

GEOLOGIA E ESPELEOCLIMA DE UMA GRUTA EM GRANITO NA SERRA DOS COCAIS, VALINHOS (SP)

*GEOLOGY AND CLIMATE SPELEOLOGY OF A GRANITE CAVE IN COCAIS RIDGE,
VALINHOS (SÃO PAULO, BRAZIL)*

**Sara dos Santos SOUZA¹, William SALLUN FILHO², Henrique Albuquerque
FERNANDES¹, Tom Dias Motta MORITA¹, Silvio Roberto Farias VLACH¹, Marcos
VAQUEIRO³, Heros Augusto Santos LOBO⁴**

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, Brasil. E-mails: sara_ssouza@usp.br, tom.morita@usp.br, henrique.albuquerque.fernandes@usp.br, srfvlach@usp.br

²Instituto de Pesquisas Ambientais, Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, São Paulo - SP, Brasil. E-mail: wfilho@sp.gov.br

³Instituto Universitário de Xeoloxía, Universidade da Coruña, 15001 A. Coruña, Espanha. E-mail: m.vaqueiro@udc.es

⁴Departamento de Geografia, Turismo e Humanidades, Universidade Federal de São Carlos, 13062-780, Sorocaba - SP, Brasil. E-mail: heroslobo@ufscar.br

Introdução
Contexto regional
Metodologia
Resultados e discussões
 Caracterização litológica e estrutural dos arredores da gruta
 Morfologia da Gruta das Cordas
 Espeleoclima da Gruta das Cordas
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Cavernas em rochas ígneas representam 2% das cavernas registradas no Brasil até 2020, um valor baixo que também reflete a produção de conhecimento científico ao redor desse tema. A Gruta das Cordas é uma caverna granítica localizada na escarpa oeste da Serra dos Cocais, no município de Valinhos, São Paulo. Ela se desenvolve por aproximadamente 400 metros, com 22 metros de desnível. Sua morfologia é formada pela acumulação de blocos em uma drenagem e apresenta, em sua porção leste, desenvolvimento como fraturas alargadas. Apesar do desenvolvimento horizontal, desnível e volume restritos, quando comparada a outros tipos de cavernas, a Gruta das Cordas já apresenta um espeleoclima próprio e distinto do externo. A temperatura e a umidade no interior da caverna apresentam um ciclo de variação diurna, com reflexos da variação climática regional. A morfologia e a origem desta caverna estão relacionadas à evolução geomorfológica e climática da Serra dos Cocais. A contínua exposição da Serra à percolação de água pelos planos de fraqueza da rocha ocasionou o desenvolvimento de regolito e de blocos graníticos. Com o aumento da taxa de erosão, blocos frescos passaram a ficar expostos, se acomodando entre si, ou rolando para as vertentes e vales, se acumulando.

Palavras-chave: Caverna. Granito. Serra dos Cocais. Geoespeleologia. Espeleoclima.

ABSTRACT - Caves in igneous rocks represent about 2% of caves recorded in Brazil by 2020, a low value that also reflects the production of scientific knowledge around this topic. The Cordas Cave is a granitic cave located at the western escarpment of the Cocais Ridge in the city of Valinhos, São Paulo State, Brazil. It extends for approximately 400 meters, with a depth of 22 meters. The cave morphology is the result of accumulation of boulders in a drainage and include, in its eastern portion, a morphology of open fractures. Despite the small horizontal development, unevenness and volume, when compared to other types of caves, the Cordas Cave has its own speleoclimate, distinct from the external one. The temperature and humidity inside the cave show a cycle of diurnal variation, with reflections of regional climate variation. The origin of this cave is correlated with the geomorphological and climatic evolution of the Cocais Ridge. After the exposure of the ridge to percolation of water, which occurs mainly within the weakness planes, the formation of regolith and individualization of the blocks began. As the erosion rate increased, the fresh blocks were exposed and were accumulated along the slopes and valleys by accommodation and rolling.

Keywords: Cave. Granite. Cocais Ridge. Cave Geology. Cave Climate.

INTRODUÇÃO

O estudo da geologia de cavernas ou Geoespeleologia é tradicionalmente focado no carste de rochas carbonáticas, dado sua ampla ocorrência e maior capacidade de desenvolvimento de condutos. Os primeiros registros de estudo de cavernas em granito são do século XIX, realizados por geólogos noruegueses em cavernas costeiras (Sjöberg, 1986). Todavia, a primeira proposta de classificação de cavernas

em granito só ocorreu em 1920 por um geólogo sueco (Sjöberg, 1986), e ao longo de todo o século outras diversas classificações foram apresentadas. Em geral, o principal problema que essas classificações enfrentavam, era que representavam exemplos muito específicos de uma determinada parte do mundo, o que tornava a classificação ineficiente (Sjöberg, 1986).

Apesar dos avanços ao longo do século, foi a São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 42, n. 1, p. 31 - 44, 2023

partir da década de 80 que a discussão ao redor de cavernas em granito se intensificou, garantindo uma ampla discussão na comunidade acadêmica. Através disto, as propostas de classificação das cavernas em granito foram se tornando mais amplas e globais, porém ainda hoje seguem em debate.

Cavernas graníticas também podem ser incluídas na categoria de pseudocarste, que consiste em feições semelhantes ao carste, que se formam por processos diferentes da dissolução ou pela dissolução lenta e prolongada de rochas que normalmente não são solúveis o suficiente para o carste (Palmer 2009).

As classificações dos tipos de cavernas graníticas consideram, principalmente, as diferenças nas características morfológicas e genéticas das grutas. Por exemplo, Finlayson (1986) propõe 3 divisões básicas para as cavidades: do tipo empilhamento de blocos, que é subdividido em pilha de blocos e preenchimento de drenagem, do tipo fissuras abertas e do tipo fissuras fechadas. Por sua vez, Vidal-Romani & Vaqueiro-Rodriguez (2007) propõem também 3 categorias: tafoni, cavidades estruturais (*cuevas estructurales*) e cavidades formadas por acumulação de blocos (*cuevas formadas por acumulaciones de bloques*).

Palmer (2009) denomina as cavidades formadas por acumulação de blocos como cavernas em tálus (*talus caves*) ou cavernas em matacões (*boulder caves*), caracterizadas por serem cobertas por blocos sobrepostos, cujos espaços internos são interligados em um labirinto tridimensional complexo. Cavernas deste tipo podem ocorrer em diversas litologias, mas preferencialmente naquelas que são maciças, competentes, e que se quebram ao longo de fraturas para formar os matacões (Palmer, 2009).

As cavernas em rochas não carbonáticas são registradas no Brasil em quantidades significativas. Dentre 21.505 cavernas conhecidas no Brasil em 2020 cerca de 44% são em rochas não carbonáticas, sendo que cerca de 2% são em rochas ígneas,

segundo dados de 2021 do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas- CANIE (CECAV-ICMBIO). Há um discreto avanço no reconhecimento e exploração destas cavernas no Brasil, e isto pode ser visto com os dados apresentados por Sallun Filho & Karmann (2012), que no ano de 2012 apontaram que 1,4% das cavernas conhecidas eram situadas em rochas ígneas, significando numericamente 349 novas cavernas cadastradas no período de quase 10 anos.

Apesar de incipiente, no Brasil, alguns estudos têm sido realizados e já são identificadas diversas cavernas ao longo de todo o país, como nos estados de Santa Catarina (Mochiutti, 2020); Rio de Janeiro (Brito et al., 2019); Rio Grande do Sul (Rosa & Goldberg, 1997); Paraíba e Ceará (Waldherr et al. 2020); e São Paulo (Ávila et al., 2019; Zampaulo et al., 2005, 2007; Igual, 2011; Hardt, 2002).

Neste contexto, foi estudada a Gruta das Cordas, uma caverna granítica situada na escarpa oeste da Serra dos Cocais, no município de Valinhos (SP). Ao longo desta serra, 39 cavernas em granito foram identificadas pelos grupos de espeleologia Grupo de Estudos da Serra do Mar (GESMAR) e o Grupo da Geo de Espeleologia da Universidade de São Paulo (GGeo), desde 2005 até hoje (Zampaulo et al, 2007; Ávila et al., 2019). Deste total, 14 são cadastradas no Cadastro da Sociedade Brasileira de Espeleologia e outras 25, reconhecidas por informações do GGeo. Este artigo foca na compreensão da geologia e da gênese da Gruta das Cordas, através do mapeamento geoespeleológico, estudo microclimático da caverna, análise petrográfica dos granitos e análise da morfologia e lineamentos do campo de matacões da Serra dos Cocais, cujos resultados irão auxiliar no conhecimento do patrimônio espeleológico em rochas graníticas no Brasil e na proteção e preservação do patrimônio espeleológico. A Gruta das Cordas é uma das cavernas de maior relevância da região dada sua expressiva extensão, presença e diversidade de espeleotemas e fauna.

CONTEXTO REGIONAL

A Serra dos Cocais se encontra na porção leste do município de Valinhos, no Estado de São Paulo, estendendo-se por cerca de 6 km com orientação N-S e topo aplainado entre cotas de 700 a 900 metros (Figuras 1A, B e E), onde se desenvolvem terrenos denominados “Campos de Matacões”, caracterizados pela ocorrência de matacões de

granito de diversas formas e tamanhos no topo e nas encostas das serras (Migon, 2006).

Esta serra se insere no que foi denominado por Ross & Moroz (1997) de Planalto de Jundiá, uma das unidades de relevo do Planalto Atlântico, unidade morfoescultural do Cinturão Orogênico do Atlântico.

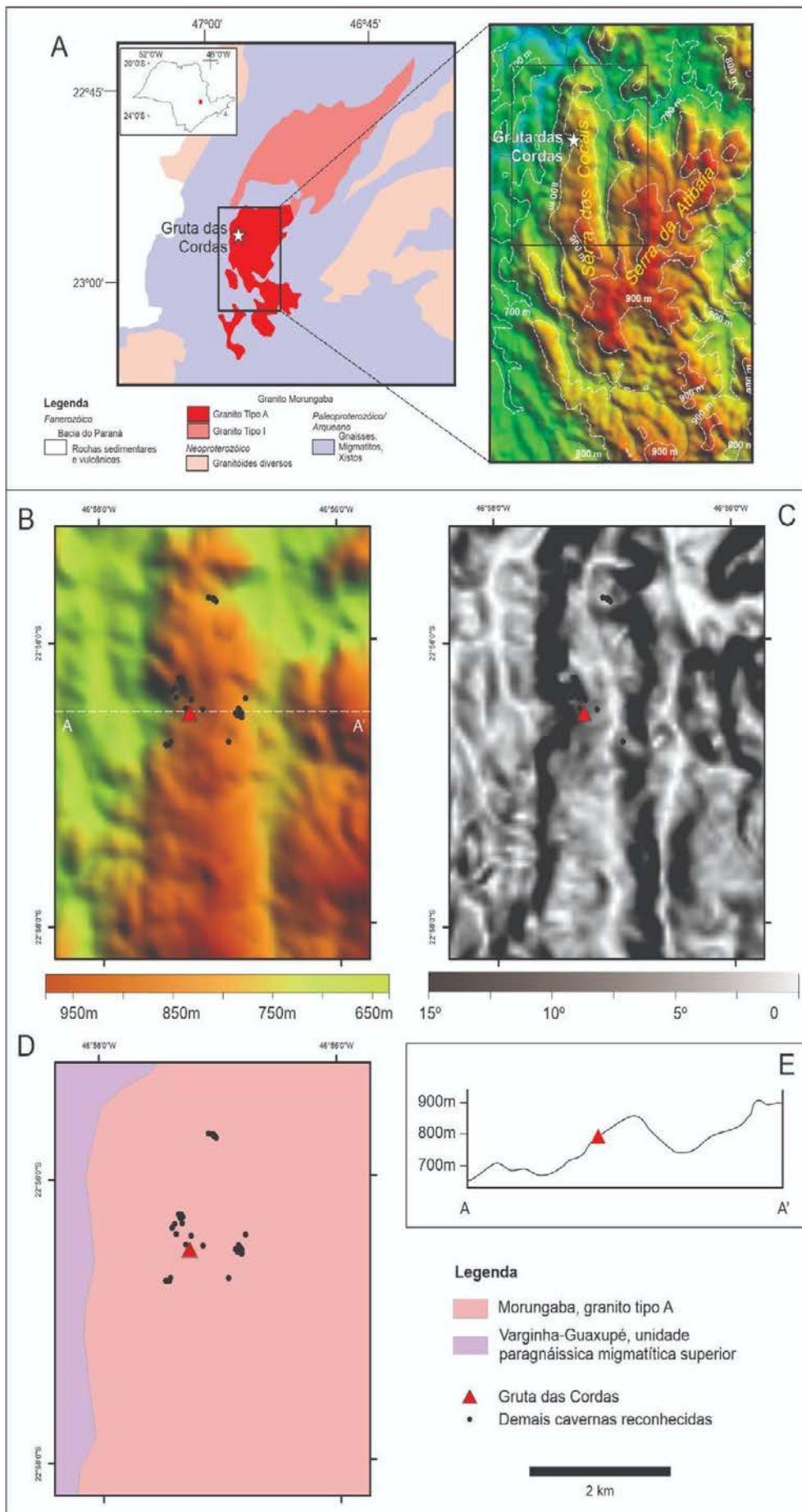


Figura 1 - Contexto da área estudada: A- Mapa geológico (Perrotta et al., 2006) e Modelo Digital de Superfície (MDS) regional da Serra dos Cocais e de Atibaia - com destaque à região da Serra dos Cocais; B- Modelo digital de superfície (MDS) na região da Serra dos Cocais; C- Mapa de declividade; D- Mapa geológico; E- Perfil topográfico E-W (localização em A).

Esta unidade de relevo é descrita por Ab'Saber (1970) como uma região de topos convexos (como observados na Serra dos Cocais, Serra das Cabras e Serra do Japi), com elevada densidade de canais de drenagem e vales profundos, que caracterizam o domínio dos Mares de Morros.

As cavernas da Serra dos Cocais concentram-se nas bordas leste e oeste da serra (Figuras 1B, C e E), sobretudo nas drenagens que nascem no topo e correm em sentido geral leste-oeste. O clima da região é subtropical úmido com verão quente (Alvares et al., 2013), com períodos de chuva muito bem marcados nos meses de outubro a março.

A vegetação regional se caracteriza pelo bioma de mata atlântica, com a fitofisionomia de

floresta ombrófila densa, que é caracterizada por uma mata sempre verde, e dossel de até 50 m (SÃO PAULO, 2020).

A geologia da Serra dos Cocais é associada ao Plúton Meridional, pertencente ao Batólito Morungaba (Figura 1D), uma das intrusões graníticas pós-orogênicas associadas a colisão da Placa Parapanema à Placa Sanfranciscana durante o Neoproterozoico (Janasi et al., 2009).

A litologia do plúton é caracterizada pela ocorrência de biotita monzogranitos, biotita quartzo-monzonitos e sienogranitos subordinados (Vlach, 1985). Estruturalmente, o plúton apresenta predominantemente contatos intrusivos, todavia na porção oeste, o contato é delimitado tectonicamente por uma zona de cisalhamento (Vlach, 1993).

METODOLOGIA

O mapa apresentado neste trabalho se baseou em parte da topografia realizada pelo grupo de espeleologia GGeo - USP (Ávila et al., 2019). Reconhece-se a existência de outras galerias a serem ainda mapeadas, devido a aleatoriedade dos blocos. Para a conclusão do mapa aqui apresentado foram realizados trabalhos de campo visando o mapeamento de condutos novos, detalhamento de setores já mapeados anteriormente, confecção de perfis transversais e longitudinais da caverna, a tomada de medidas estruturais, a tomada de fotografias, a instalação de um registrador de temperatura e umidade e a coleta de amostras de rocha para análise petrográfica. Para o mapeamento, foram utilizadas técnicas tradicionais de mapeamento em cavernas com bússola e clinômetro Suunto e também de técnicas mais modernas com o uso de equipamentos eletrônicos como a trena a laser Leica DistoX. No mapa da caverna apresentado neste trabalho, foram geradas curvas de nível relacionando com a cota altimétrica na base W0 na entrada (superfície) com as cotas relativas das bases topográficas do mapeamento.

Em fevereiro de 2020 foi instalado um registrador de temperatura e umidade dentro da caverna, do modelo Elitech RC-51H de acurácia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $\pm 3\%$ UR (a 25°C), configurado para medições periódicas contínuas, no intervalo de 30 minutos. O aparelho de medição foi instalado em zona afótica, próximo de uma pequena claraboia e próximo de um pequeno corpo d'água perene, sem fluxo identificado (Figura 6).

Após a coleta dos dados verificou-se que os dados válidos para análise de temperatura foram do dia 04/09/2020 às 16:15 até 01/11/2020 à 10:15, e para a análise da umidade foram do dia 04/09/2020 às 16:15 até 26/10/2020 às 21:45. Os dados coletados na caverna foram comparados com dados da estação A744 do INMET, em Bragança Paulista.

Em superfície, foi realizado um mapeamento dos matacões utilizando 45 imagens de alta resolução da Maxar (Google Earth™ serviço de mapa), mosaicadas e referenciadas (Figura 2). Sobre elas foram traçados manualmente 6.742 lineamentos de matacões, delimitados essencialmente por quebras nos matacões, e 218 eixos maiores de alguns matacões presentes numa ampla área que englobava a Gruta das Cordas, buscando observar os direcionamentos principais que poderiam ter condicionado a formação das cavernas, em especial a Gruta das Cordas.

O principal programa empregado para a interpretação do alinhamento dos matacões pela imagem foi o ArcMap, onde foram gerados *shapefiles* dos contornos dos matacões, dos lineamentos e dos eixos maiores desses blocos.

Entre as amostras de rochas graníticas coletadas, duas foram selecionadas e laminadas para descrições petrográficas de detalhe, sendo uma fora da cavidade (SC-01) e outra dentro da Gruta das Cordas (SC-02D). As descrições foram realizadas em microscópios Olympus BXP-40 no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

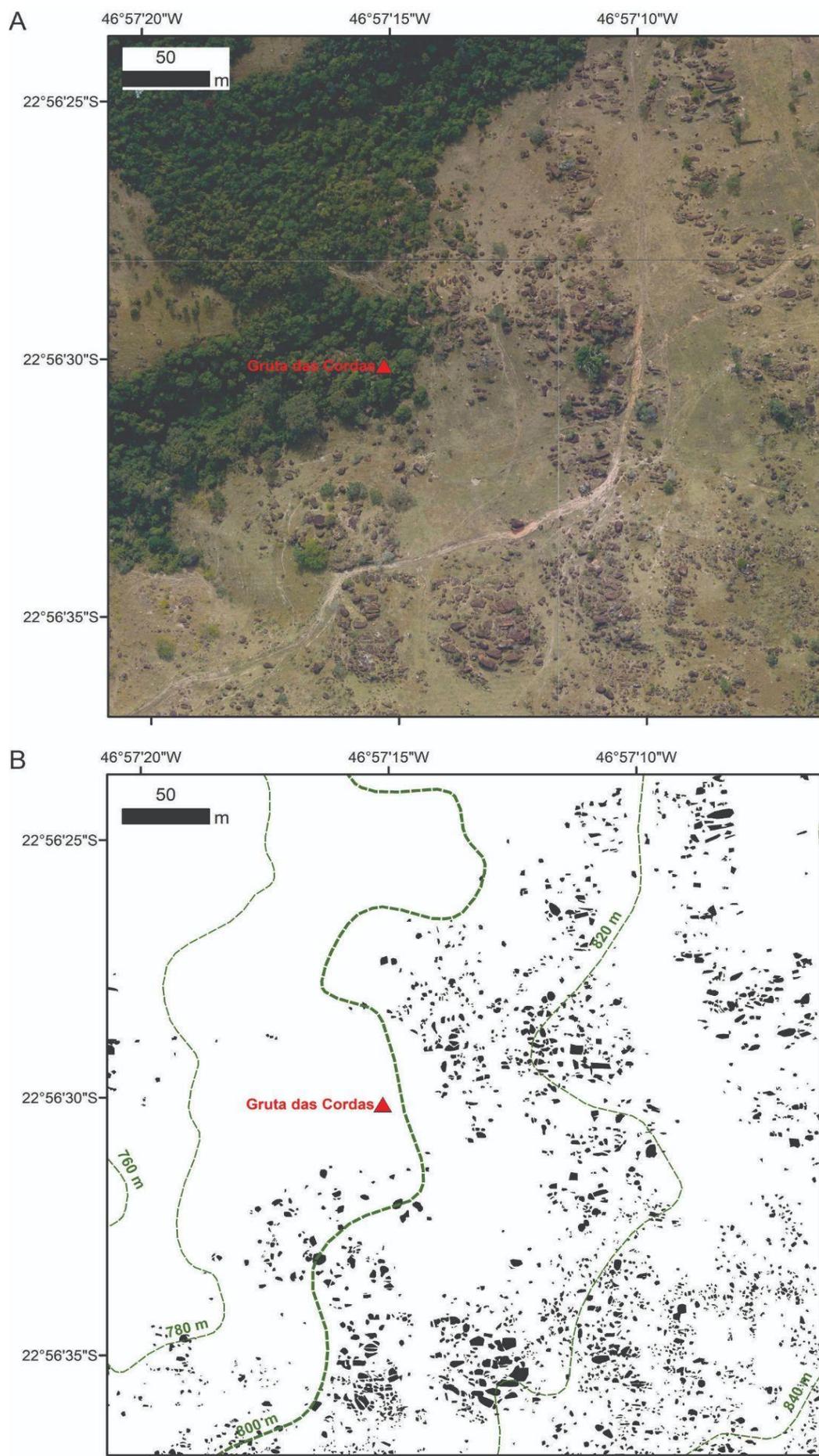


Figura 2 - Campo de matações na região da Gruta das Cordas. A- Imagem Maxar (Google Earth™ serviço de mapa), B- Mapa dos matações obtido a partir da imagem A.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização litológica e estrutural dos arredores da gruta

As rochas analisadas na região da Gruta das Cordas são biotita monzogranitos róseos leucocráticos a hololeucocráticos, ora equigranulares de granulação média (SC-02D), ora inequigranulares de granulação média a grossa (Figura 3A).

Na lâmina SC-01, identificou-se quartzo, feldspato alcalino (perítico, com borda de

albita), plagioclásio (bastante saussuritizado e mostrando zoneamento composicional), biotita (cloritizada), allanita, titanita, zircão e óxidos de Fe-Ti. Na lâmina SC-02D (Figura 3B), foram observados os mesmos minerais, com exceção da allanita. Em ambos os casos, as texturas das rochas são hipidiomórficas. O grau de intemperismo é relativamente alto, principalmente na amostra SC-02D, coletada na caverna.

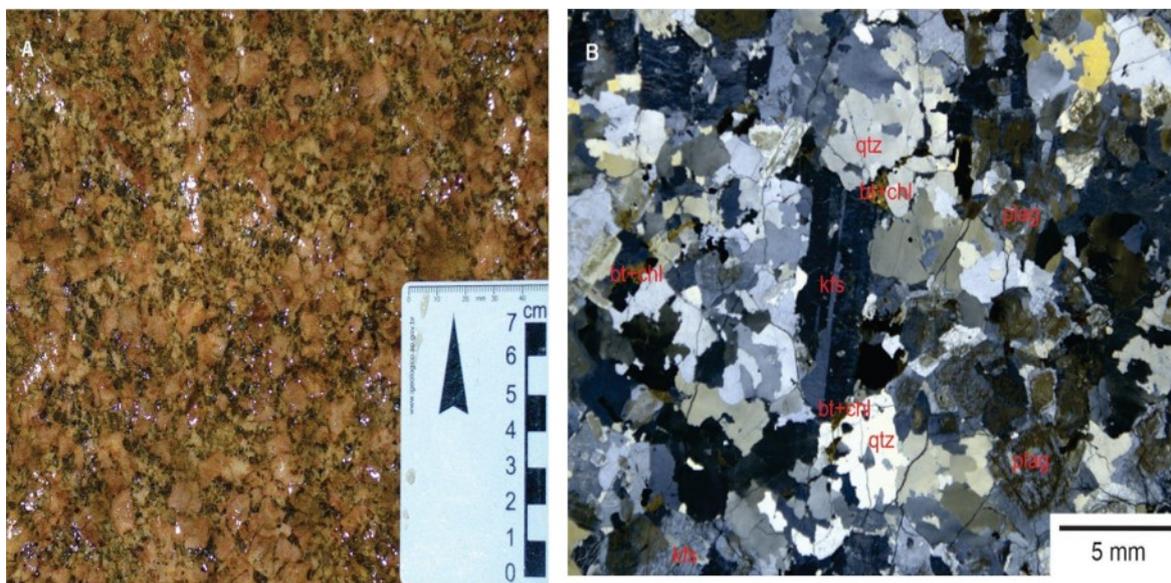


Figura 3 - Aspecto textural e mineralógico do granito em superfície de matacão dentro da Grutas das Cordas (A) e em lâmina petrográfica com polarizadores cruzados (amostra SC-02D - B). As abreviações: qtz – quartzo; kfs – feldspato alcalino; bt – biotita; chl – clorita; plag – plagioclásio.

Destacam-se dois aspectos que podem favorecer o intemperismo e a erosão: as alterações hidrotermais e a textura magmática de zoneamento. As alterações hidrotermais, descritas por Vlach (1985) e observadas também nas lâminas deste trabalho (cloritização da biotita, saussuritização de plagioclásios e a sericitização de feldspatos alcalino), ocasionaram a redução da granulometria dos minerais constituintes da rocha, o que favorece a erosão. Já os zoneamentos composicionais, com zonas mais cálcicas também alteradas hidrotermalmente, são zonas que favorecem o intemperismo químico, quando em contato com água.

Em nível microscópico, essas zonas de fraqueza podem ajudar a ação de alteração e erosão da rocha, que quando somados às fraturas desenvolvidas na serra, contribuem para a formação do regolito e dos blocos e matações, condicionando a formação das cavernas e espeleotemas.

Em superfície, observou-se na análise de imagens que os matações são pouco arredondados, poligonizados (facetadas pelo fratura-

mento), e apresentam pouca movimentação ou encontram-se *in situ*, características indicativas de taxa de erosão e exposição maior que a taxa de intemperismo (Figuras 2 e 4).

Além disso foram observados lajedos de rocha exposta e agrupamentos de blocos e matações *in situ*. Em campo, além das fraturas mapeadas remotamente, foram observadas juntas Horizontalizadas, associadas ao alívio de pressão do plúton, no momento de exumação (Figura 4).

As fraturas de mergulhos subverticais apresentam orientações NS, EW e ENE predominantes, NW-SE e NNE subordinadas. Em comparação aos eixos maiores dos matações, indica-se uma predominância na direção EW e ENE, com variações em NW-SE, o que concorda com a proposição anterior de que os matações guardam as estruturas tectônicas, (Figura 5).

Quando comparadas essas direções das fraturas às direções predominantes das drenagens extraídas no MDS, constata-se que são muito próximas dos eixos maiores dos matações, com direções majoritariamente EW, NW-SE e NE-SW.



Figura 4 - Vista do campo de matacões na região acima da entrada da Gruta das Cordas.

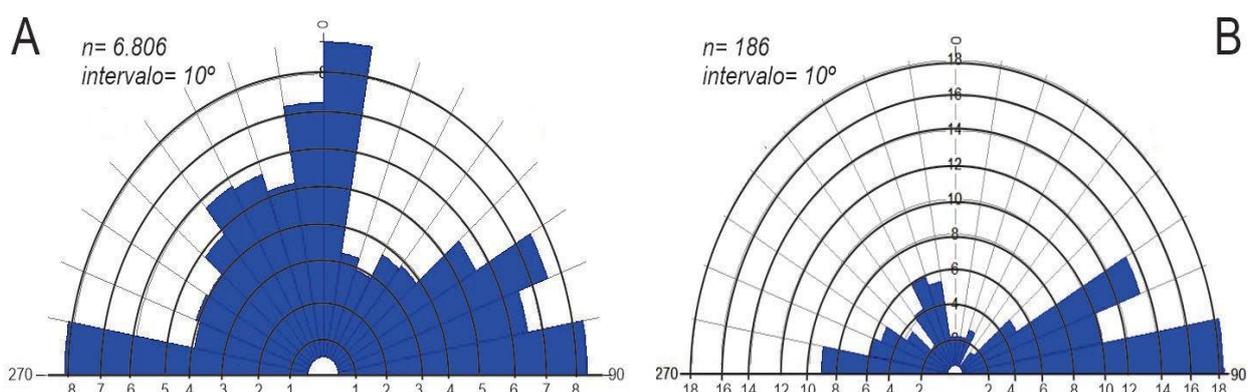


Figura 5 Diagramas de roseta de lineamentos observados em matacões (A) e de eixos maiores dos matacões (B).

Morfologia da Gruta das Cordas

A Gruta das Cordas apresenta desenvolvimento horizontal aproximado de 391 metros e desnível de 22 metros. A sua entrada principal está situada a uma altitude de 796 metros. Ela se desenvolve em uma drenagem e com orientação NS, acompanhando a direção geral da Serra dos Cocais. A caverna é essencialmente desenvolvida nos espaços entre o depósito de matacões na encosta e cabeceiras de drenagens. A morfologia da Gruta das Cordas indica duas principais zonas. Uma a leste, tangenciando a escarpa, com galerias orientadas, e outra a oeste e norte, com galerias sem padrão aparente.

Na porção leste, as galerias se desenvolvem conforme os direcionamentos estruturais predominantes na serra, EW e ENE. Essas estruturas podem ser observadas no mapa e no perfil CC', apresentados na figura 6. Na porção oeste e norte, observa-se um padrão estrutural menos claro, apesar de ainda ocorrerem algumas tendências de acomodação dos matacões e preservação das orientações principais, porém em outros locais ocorrem principalmente matacões acumulados. Essa porção caracteriza o que Palmer (2009) descreveu para cavernas

em matacões: “mapas de aparência confusa porque as partes acessíveis são delimitadas por um amontoado de rochas”.

Em perfil (longitudinal), observa-se que a caverna se desenvolve na descendente de Sul para Norte. A maior parte deste desnível é dada desde a entrada até o setor central da caverna, na área do salão Três Quedas. Após este setor a caverna tem um desenvolvimento praticamente horizontal até o norte.

No Salão do Canto, o teto é estabelecido por dois grandes matacões, que se acomodam conforme o perfil AA' (Figuras 7 e 9). Nesse perfil é possível notar a estrutura EW que segue até onde está destacado o Detalhe Superior B (Figura 7). Esse padrão de acomodação seguindo as estruturas de alívio de pressão e o tamanho dos matacões (>10m) sugere estabilidade e a formação de um teto concomitante ao processo de intemperismo e erosão do regolito (Figura 8). Seguindo o mesmo padrão, alguns condutos estruturados a leste apresentam feições iniciais de erosão do regolito concomitante à formação do teto, como destacado no perfil BB' (Figura 7). Em perfis transversais a morfologia dos condutos é dada pela forma e dimensão dos matacões (Figura 7).

Gruta das Cordas - SBE SP-810

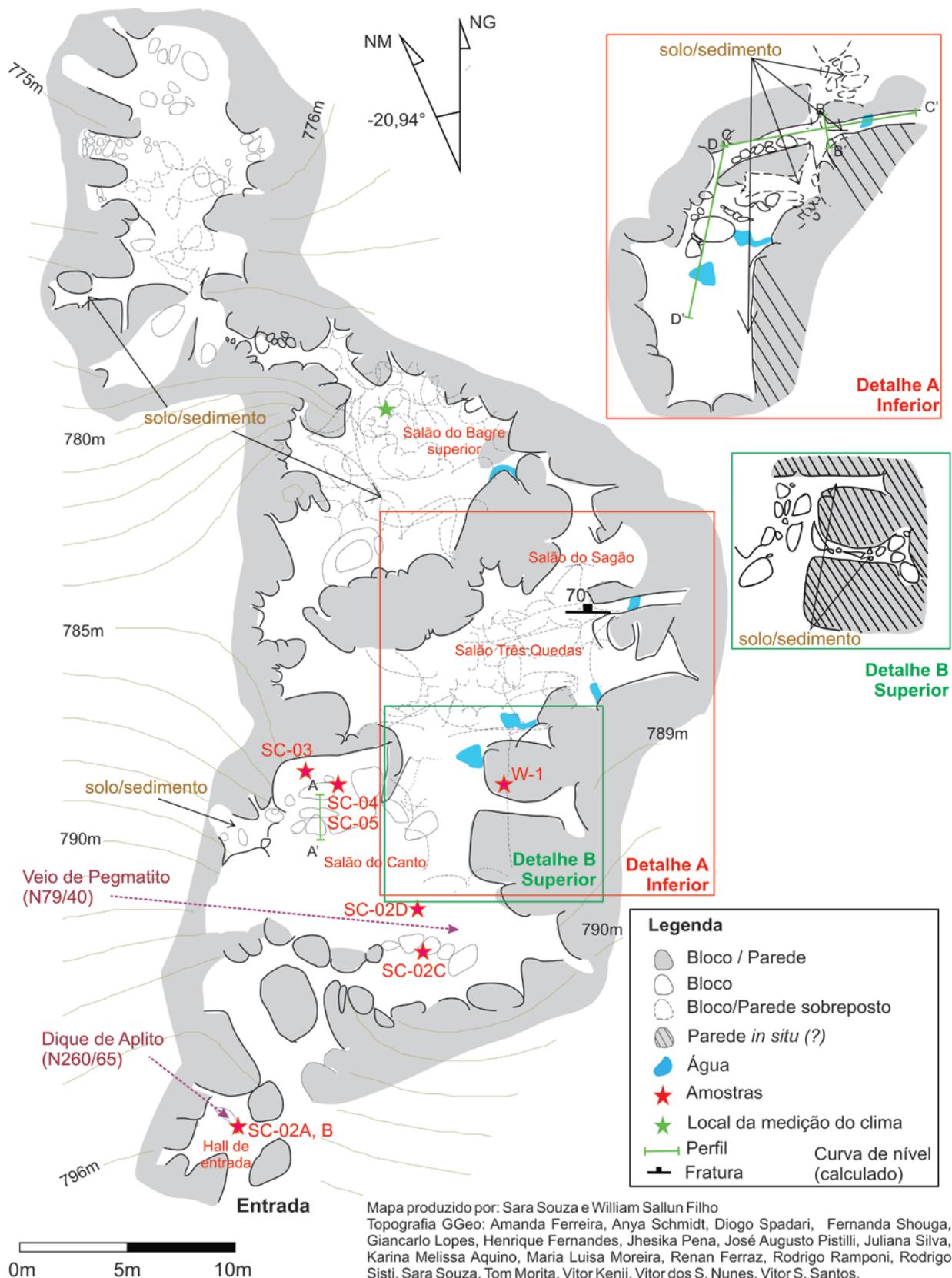


Figura 6 - Mapa geoespeleológico da Gruta das Cordas.

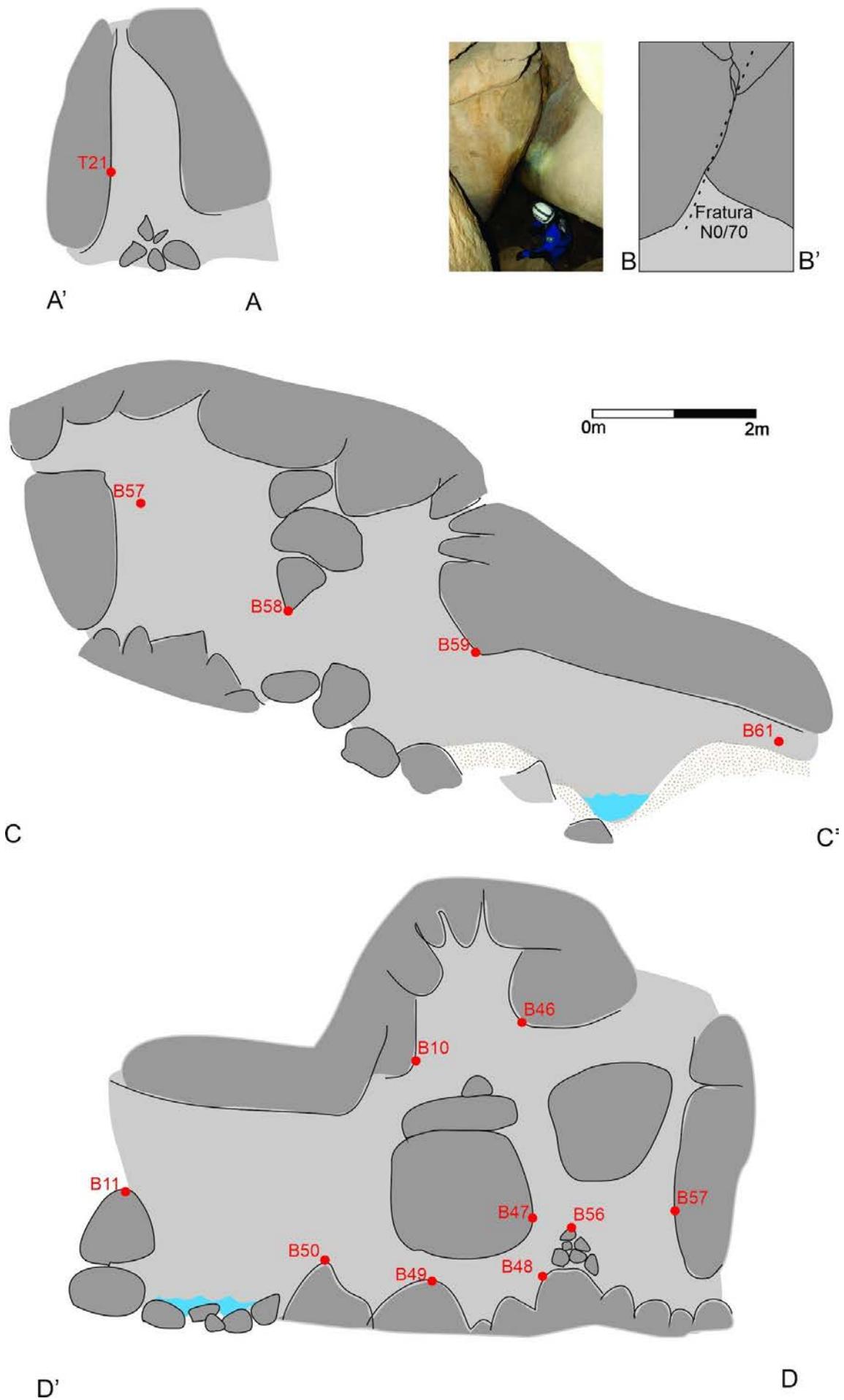


Figura 7 - Perfis transversais da Gruta das Cordas.



Figura 8 - Regolito parcialmente erodido entre dois matacões de granito na área do Salão do Canto.

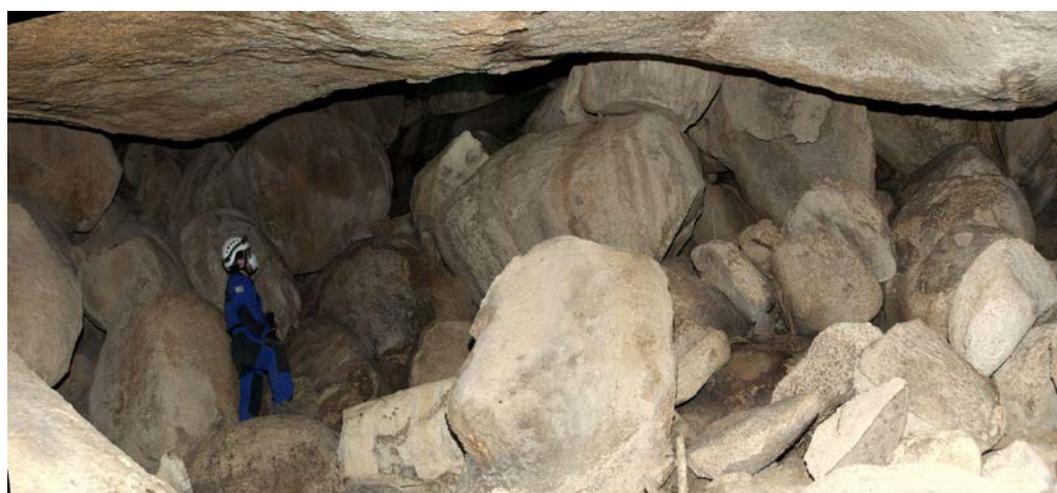


Figura 9 - Salão do Canto, formado por grande matacão no teto, matacões e blocos menores no piso.

Seguindo as proposições de classificação de Finlayson (1986) e Vidal-Romani et al. (2007), em ambos os casos a Gruta das Cordas apresenta uma morfologia mista. Em relação à proposta de Finlayson (1986), a Gruta das Cordas se classificaria como empilhamento de blocos (matacões) associados a fissuras fechadas. Enquanto que seguindo a proposição de Vidal-Romani et al. (2006), a gruta representaria em parte uma cavidade estrutural e em parte acumulação em vertentes.

Dentro da caverna, encontra-se em diversos lugares, espeleotemas do tipo coraloide de diversos diâmetros, e estalactites e crostas recobrendo blocos e matacões com estruturas de *microgour* na superfície (Vidal-Romani et al., 2015).

Espeleoclima da Gruta das Cordas

A temperatura e umidade relativa do ar mensuradas no interior da caverna permitiram a identificação de um ciclo de variação diária, com reflexos da variação climática regional. Este comportamento é comum, conforme evidenciado por pesquisas tanto em cavernas em zonas tropicais (Lobo et al., 2015; Gomes et al., 2021) quanto em zonas temperadas (Sebela & Turk, 2014; Sebela et al., 2019). Ainda, corroborando o ciclo diário, as temperaturas máximas foram registradas durante o dia e as mínimas durante a noite, de modo a evidenciar que praticamente não há intervalo temporal significativo entre as variações térmicas regionais e no interior da caverna, provavelmente por sua extensão e pela

quantidade de acessos ao exterior.

Os extremos de temperatura identificados foram de 17,6 °C e 20,2 °C. No mesmo período da pesquisa, a máxima regional registrada foi

de 36,8 °C e a mínima foi de 11,9 °C que fornece uma amplitude térmica regional de 24,9 °C, enquanto no interior da caverna foi de 2,6 °C (Figura 10).

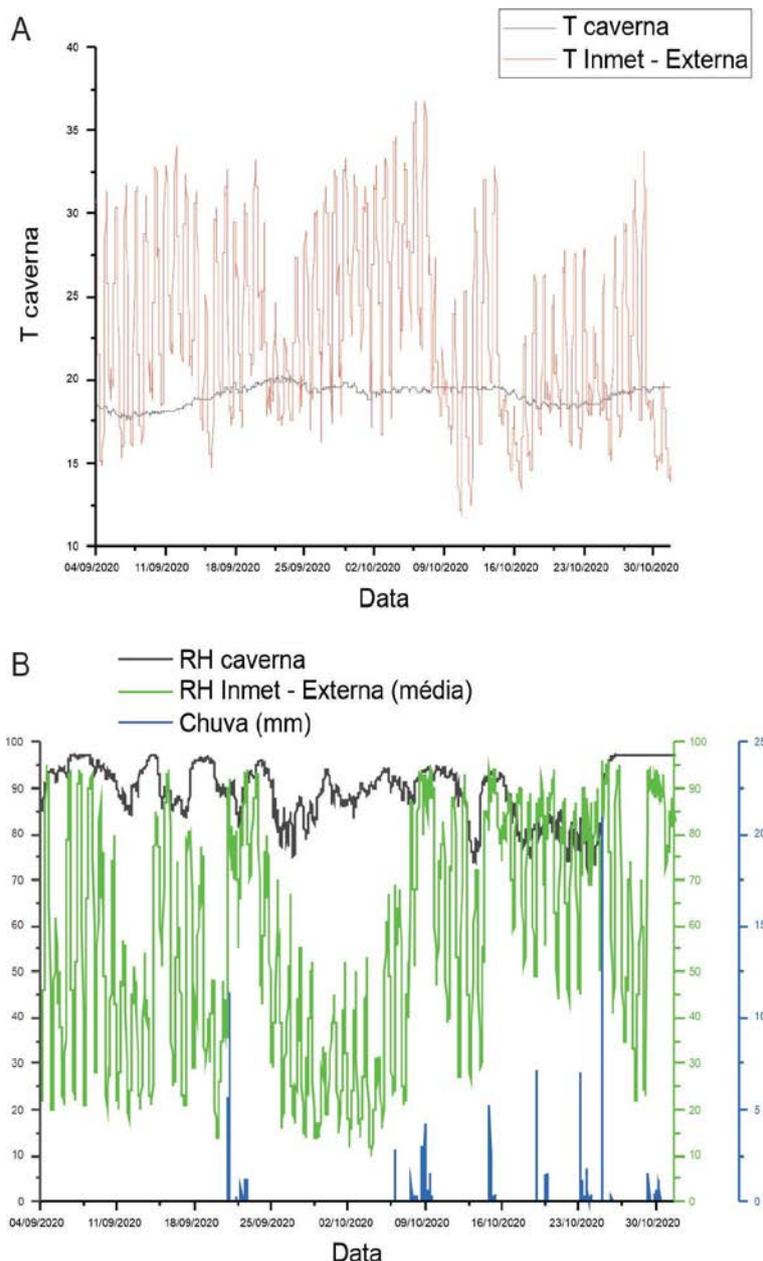


Figura 10 - Diagramas de variação da temperatura da caverna e externa (A), e das umidades relativas na caverna e externa e a pluviosidade (B), em função das datas de medição. Dados externos correspondem aos valores medidos na estação A744 do INMET (Bragança Paulista).

A temperatura média da caverna tem concordância geral com as mínimas externas. O coeficiente de correlação entre as temperaturas internas e externas é baixa e positiva, de 0,0502. Assim, nota-se uma diferença significativa, a qual é causada pela restrição espacial da caverna (Vaquero, 2017) e até mesmo por sua posição próxima à mata na borda da serra.

É possível observar que por vezes a temperatura externa aumenta enquanto a temperatura da caverna diminui, como p.ex. por volta do dia 22/9. Isso pode ser verificado por um coeficiente

de correlação de -0,379, inverso, entre os dias 21/09 00h15 à 23/09 23h45 (Figura 10).

Esse comportamento é devido à mudança da circulação de ar, já conhecido em outras cavernas, que pode ser justificado de diversas maneiras, desde variação da pressão atmosférica, mudança da direção e intensidade dos ventos e precipitação. Todos esses processos podem condicionar que em dias quentes o ar saia da gruta e em dias frios o ar se mantenha aprisionado.

Assim como a temperatura, a umidade relativa do ar também responde às variações externas,

mas em escala bem mais reduzida e de forma não linear. O ciclo diário apresenta oscilações irregulares, embora seja inversamente proporcional à variação de temperatura, conforme os padrões gerais da umidade relativa em cavernas (Cigna, 2004).

O coeficiente de correlação entre a umidade relativa interna e externa é baixo e negativo, de -0,0152. Enquanto no ambiente externo a umidade relativa do ar atingiu valores mínimos abaixo dos 20%, dentro da caverna os valores registrados foram sempre acima dos 75%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Gruta das Cordas é a maior caverna identificada na Serra dos Cocais até o presente momento. É uma caverna formada pelo acúmulo de matacões e blocos em vale e parte *in situ* na encosta da serra. De forma geral, não apresenta uma morfologia organizada, apenas na porção leste, onde as galerias se desenvolvem segundo direções estruturais bem definidas.

A espeleogênese proposta para esta gruta está associada à história tectônica da região (Figura 11), com a exumação do corpo granítico ao longo do Fanerozoico e o desenvolvimento de fraturas pervasivas ao plúton.

As áreas de maior declividade são aquelas que propiciam acúmulo de blocos e formação das cavernas.

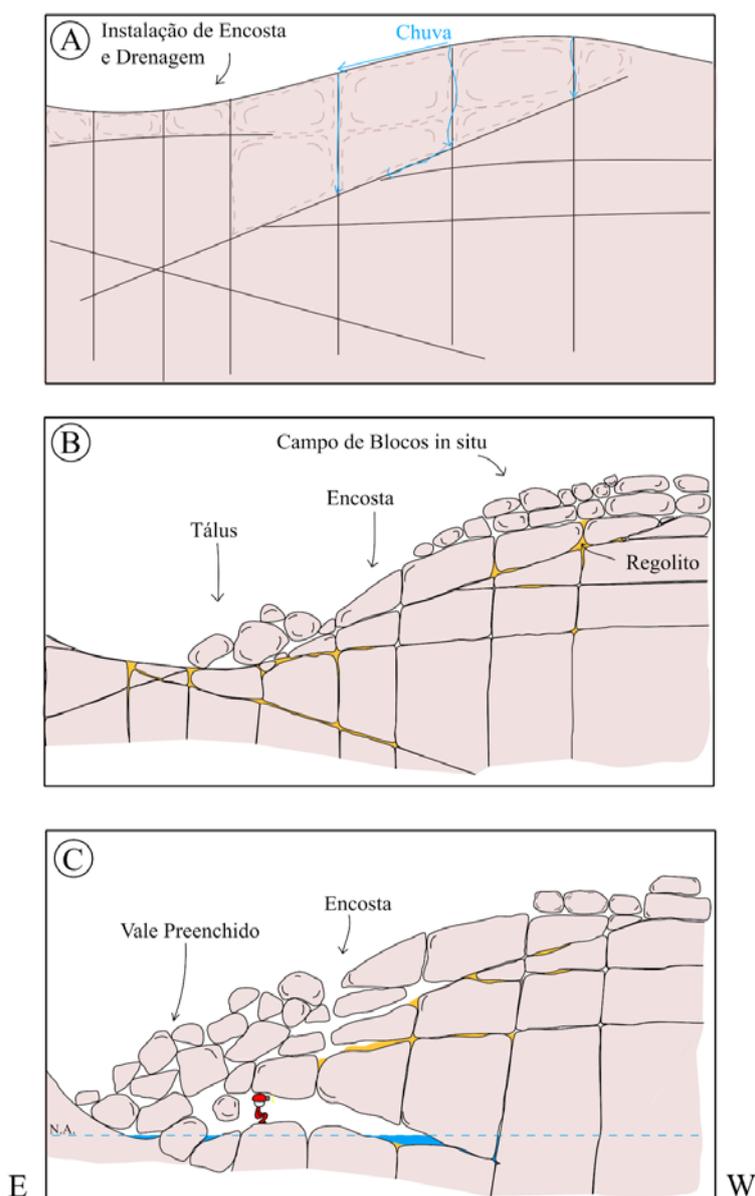


Figura 11 - Modelo evolutivo/genético simplificado da Serra dos Cocais e da Gruta das Cordas: A- Exposição do maciço, instalação das drenagens e início da formação das encostas; B- Atuação do intemperismo, diferenciando os matacões pelas fraturas, formação do campo de matacões, circulação de água pelas fraturas abertas, formação de regolito, preenchimento parcial de vales e alguns vazios entre matacões; C- Encostas mais evoluídas, desenvolvimento de tálus, vales mais preenchidos e geração de vazios maiores entre blocos, por remoção de regolito e fraturas abertas dando origem às cavernas.

Com a formação da serra já no Cenozoico, as fraturas possibilitaram o intemperismo em maiores profundidades que a superfície, permitindo o início da instalação de drenagens na borda da serra, com direção preferencial EW. Considerando as direções observadas, destaca-se que as fraturas com maior influência no intemperismo na serra são predominantemente as de orientação EW e ENE.

As fraturas EW na região seriam sincrônicas à tectônica extensional contemporânea à colocação dos corpos de diabásio durante o Eocretáceo (Fernandes & Mello, 2004; Fernandes & Amaral, 2002). Posteriormente, essas fraturas foram reativadas em eventos cenozoicos, principalmente no Paleógeno, mesmo período em que foram geradas as falhas/fraturas de orientação ENE (Fernandes & Mello, 2004). Nesse desenvolvimento, a percolação de água pelos planos de fraqueza da rocha iniciou o desenvolvimento de regolito e individualização dos blocos.

Em algum momento, a taxa de erosão da serra passou a ser maior que a taxa de intemperismo, o

que permitiu a exposição dos blocos de rocha fresca.

Estes, por sua vez, se acomodaram entre si ou rolaram ao longo das drenagens já bem desenvolvidas, se acumulando ao longo das vertentes (Figura 11), permitindo formar o que hoje é identificado na Gruta das Cordas.

Apesar de tenderem a apresentar menor desenvolvimento horizontal, desnível e volume, quando comparadas a cavidades em carbonatos, cavernas em granito como a Gruta das Cordas, mesmo com diversos acessos, apresentam dimensões suficientes para desenvolver um espeleoclima próprio e distinto, com reflexo das variações externas.

Por fim, o estudo de cavernas graníticas se desenvolve como um ramo pouco explorado na espeleologia do Brasil e do mundo. A produção do conhecimento científico nessa área pode ajudar a desenvolver legislações ambientais mais amplas e consequentemente garantir a preservação do patrimônio espeleológico e da fauna e flora que se aproveita do espaço cavernícola.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio da FAPESP (Bolsa de Iniciação Científica, Processo nº 2019/22184-2), do Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) (antigo Instituto Geológico - IG), e do Grupo da Geo de Espeleologia (GGeo) que realizou uma significativa parte de topografia da Gruta das Cordas, e gentilmente cedeu esses dados para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, IGEOG, USP, n. 20, 1970.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.D.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ÁVILA, A.N.; FERNANDES, H.A.; MORITA, T.D.M. Levantamento de cavernas graníticas da Serra dos Cocais - Valinhos (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019, Bonito. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2019. p. 190-200.
- BRITO, A.F.S.; ALMEIDA, L.H.S.; RAMOS, R.R.C. As grutas em rochas cristalinas do morro do Rangel, zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019, Bonito. **Anais...** Campinas: SBE, 2019. p. 86-90.
- CANIE (CECAV-ICMBIO). **Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro 2020. 2021**. Disp. em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Anuario/CECAV_-_Anuario_estatistico_espeleol%C3%B3gico_2020.pdf. Acessado em: 16 de maio de 2022.
- CIGNA, A.A. Climate of caves. In: GUNN, J. (Ed.), *Encyclopedia of caves and karst science*. London: Taylor & Francis, p. 467-475, 2004.
- ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS. INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disp. em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acessado em: 4 de junho de 2020.
- FERNANDES, A. J. & MELLO, C. L. Coberturas cenozóicas e estruturas deformadoras na Depressão Periférica Paulista, São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 42, n. 1, p. 31 - 44, 2023
- Campinas, São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 25, n. 1-2, p. 49-66, 2004.
- FERNANDES, A.J. & AMARAL, G. Cenozoic tectonic events at the border of the Paraná Basin, São Paulo, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, n. 8, p. 911-931, 2002.
- FINLAYSON, B. The formation of caves in granite. In: ANGLO-FRENCH KARST SYMPOSIUM, 1986. **Proceedings...** Norwich, England: 1986, p. 333-347.
- GOMES, M.; SANTOS, D.J.; RUCHKYS, U.A.; TRAVASSOS, L.E.P. Caracterização microclimática de cavernas turísticas do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, Minas Gerais, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 33, p. e58420, 2021.
- HARDT, R. **Grutas em rochas cristalinas/metamórficas estudo de casos na Serra do Mar e da Mantiqueira SP/MG**. 2002. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia Licenciatura) - Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ouro Fino.
- IGUAL, E.C. Gruta do Riacho Subterrâneo, Itu-SP (CNC SBE SP 700): a maior caverna em granito do Hemisfério Sul. **Teto Baixo**, ano 2, n. 2, p. 04-06, 2011.
- JANASI, V.A., VLACH, S.R.F., CAMPOS NETO, M.C., ULBRICH, H.H. Associated A-type subalkaline and high-K calc-alkaline granites in the Itu granite province, southeastern Brazil: petrological and tectonic significance. **The Canadian Mineralogist**, v. 47, n. 6, p. 1505-1526, 2009.
- LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C.; PERINOTTO, J.A.J. Speleoclimate dynamics in Santana Cave (PETAR, São Paulo State, Brazil): general characterization and implications for tourist management. **International Journal of Speleology**, v. 44, n. 1, p. 61-73, 2014.0
- MIGON, P. **Granite landscapes of the world. Series:**

- Geomorphological Landscapes of the World.** Oxford University Press, UK, 379 p., 2006.
- MOCHIUTTI, N.F.B. **Cavidades naturais subterrâneas em granito: estudo de caso do Sistema de Cavernas da Água Corrente-Ilha de Santa Catarina.** Florianópolis, 2020. 285 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- PALMER, A.R. **Cave Geology.** Estados Unidos: Cave Books, Dayton, 454 p, 2009.
- PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; CHIEREGATI, L.A.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. **Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo: Sistema de Informações Geográficas - SIG.** Programa Geologia do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2006.
- ROSA, A.A.S. & GOLDBERG, K. Levantamento preliminar da ocorrência de cavernas no Rio Grande do Sul. **Espeleo-Tema**, v.18, p. 13-22, 1997.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:500.000.** FFLCH-USP, IPT e FAPESP, São Paulo, 1997.
- SALLUN FILHO, W. & KARMANN, I. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BARTORELLI, A.; DE ALMEIDA, F.F.M. (Org.), **Geologia do Brasil.** Beca, p. 629-641, 2012.
- SÃO PAULO. Instituto Florestal. Inventário Florestal do Estado de São Paulo – **Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa.** 2020. Disp. em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/inventarioflorestal2020.pdf>. Acessado em: 16 de maio de 2022.
- ŠEBELA, S. & TURK, J. Natural and anthropogenic influences on the year-round temperature dynamics of air and water in Postojna show cave, Slovenia. **Tourism Management**, v. 40, p. 233-243, 2014.
- SEBELA, S.; BAKER, G; LUKE, B. Cave Temperature and Management Implications in Lehman Caves, Great Basin National Park, USA. **Geoheritage**, v.11, p.1163–1175, 2019.
- SJÖBERG, R. A proposal for a classification system for Granitic Caves. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 9, 1986, Barcelona. **Comunicacions...** Barcelona: União Nacional de Espeleologia, v. 2, 1986, p. 25-27.
- VAQUEIRO RODRÍGUEZ, M. **Cavidades naturais en rocas magmáticas: las cuevas en rocas plutónicas.** Coruña, 2017. 497 p. Tese de Doutorado. Universidade da Coruña.
- VIDAL ROMANI, J.R. & VAQUEIRO RODRIGUEZ, M. Types of granite cavities and associated speleothems: genesis and evolution. **Nature Conservation**, v. 63, p. 41-46, 2007.
- VIDAL-ROMANÍ, J.R.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, L.; VAQUEIRO, M.; SANJURJO-SÁNCHEZ, J. Bioweathering related to groundwater circulation in cavities of magmatic rock massifs. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 6, p. 2997-3010, 2015.
- VLACH, S.R.F. **Geologia e petrologia dos granitóides de Morungaba/SP.** São Paulo, 1993. 439 p. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- VLACH, S.R.F. **Geologia, Petrografia e Geocronologia das Regiões Meridional e Oriental do Complexo de Morungaba, SP.** São Paulo, 1985. 276 p. Tese (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- WALDHERR, F. R.; MAIA, R.P.; DO NASCIMENTO, M.A.L.; AULER, A.S. O Registro Histórico de Cavidades do Tipo Tafone em Terrenos Graníticos no Nordeste do Brasil. **Humboldt-Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, 2020.
- ZAMPAULO, R. A.; SOUZA, J.F.; PEREIRA, M.H.; LUZ, C.S. Impactos em grutas graníticas na Serra dos Cocais (Valinhos-SP): patrimônio espeleológico desconhecido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 29, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2007. p. 335-340.
- ZAMPAULO, R.A.; FERREIRA, J.S.; LIMA, M. E.L.; PEREIRA, M. H. Prospecção e topografia da Gruta Granítica T 47 (Bertioga-SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 28, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2005. p. 153-159.

*Submetido em 6 de setembro de 2022
Aceito para publicação em 17 de abril de 2023*