade e permeabilidade (TEIXEIRA-SILVA; SOUZA, 1997, TEIXEIRA-SILVA; SIMÕES, 2004, YOUNG, 1986; BUSCHE; SPONHOLZ, 1992; WHITE *et al*, 1966; CORTA-NETO; BARBOSA-FILHO, 1997).

Os processos erosivos que controlam a gênese das cavidades estão sobre a influência dos mecanismos de circulação de águas no interior do aquífero em que estas estão inseridas. Neste contexto Meinzer (1923) *apud* Lino (2009) diferencia Zona Vadosa: no qual a água se infiltra pelos macro e microfraturamentos, em movimento essencialmente vertical; Zona Freática: completa e permanentemente inundada, onde as águas apresentam um movimento horizontal e lento em direção a uma exurgência; e Zona de Oscilação intermediária entre as duas anteriores. A “teoria bicíclica”, de Davis (1930) *apud* Lino (2009), descreve etapas nas quais atuam os processos erosivos relacionados a essas zonas hídricas. Na etapa juvenil atuam processos de dissolução dentro da zona freática. Na etapa madura esses processos atuam na zona vadosa.

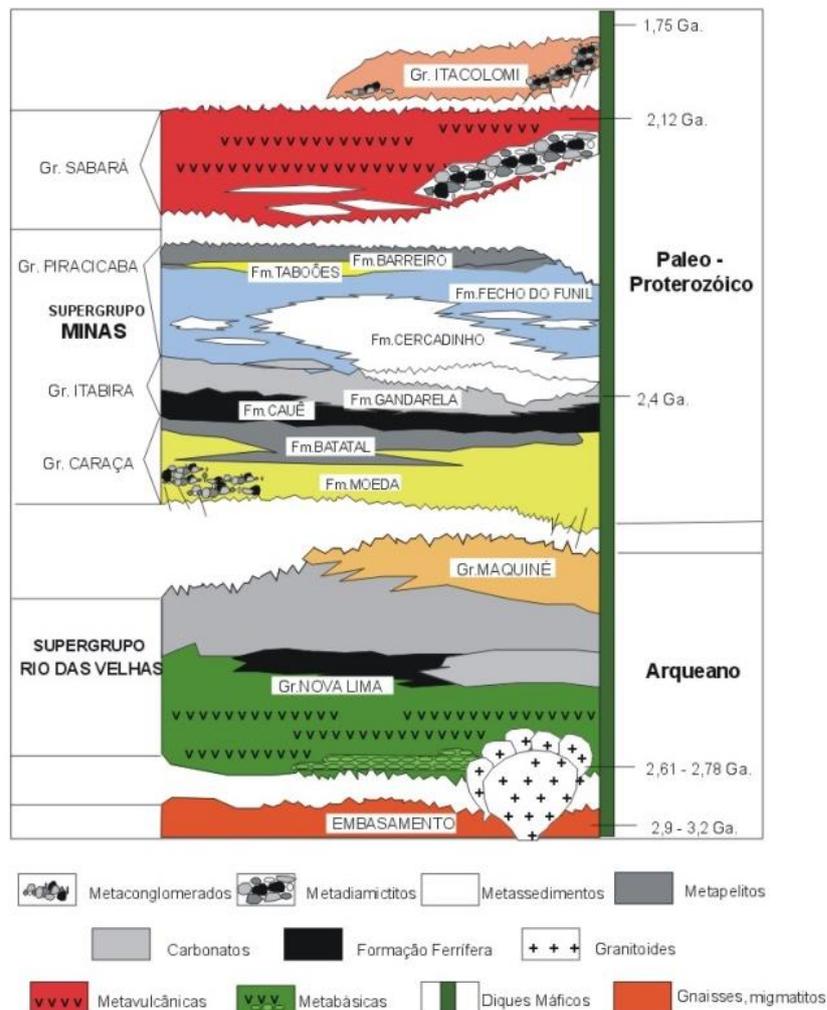
### 1.1. Geologia Regional

#### Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero

A coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Figura 01) foi proposta inicialmente por Dorr (1969) e desde então, vem passando por modificações decorrentes da interpretação de estudos baseados em dados sedimentológicos, estruturais, estratigráficos e geocronológicos (LADEIRA, 1981; MACHADO *et al.*, 1996; ALKMIM; MARSHAK, 1998).

O embasamento é representado por rochas granito-gnáissicas, de composição tonalítica a granodiorítica, que exibem feições de migmatização (UHLEIN; NOCE, 2012). Sobreposto a este assentam as rochas vulcanossedimentares do Supergrupo Rio das Velhas. O Supergrupo Rio das Velhas é subdividido nos grupos: Quebra Osso, Nova Lima e Maquiné (ALKMIM; MARSHAK, 1998). O Supergrupo Minas é composto por quartzitos, xistos, filitos, mármore e itabiritos e sobrepõe a unidade estratigráfica anterior. É subdividido nos grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (ALKMIM; MARSHAK, 1998).

Recobrimo esta assembleia de rochas numa discordância angular e erosiva, assenta-se o Grupo Itacolomi, no qual está inserida a gruta do Muro. Relacionável a uma sedimentação de depósito continental de leque aluvial (ALKMIM; MARSHAK, 1998), é composto por metaconglomerados, metarenitos, quartzitos ferruginosos e xistos (FERREIRA; LAZARIN, 1993), com idades próximas a 2 Ga (MACHADO *et al*, 1996).



**Figura 01:** Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (modificada de ALKMIM; MARSHAK, 1998).

### Evolução Geológica do Quadrilátero Ferrífero

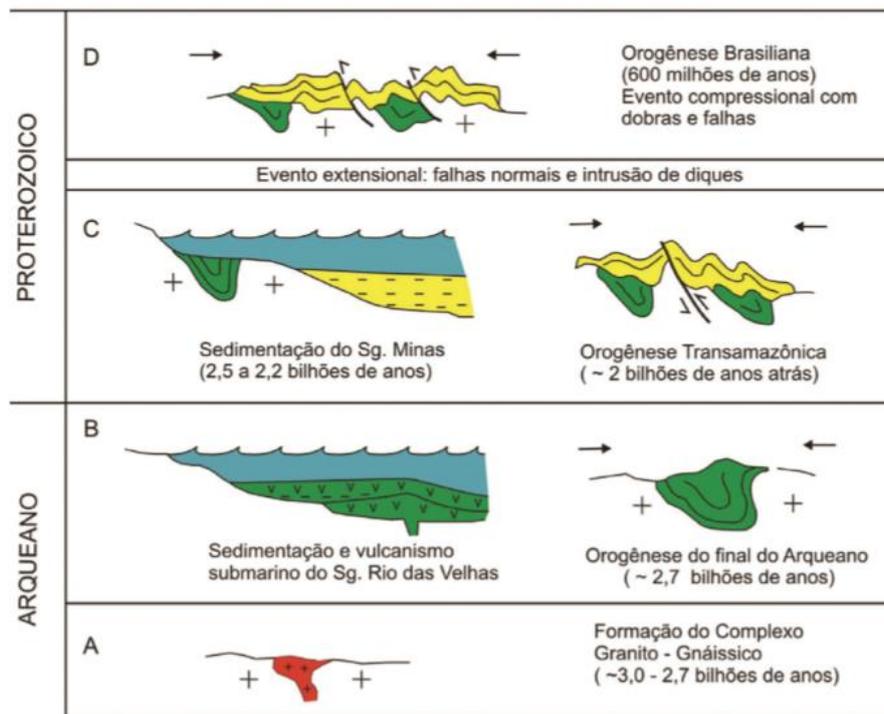
O arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero sempre foi alvo de estudos de cunho estratigráfico e estrutural, os quais subsidiaram a confecção de diferentes modelos tectônicos para evolução desta região. Adota-se neste trabalho o modelo proposto por Uhlein; Noce (2012) que integra os estudos de Dorr (1969) e Alkmim; Marshak (1998).

Os primeiros núcleos continentais e a primeira litosfera surgiram durante o Éon Arqueano dando origem aos complexos granito-gnáissicos e às faixas de rochas vulcanossedimentares (ERNST, 2009) (Figura 02.a). A deposição do Supergrupo Rio das Velhas intercalou sedimentos oceânicos e vulcânicos a derrames basálticos submarinos. No final do Arqueano essas rochas sofreram ação de processos orogenéticos, com metamorfismo e deformação (Figura 02.b). No Paleoproterozóico ocorreu a deposição do Supergrupo Minas e entre 2,2 e 2,0 bilhões de anos atrás a compressão causada pela Orogênese Transamazônica (Figura 02.c). O Grupo Itacolomi possui sedimentos oriundos da erosão das

cadeias montanhosas geradas por essa orogênese dessa forma, os sedimentos que compõem este grupo teriam origem da deterioração das rochas dos Complexos-gnáissicos e dos supergrupos Rio das Velhas e Minas (LADEIRA, 1981).

Concomitante a deposição do Grupo Itacolomi ocorreu um evento extensional marcado por falhas normais e intrusões de diques. Há cerca de 600 milhões de anos, a Orogênese Brasileira atuou sobre todas as sequências do Quadrilátero Ferrífero (Figura 02.d). Esse evento produziu novos dobramentos, falhamentos inversos e transformações metamórficas nas rochas do Quadrilátero, inclusive no Grupo Itacolomi (Figura 02.d).

Após a Orogênese Brasileira, a região entrou, durante todo o Fanerozóico, em estabilidade tectônica e dominaram processos erosivos diferenciais. O processo de erosão diferencial que atuou nos diversos tipos litológicos do Quadrilátero foi responsável pela diferenciação do relevo em regiões de serras - como é exemplo a Serra de Ouro Branco - planaltos e vales.



**Figura 02:** Quadro síntese da evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero (UHLEIN; NOCE, 2012).

## 1.2. Aspectos gerais da gruta do Muro e Serra de Ouro Branco.

A Serra de Ouro Branco se estende por cerca de 19 quilômetros na direção E-W, e ocupa uma área de aproximadamente 65 km<sup>2</sup>. Na porção leste, corresponde a um espigão dotado de morfologia cárstica a ruiniforme em rochas quartzíticas, com altitudes máximas em torno de 1.250 metros e, a oeste, há um platô elevado, limitado por paredes íngremes de rochas nuas, com a altitude máxima de 1.573 metros (ALKMIM, 1987). Os quartzitos da Serra de Ouro Branco foram originalmente cartografados como Grupo Caraça por Johnson (1955), e como provável parte do Grupo Maquiné por Barbosa (1968). Foram correlacionados ao Grupo Tamanduá por Dorr II (1969) e finalmente atribuídos ao Grupo Itacolomi por Alkmim (1985) (*apud* BALTAZAR et al, 2005) (Figura 03).

Segundo Minas Gerais (2015) a gruta do Muro possui um critério de máxima relevância: dimensão notável em extensão. Além disso, ela possui um critério de alta relevância: diversidade de processos de formação de espeleotemas. Possui também três critérios de média relevância: diversidade morfológica e mineralógica dos espeleotemas em âmbito local; pouco significativa maturidade ou abundância de espeleotemas e drenagem intermitente. Atingindo assim, com base nos critérios físicos da IN 02/2009, o grau máximo de relevância.

A cavidade foi caracterizada como gruta por possuir desenvolvimento predominantemente

horizontal e maior que 20 metros segundo a definição de Lino (2009). Está posicionada à meia encosta na face sul da Serra de Ouro Branco e possui duas entradas; uma a sul e outra a norte. A entrada sul possui formato lenticular de três metros de altura. A entrada norte possui formato circular de 15 metros de altura. Ambas as entradas estão posicionadas de forma que ao adentrar a gruta o caminhamento se faz por desnível descendente. Possui planta baixa linear, perfil longitudinal predominantemente horizontal e cortes transversais em formas variadas.

## 1.3. Localização e Vias de Acesso

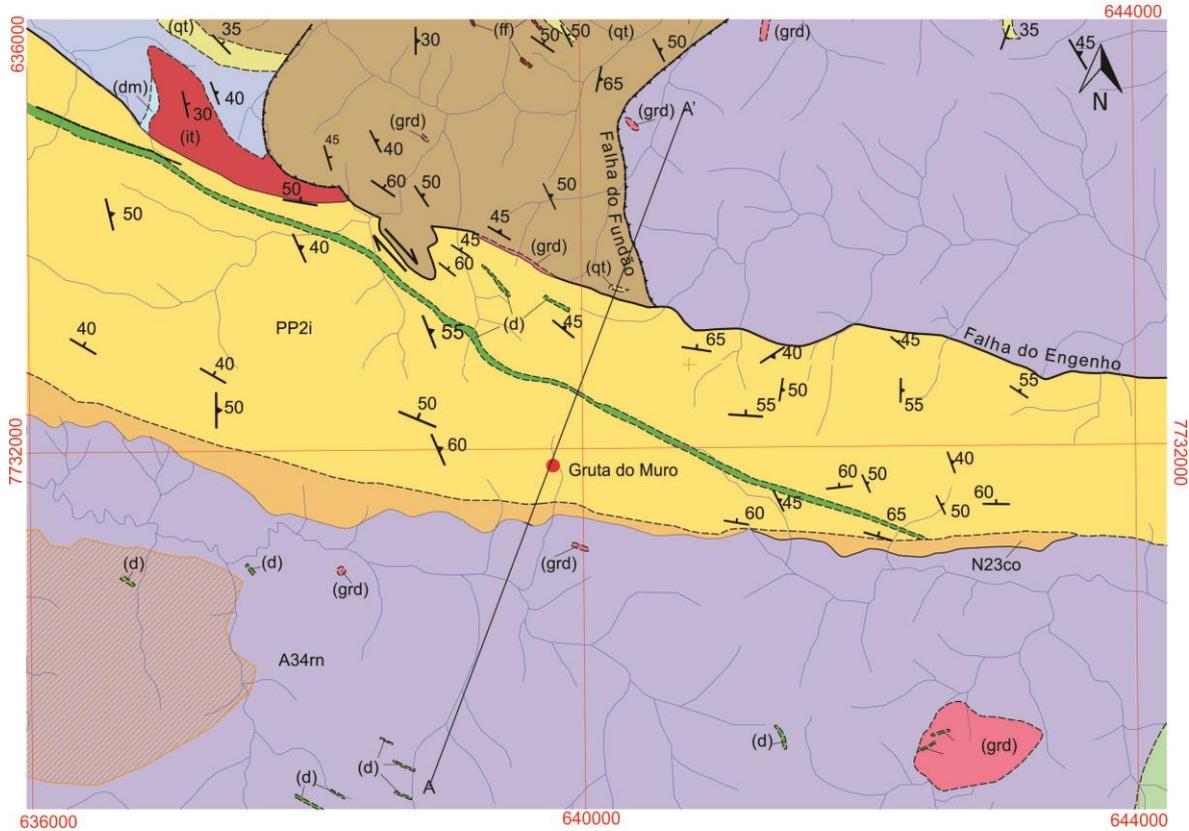
A cavidade, gruta do Muro, foi catalogada no Cadastro Nacional de Cavidades (CNC) com código MG-1943 (SBE, 2015). Localiza-se no município de Ouro Branco – Minas Gerais, dentro dos limites do Parque Estadual da Serra de Ouro Branco. Possui coordenadas UTM (639784E; 7731870S), no datum: WGS 84, Zona 23K, a uma altitude de 1227 metros.

Seu acesso, partindo da capital Belo Horizonte, é feito pela rodovia BR-040 até o trevo com a rodovia MG-030 que leva ao município de Ouro Branco. Em Ouro Branco, segue-se pela rodovia MG-129, sentido Ouro Preto por aproximadamente 7 km. Interceptando a MG-129 próximo às coordenadas UTM (642316E; 7731868S) há uma estrada não pavimentada por onde se avança para oeste. Essa estrada percorre a crista da Serra de Ouro Branco por aproximadamente três quilômetros até o ponto de

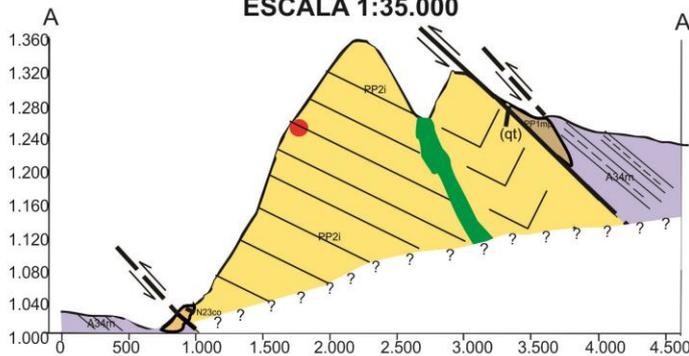
parada do carro (UTM 639363E; 7732209S). Então percorre-se uma trilha descendente de declividade moderada/alta, por aproximadamente 600 metros. O

trajeto feito a pé passa por vegetação de campo rupestre e margeando uma drenagem pela face sul da serra até a entrada da cavidade.

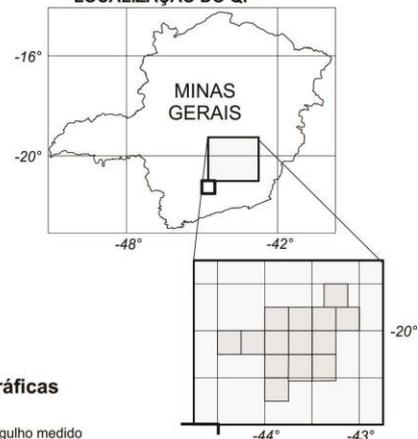
### MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DA SERRA DE OURO BRANCO MODIFICADO DO MAPA GEOLÓGICO DE OURO PRETO



#### PERFIL GEOLÓGICO ESCALA 1:35.000



#### LOCALIZAÇÃO DO QF



N23co	Talus e colúvio
PP2i	GRUPO ITACOLOMI
SUPERGRUPO MINAS	
PP2ms	GRUPO SABARÁ
PP1mp	GRUPO PIRACICABA
PP1mpf	
PP1mq	GRUPO ITABIRA
max dm	

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	
A34m	GRUPO NOVA LIMA
A34sap	COMPLEXO SANTO ANTÔNIO DO PIRAPETINGA
ROCHA INTRUSIVA DE IDADE INCERTA	
grd	Granodiorito
d	Diques de basalto e diabásio

#### Convenções cartográficas

—34	Acamamento com mergulho medido
+	Direção de camadas verticais
∠22	Direção e mergulho de foliação
+	Direção de foliação vertical
—	Contato geológico
- - -	Contato geológico aproximado
—▲—	Falha indiscriminada
—▲▲—	Falha de empurrão
—▲▲—	Falha de empurrão aproximada
—▲▲—	Falha transcorrente dextral
—▲▲—	Falha transcorrente sinistral aproximada

#### Convenções cartográficas

—	Área urbana
—	Drenagem
—	Rodovia pavimentada
—	Rodovia não pavimentada

Escala 1:35.000  
350m 0 700 1400 2100m  
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM HORIZONTAL: SIRGAS  
Origem da quilometragem UTM: "Equador e meridiano 45° W.Gr.",  
acrescidas as constantes: 10.000km e 500km, respectivamente.  
2005

Figura 03: Mapa geológico da Serra de Ouro Branco, em Vermelho a localização da gruta do Muro (Modificado e interpretado de CODEMIG 2005).

## 2. METODOLOGIA

Os primeiros levantamentos efetuados envolveram pesquisa bibliográfica para coleta de informações a respeito de dados geológicos e espeleológicos que envolvem a Serra de Ouro Branco. No tratamento dos dados foram utilizados os *softwares*: *AutoCAD*, na edição vetorial; *ArcGIS*, na distribuição dos dados georreferenciados e layout dos mapas e croquis; e *Microsoft Excel* na base de dados. Para a obtenção dos pontos geográficos da gruta foi utilizado o aparelho de *GPS Garmin 62S*. Todas as feições geológicas, planares e lineares foram medidas no sistema de notação trama (*dip direction/dip*, e.g. 040/35) e processadas através do *software Openstereo* pelo método de distribuição de Fisher.

A cavidade foi inicialmente caracterizada através do preenchimento da Ficha de Prospecção Endocárstica (FPE) contida no Termo de Referência (MINAS GERAIS, 2005). O mapeamento espeleológico foi realizado por membros da Sociedade Excursionista & Espeleológica (SEE) na precisão BCRA – 3C, em Julho de 2013, durante a elaboração do Plano de Manejo Espeleológico do Parque Estadual da Serra de Ouro Branco – PESOB (Minas Gerais, 2015). Este mapa foi utilizado como base para a confecção do mapa estrutural.

Foram descritas as feições geológicas macroscópicas presentes nas rochas metassedimentares, assim como os aspectos hidrogeológicos e depósitos sedimentares alóctones e autóctones. Estes dados foram coletados de forma a buscar a compreensão da evolução da cavidade. Foram tomadas fotografias orientadas do arcabouço espeleológico e de todas as estruturas descritas.

## 3. DISCUSSÕES E RESULTADOS

### Modelo Evolutivo para a gruta do Muro

Com resultados obtidos em campo foram elaborados: um perfil colunar estratigráfico, estereogramas de densidades dos polos de superfícies geológicas e um mapa estrutural da cavidade. Através da interpretação desses diversos dados estabeleceu-se um modelo evolutivo para a gênese da gruta do Muro. Pode-se organizar a gênese segundo estágios ou fases de desenvolvimento dentro de uma evolução que certamente é contínua e dinâmica dentro do espaço-tempo. Este modelo foi dividido em três etapas: deposição da rocha hospedeira, deformação da rocha hospedeira e estágio de estabilidade tectônica. Sendo que última etapa foi dividida em dois períodos: juvenil e maduro, em que atuam processos sob

influência da zona freática e vadosa respectivamente. Todos os dados obtidos e as suas interpretações em estágios evolutivos seguem descritos detalhadamente.

### Deposição da rocha hospedeira

O arcabouço rochoso apresenta baixa maturidade textural e composicional. É pobremente selecionado, possui granulometria que varia de areia fina a cascalho médio e apresenta interlaminações com espessura média de cinco centímetros de silte e argila. Através de uma análise macroscópica, foi possível identificar grãos de quartzo subarredondados a angulosos, feldspato em sua forma hidratada (caulim), hematita e sericita em sua composição. Exibe estratificação cruzada acanalada com grânulo decrescência ascendente em “sets” de espessura média de 0,25 metros (Figura 04). O sistema deposicional envolvido é o de leque aluvial continental em sua porção distal, controlado por rios entrelaçados.

### Deformação da Rocha Hospedeira

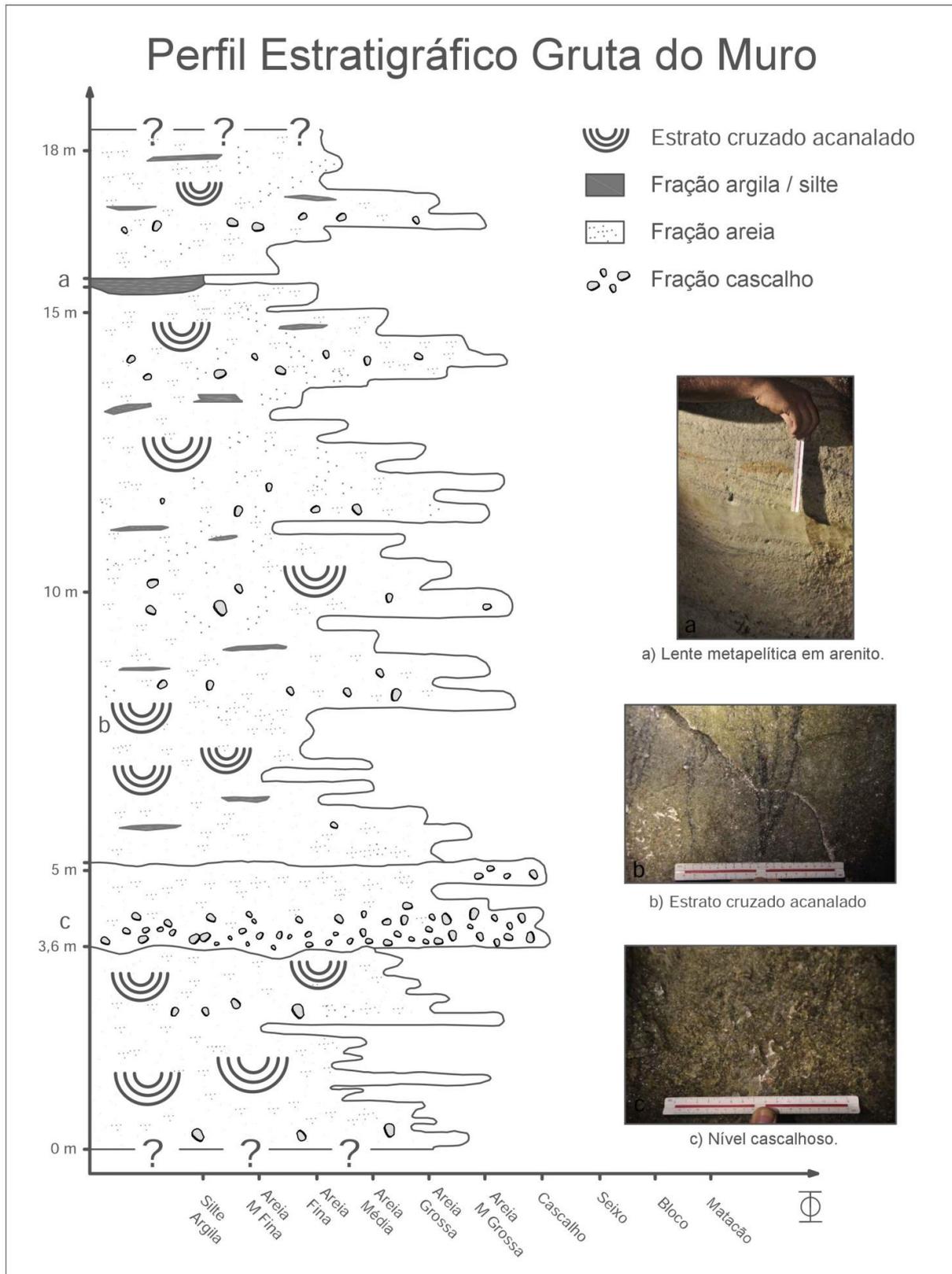
Através das atitudes obtidas das medidas planares dos diversos horizontes geológicos presentes na rocha quartzítica foi possível a elaboração de diagramas estereográficos de densidades dos polos do acamamento sedimentar-S0 (Figura 05.a), clivagem espaçada-S1 (Figura 05.b) e um mapa estrutural da cavidade (Figura 07).

A interpretação do diagrama de S0 mostra caimento geral para norte (Figura 05.a). O diagrama de S1 revela uma configuração de dobras com caimento para SSE (Figura 05.b). Esse padrão pode também ser analisado através do mapa estrutural da gruta do Muro (Figura 07).

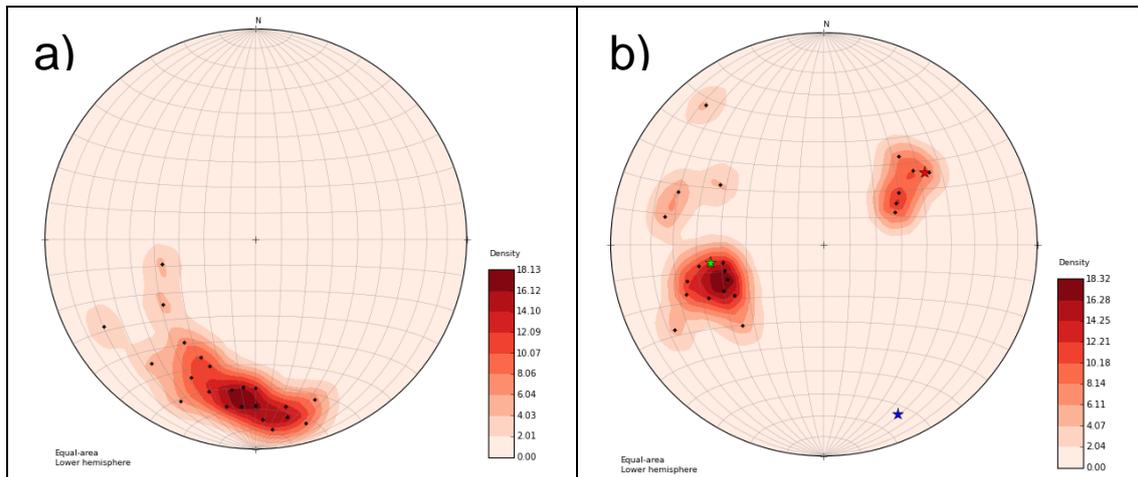
Foram identificadas pelo menos quatro fases deformacionais nas rochas do Grupo Itacolomi. A primeira fase está relacionada a um dobramento do acamamento sedimentar com um de seus flancos caindo para norte. Esta fase também é responsável pela formação de uma foliação metamórfica plano-axial (S1) através da recristalização de minerais micáceos. A segunda fase deformacional com encurtamento NE/SW é responsável pelo dobramento das estruturas planares S1 (Figuras 06.a; 06.b; 06.c). Foram geradas dobras abertas a suaves, angulares, com flancos retos, amplitudes e comprimentos de onda métricos a decamétricos e caimento preferencial para SSE. Uma possível terceira fase deformacional foi responsável pelo dobramento dos eixos das dobras acima descritas causando a rotação e a inversão de sentido de seus

caimentos. Uma quarta fase de deformação ocorreu em um regime rúptil-dúctil (Figuras. 06.d; 06.e) e gerou falhas inversas com dobras de arrasto mostrando vergências de NE para SW. No interior da cavidade também é observada uma deformação

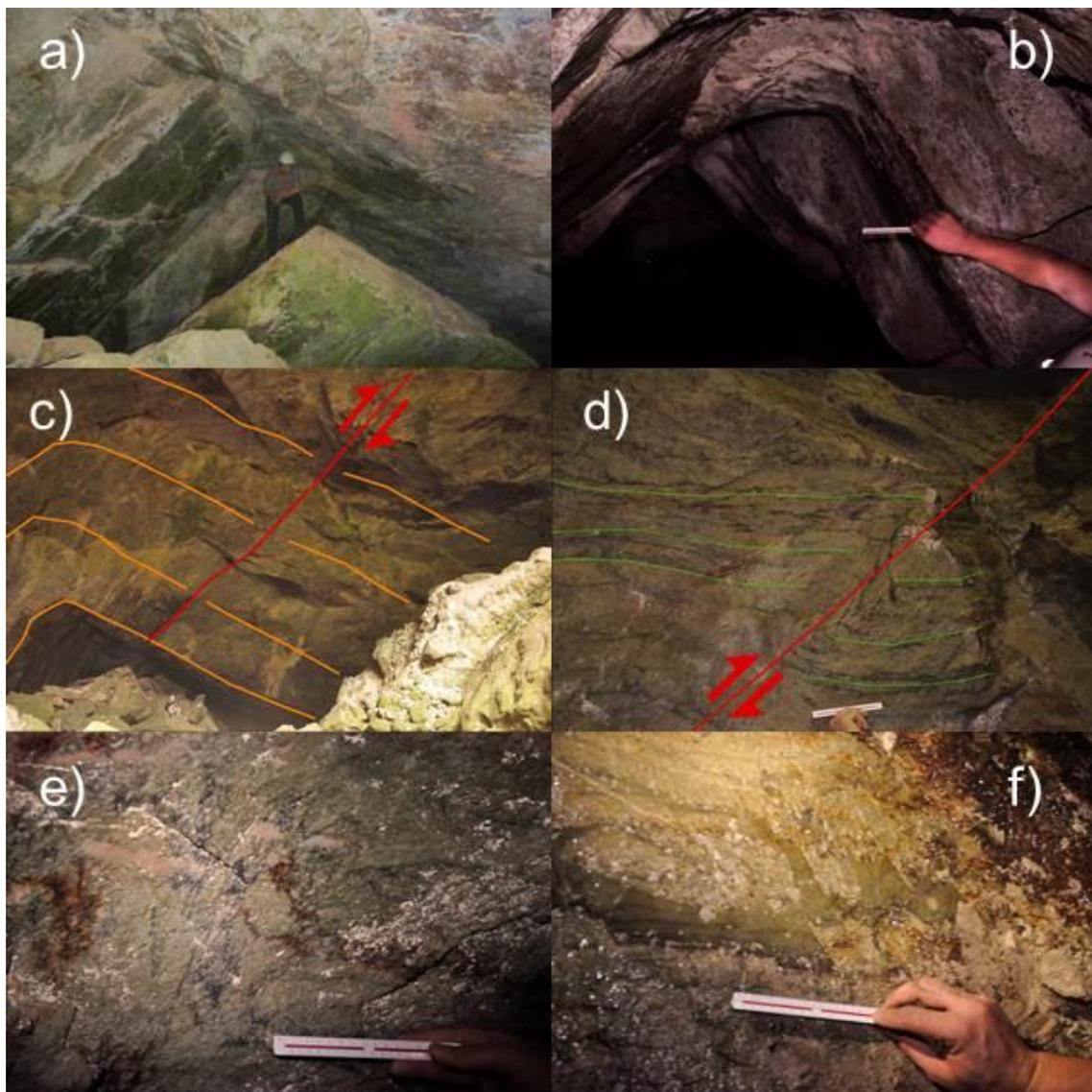
rúptil com a formação de falhas de pequena escala (Figura 06.f). Essa configuração das fases deformacionais pode estar relacionada a um metamorfismo progressivo onde há o decaimento de pressão e temperatura.



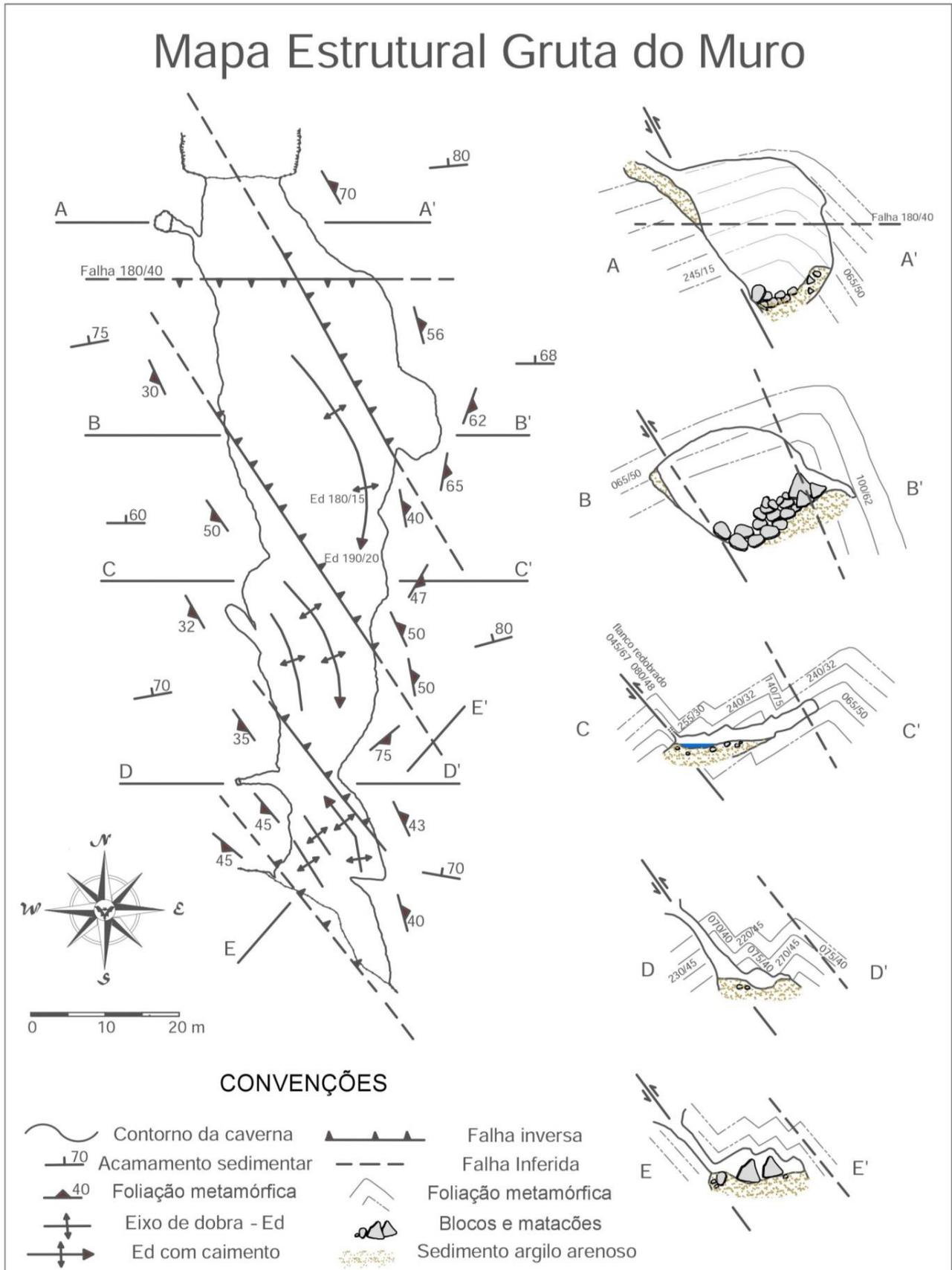
**Figura 04:** Perfil estratigráfico da parede E do salão principal da gruta do Muro realizado em escala 1:100.



**Figura 05:** a) Diagrama de densidade dos polos do acamamento sedimentar-S0 que indica um caimento preferencial para norte (n=22); b) Diagrama de densidade dos polos de foliação metamórfica -S1 (n=21).



**Figura 06:** a) Eixo de dobra decamétrica do salão principal (mesma dobra que a Figura 7.c) Az 180; b) Dobra angular de flancos retos com acumulo de material na zona de charneira onde há também a percolação de fluidos aquosos e recristalização de espeleotemas F1 020/60 F2 217/54 Az 315; c) Eixo de dobra decamétrica angular com caimento para sul localizada no salão principal Az 160 (Em laranja foliação metamórfica); d) Dobra de arrasto de falha reversa que caracteriza um comportamento rúptil-dúctil com amplitude de 55 cm e comprimento de onda 40cm Az 200 (Em verde acamamento sedimentar); e) Acamamento com maior deformação próximo ao plano de falha possuindo dobras angulares e falhas centimétricas associadas Az 200; f) Falhas com rejeito centimétrico de regime rúptil Az 050.



**Figura 07:** Mapa estrutural da gruta do muro.

## Estabilidade Tectônica

A terceira etapa está relacionada à estabilidade tectônica que a região foi submetida durante todo o Fanerozóico. Neste estágio as rochas metareníticas em que está inserida a gruta do Muro atuam como um aquífero do tipo fraturado. Trata-se de um excelente aquífero natural resistente ao intemperismo químico, o que favorece o seu posicionamento em cotas elevadas (Minas Gerais, 2015). Esta etapa pode ser dividida em duas: o período juvenil e o período maduro.

Durante o primeiro período, a rocha e o controle estrutural em que se posiciona a gruta estavam abaixo do nível freático. Dessa forma ela foi submetida à percolação de águas subterrâneas que seguem preferencialmente as direções de planos e lineações de fraqueza. A rocha então sofreu intemperismo e através da atuação de processos como: caulnização do feldspato, hidratação de minerais ferrosos e aluminosos e a dissolução e desagregação dos minerais constituintes. Essas fissuras, por onde percolavam estas águas pretéritas, podem ser entendidas como os protocondutos da cavidade. Em seus milhares de anos de atuação, os processos erosivos em que a região foi submetida resultaram em um drástico rebaixamento e inversão do relevo. Como os metarenitos do Grupo Itacolomi são mais resistentes à erosão que os xistos do Supergrupo Rio das Velhas, Grupo Piracicaba e o embasamento, eles sustentaram as serras relictas enquanto os xistos e o embasamento foram escavados em vales. Com o rebaixamento do relevo houve um consecutivo rebaixamento do lençol freático. Dessa forma a posição da gruta no maciço passa para zona vadosa do aquífero e a gruta entra em seu período maduro.

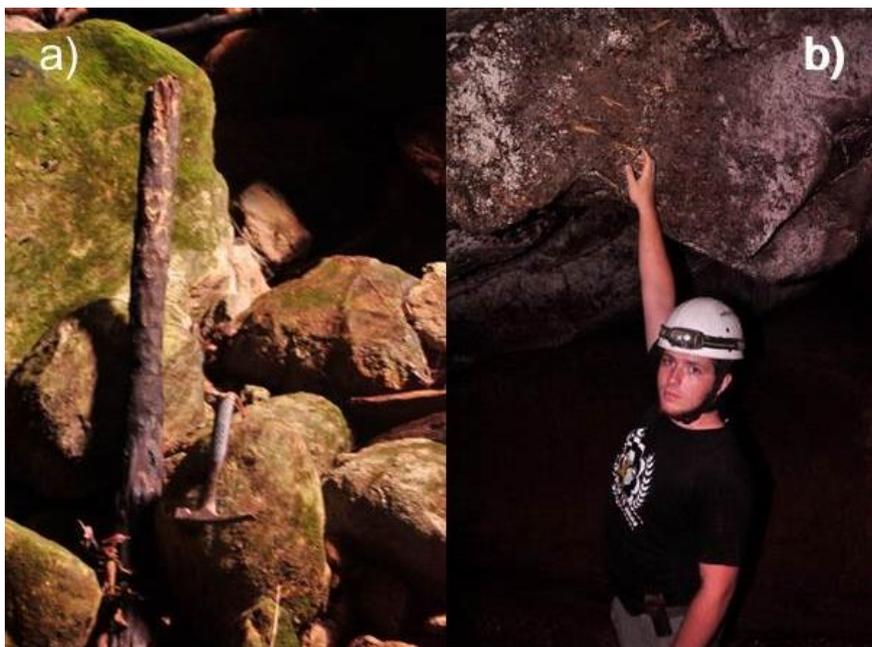
Durante o segundo período ainda está atuante o processo de percolação e dissolução dos planos de fraqueza, no entanto aparecem processos controlados pela gravidade e há a ampliação dos condutos de forma gradativa até atingir as dimensões atuais. Dentre os processos gravitacionais que influenciam a formação da gruta deve-se destacar: a incasão, solapamentos laterais, inundações catastróficas (BOGLI *apud* Lino, 2009). Há na cavidade sinais de desabamentos de matacões que possuem tamanho máximo de 10m e modal de 2m de comprimento (Figuras.06.a; 06.c). A incasão e solapamentos laterais destes blocos rochosos são controlados em diversos compartimentos pelos eixos de dobras de S1 associados aos planos de falhas inversas. (Figuras. 06.a; 06.b; 06.c).

Fluxos torrenciais, comuns às áreas tropicais, podem ter interferido no desabamento de blocos da cavidade acelerando a velocidade de abertura dos

condutos. Com o aumento repentino do fluxo, há também o aumento da energia e da capacidade de carreamento de sedimentos para outros compartimentos. Por toda a gruta podemos observar indicadores de mudanças sazonais na capacidade e competência do fluxo da cavidade. Trata-se de troncos de árvores em meio a blocos (Figura 08.a) e serapilheira em até 3 metros acima do nível do fluxo normal da gruta (Figura 08.b). O fluxo hídrico atualmente presente na cavidade é intermitente e corre por entre os sedimentos inconsolidados de forma criptorréica, possuindo vários sumidouros e ressurgências. Esse fluxo possui sentido N-S e termina em um sumidouro próximo a uma das entradas, ressurgindo do lado de fora da gruta. A cavidade também possui um lago perene com profundidade máxima de 1,5 metros em sua porção intermediária.

Na cavidade há alguns condutos abandonados que estão localizados principalmente na parede W da cavidade. Estes condutos são controlados por planos de falhas inversas e teriam sido formados por um paleofluxo que os abandonou em cotas elevadas. Estes condutos pertencem a um nível senil do estágio de evolução da cavidade. Neste estágio há uma diminuição da velocidade de ampliação dos condutos pela perda de ação dos processos erosivos gravitacionais que atuam na zona vadosa.

Os depósitos sedimentares alóctones no interior da gruta variam de matacões, blocos, cascalho, areia e argila. Estão dispostos de forma variada nos diversos ambientes sedimentares em seu interior. São oriundos em parte pela inserção de sedimentos erodidos das rochas do Grupo Itacolomi do meio externo; parte por processos gravitacionais de desprendimentos do teto e paredes. Sua disposição atual pode nos trazer informações de como estavam posicionados em tempos pretéritos possibilitando a interpretação de sua evolução espacial temporal. Na porção NW há uma claraboia que foi responsável pela inserção de um cone de sedimentos alóctones mal selecionados (tálus). Esse depósito possui altura máxima de 15 metros e ocupava todo o salão principal. A drenagem intermitente N/S que passa pelo interior da gruta foi responsável pelo retrabalhamento destes sedimentos e o seu transporte para outros compartimentos da cavidade (Figura 09.a). Dessa forma o banco de sedimentos foi escavado pela drenagem e possui um nível abandonado junto à parede E do salão (Figura 09.a). Na porção S da gruta, onde o teto é mais baixo e a declividade dos condutos é menor, os sedimentos são compostos por lamias e areias finas a médias quartzo-feldspáticas. Nesta porção de menor energia há a presença de “*small ripples*” de corrente (Figura 09.b).



**Figura 08:** Indicadores de variação de nível do fluxo. a) Tronco de madeira carreado para dentro da cavidade por fluxos torrenciais; b) Serapilheira a 3m de altura na parede próximo a entrada sul da cavidade

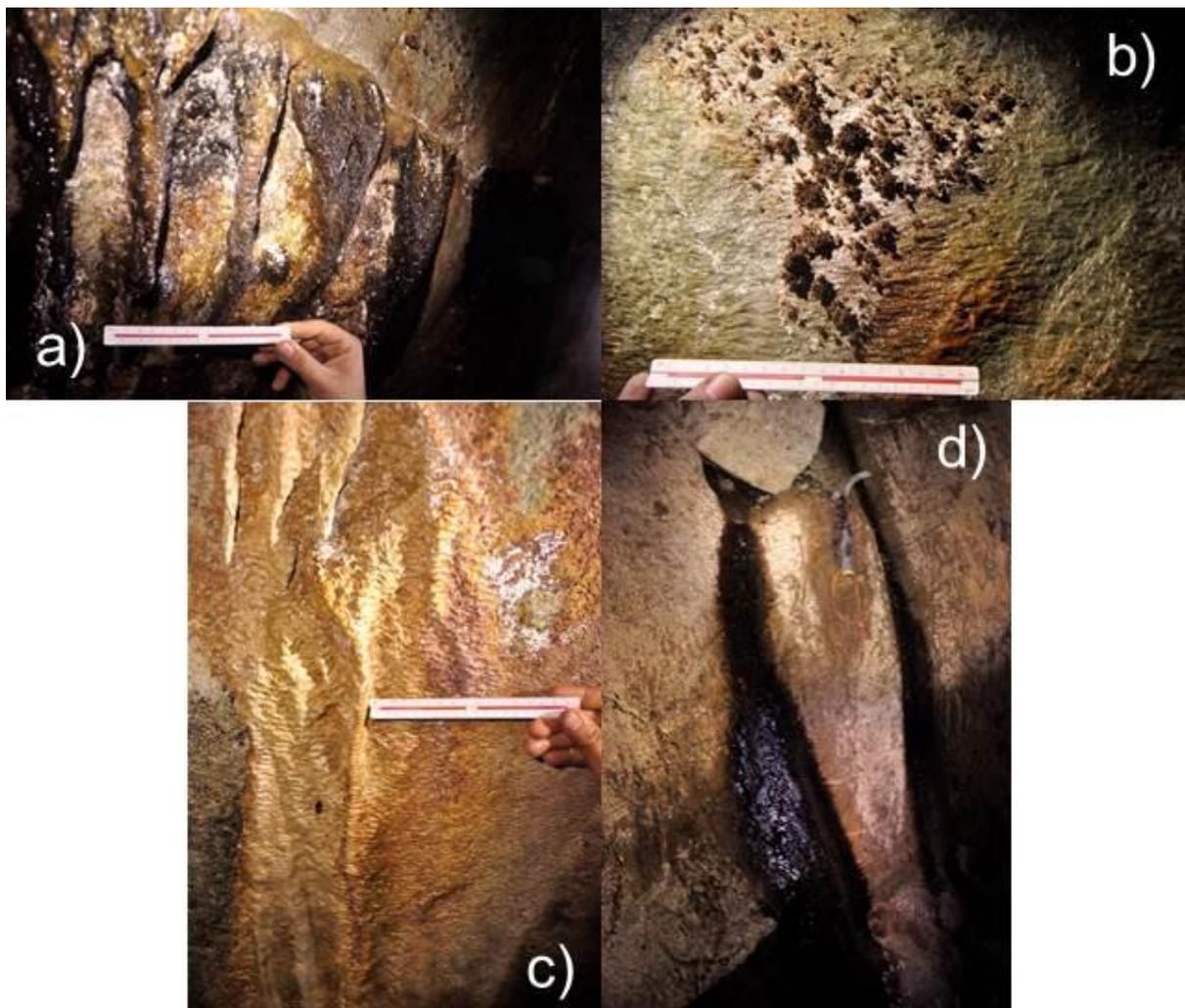


**Figura 09:** a) Banco de sedimentos cortado pela drenagem Az 000; b) Small ripples de corrente em sedimento arenoso quartzo-fesdspático Az100.

Quanto aos depósitos autóctones, possui espeleotemas raros em contexto local como coraloides, micro-travertinos, cortinas, estalactites e escorrimentos (Figuras 10.a; 10.b; 10.c; 10.d). Apresentam colorações que variam desde o preto, vermelho e amarelo (Figuras 10.a; 10.b; 10.c; 10.d). Esses espeleotemas provavelmente são compostos de uma variedade de sílica amorfa em combinação com minerais de óxidos metálicos hidratados. Faz-se necessária a utilização de procedimentos espectrométricos de raios-X para averiguar a sua composição detalhada. De forma geral, estão espalhados por diversos pontos da cavidade,

ocorrem em pequena quantidade e são de dimensões milimétricas a centimétricas. São formados por depósitos de águas circulantes, que percolam planos e lineações de fraqueza da rocha, e por exsudação da umidade presente no local. Estes espeleotemas podem ser considerados provas do processo de dissolução atuante na rocha hospedeira.

A etapa de estabilidade tectônica com a cavidade posicionada na zona vadosa do aquífero, estágio maduro, está em atividade na atualidade e os processos erosivos e deposicionais descritos neste período estão em plena atividade.



**Figura 10:** Espeleotemas. a) Cortinas decimétricas de coloração preta; b) Coraloídes vermelhos; c) Cortinas amareladas decimétricas; e) Escorrimento preto.

#### 4. CONCLUSÕES

A espeleogênese e o estudo geológico em cavernas é algo ainda pouco explorado por geólogos de todo o país. Cavernas, através de suas condições meteorológicas peculiares, são ótimos sítios geológicos no qual é possível a contemplação do arcabouço geológico de forma única, ou seja, em todas as direções. As estruturas são geralmente bem preservadas e de fácil visualização devido à proteção contra intempéries externas. O estudo estrutural de uma caverna pode ajudar a esclarecer estágios de evolução tectônica de uma determinada região ou maciço rochoso trazendo à tona informações presentes no subsolo.

Estudos espeleogenéticos em cavernas relevantes de uma mesma região ou unidade geológica possibilitaria a comparação de dados para a interpretação de seus condicionantes de formação. Seria possível, por exemplo, em estudos como: geologia estrutural, estratigrafia de sequência e geoquímica de espeleotemas, o levantamento de informações pertinentes que possibilitassem a

elaboração de um modelo padrão para o desenvolvimento destas cavidades.

Sugere-se a realização de estudos em geologia estrutural mais aprofundados nesta cavidade bem como estudos espeleogenéticos em cavidades próximas a gruta do Muro e que estejam inseridas em rochas quartzíticas do Grupo Itacolomi. São sugeridos também estudos geoquímicos nos espeleotemas presentes nessas cavernas para que seja possível a análise detalhada de sua composição.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal de Ouro Preto, a Escola de Minas de Ouro Preto e a ao Departamento de Geologia- DEGEO por oferecer a infraestrutura necessária para a realização deste trabalho. A todos os professores do DEGEO e seus conhecimentos transferidos. Em especial gostaríamos de agradecer o Prof. Dr. Claudio Maurício Teixeira-Silva por sua enorme dedicação ao ensino da Geoespeleologia. A Prof. Dra. Caroline

Janette Souza Gomes pelo auxílio da interpretação dos dados estruturais e correção. Ao Prof. MSc. Luiz Fernando Ev pelo auxílio na interpretação dos dados estratigráficos. À Felipe Chagas da gerência do Parque Estadual da Serra de Ouro Branco e ao Instituto Estadual de Florestas pelo apoio logístico e institucional. Agradecemos também a todos os membros da Sociedade Excursionista & Espeleológica que participaram das atividades de campo deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Alkmim, F. F. Sedimentologische, Lithostratigraphische und Tektonische Untersuchungen in der serra de Ouro Branco. Minas Gerais, Brasilien. **Tese de doutorado, TU Clausthal, Alemanha**, p.217. 1985.
- ALKMIM F.F. Modelo deposicional para a sequência de metassedimentos da serra de Ouro Branco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: **Anais do Simpósio sobre Sistemas Depositionais no Pré-Cambriano, Ouro Preto, 1987**. p.47-68. 1987.
- ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S.. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**. Res., 90: 29–58, 1998.
- BARBOSA, A. L. M. **Geologic map of the Ouro Preto and Santa Rita de Ouro Preto quadrangles, Minas Gerais, Brasil**. 1969.
- BALTAZAR, O.F.; BAARS F.J.; LOBATO, L.M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D. Mapa Geológico. na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: **Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa**. Lobato et al. (2005) CODEMIG. Belo Horizonte. 2005.
- BUSCHE D.; SPONHOLZ B.. Morphological and micromorphological aspects of the sandstone karst of eastern Niger. **Z. Geomorph**, N.F., v. 85, 1-18, 1992.
- DAVIS, W. M. Origino f Limestone Caverns. **Geol. Soc. Amer. Bull**. New York. 1930.
- COSTA-NETO, A.V.; BARBOSA-FILHO, J. Espeleogênese em quartzitos da Serra de Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 20, 75-97, 1997.
- DORR, J. V. N.. **Physiographic, Stratigraphic and Structural development of the Quadrilátero Ferrífero**. Minas Gerais, Brazil. Washington, USGS/DNPM. Prof. Paper 641-A, 110p. 1969.
- ERNST, W.G.. Archean plate tectonics, rise of Proterozoic supercontinentality and onset of regional, episodic stagnant-lid behavior. **Gondwana Res.**, 15(3-4):243-253. 2009.
- FABRI, F. P.. Estudo das cavernas quartzíticas da região de Itambé do Mato Dentro, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Dissertação de Metrado, Departamento de Geografia, Instituto de Geociencias, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte**. 179 p. 2011.
- FERREIRA-FILHO, F. A.; LAZARIN, H. A.. **Caracterização Litoestrutural e Geomorfológica da Região do Pico do Itacolomi, Ouro Preto**. Trabalho Geológico, DEGEO/EM/UFOP, 83p. 1993.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. **Karst Geomorphology and Hydrology**. London, Unwin Hyman, 601p. 1989.
- GALÁN, C. Disolución y gênesis del karst em rocas carbonáticas y rocas síliceas: un estudio comparado. **Munibe**, v. 43, 43-72. 1991.
- ICEHOWER, J.; DOVE, P. The dissolution kinects of amourphous sílica into sodium chloride solutions: effects of temperature and ionic strength. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. V. 64, 24, 4193-4203. 2000.

- JOHNSON R.F. **Geologic map and sections of the Dom Bosco and Ouro Branco quadrangles, Minas Gerais, Brasil.** 1955.
- KRAUSKOPF, K.B. **Introdução a geoquímica.** São Paulo, 1972.
- LADEIRA, E. A.. **Metallogenesis of gold at the morro velho mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero.** University of Western Ontario. 544p. 1981.
- LINO, C.F.. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo.** 2ed. São Paulo. Gaia. 288p. 2009.
- MACHADO, N., SCHRANK, A., NOCE, C.M., GAUTHIER, G. Ages of detrital zircon from Archean Paleoproterozoic sequences: Implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, 141, 259 – 276. 1996.
- MARTINI, J.. Karst in the Black Reef Quartzite near Kaapsehoop, Transvaal. **Ann. Geol. Surv.** South Africa, v. 13, 115-128. 1979.
- MARTINI, J. Dissolution of quartz and silicate minerals. **National Speleologia Society. Speleogenesis evolution of karst aquifers.** Huntville/Alabama: Naional Speleological Society/USA, cap. 4, 171-173. 2000.
- MEINZER, O. E. Outline of ground-water hydrology. **Water Supply Paper** 1923.
- MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F. Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, southern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 2149- 2164, 2007.
- MINAS GERAIS. **Decreto Estadual nº 45.180 – 21 de set. de 2009. Cria o Parque Estadual Serra do Ouro Branco, nos municípios de Ouro Branco e Ouro Preto.** Legislação Mineira, Assembleia de Minas, 2012. Disponível em: [www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html](http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html). Acesso em: 18 de Abril de 2015.
- MINAS GERAIS. **Plano de manejo do Parque Estadual da Serra de Ouro Branco; Instituto Estadual de Florestas – IEF; Relatório Final de Espeleologia**, 2015, Inédito.
- MINAS GERAIS. **Termo de Referência para Elaboração de Estudos de Impacto Ambiental Para Atividades Minerárias em Áreas Cársticas no Estado de Minas Gerais.** FEAM/IBAMA, Belo Horizonte, MG, 28p, 2005.
- SBE. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC).** Campinas: SBE, 2015. Disponível em: [www.cavernas.org.br/cnc/CavernasBW/DetailEdit/5901](http://www.cavernas.org.br/cnc/CavernasBW/DetailEdit/5901). Acesso em: 01 março de. 2015.
- TEIXEIRA-SILVA C.M.; SIMÕES, P.R. Geoestrutural da Gruta dos Ecos (GO-18). In: SBG, Cong. Bras. Geologia, 42, Araxá. Anais. 2004.
- TEIXEIRA-SILVA, C. M.; SOUZA, K.. Geoespeleologia da gruta Igrejinha. In: SBE/SEE, Congresso Brasileiro de Espeleologia, 24, Ouro Preto, Anais,119-130, 1997.
- UHULEIN, A.; NOCE, C. M. Quadrilátero Ferrífero. **Geologia do Brasil.** Beca-Ball Edições Ltda.. 228 – 235p. 2012
- VILES, H.. Pentecost A. Problems in assessing the weathering action of lichens with na example of epiliths on sandstone. **Rock weathering and landform evolution.** John Wiley & Sons Ltd, 99-116. 1994.
- WHITE, W.B., JEFFERSON, G.L.; HAMAN, J.F. Quartzite Karst in Southeastern Venezuela. **International Journal of Speleology**, v.2, 309-314, 1966.

WILLEMS, L.; COMPERE, P.; HATERT F.; POUCKET, A.; VICAT, J.P.; EK C.; BOULVIAN, F. Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and sílica and taranakite speleothems. **Terra Nova**, v.14, 5, 355-362. 2002.

YARIV, S.; CROSS, H.. **Geochemistry of colloid system for Earth scientists**. Berlin: Springer-Verlag, 450 p. 1979.



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

[www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp](http://www.cavernas.org.br/espeleo-tema.asp)

---