

ANAIS do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia

sbe

Brasília-DF, 20-23 de Abril de 2022

O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 36º Congresso Brasileiro de Espeleologia (CBE) disponível gratuitamente em <u>www.cavernas.org.br</u>.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

STUMPF, C. F.; PARRA, R.; GROPPO, B. B.; BRAIDO, F. L.; CUNHA, I. M.; TOLEDO, S. L. V.. Mineralogia de espeleotemas em cavernas areníticas: Um estudo de caso em cavernas da Serra de Itaqueri, São paulo, Brasil In: MOMOLI, R. S.; STUMP, C. F.; VIEIRA, J. D. G.; ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36, 2022. Brasília. *Anais...* Campinas: SBE, 2022. p.396-405. Disponível em: <<u>http://www.cavernas.org.br/anais36cbe/36cbe_396-405.pdf</u>>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia. Consulte outras obras disponíveis em <u>www.cavernas.org.br</u>





MINERALOGIA DE ESPELEOTEMAS EM CAVERNAS ARENÍTICAS: UM ESTUDO DE CASO EM CAVERNAS DA SERRA DE ITAQUERI, SÃO PAULO, BRASIL

MINERALOGY OF SPELEOTHEMS IN ARENITIC CAVES: A CASE STUDY AT THE SERRA DE ITAQUERI CAVES, SÃO PAULO, BRAZIL

Cintia Fernandes STUMPF (1), Raphael PARRA (1,2), Beatriz Bachega GROPPO (1,2), Fernanda Loebel BRAIDO (1,2), Ian Meireles da CUNHA (1,2), Sergio Leandro Vieira de TOLEDO (1).

(1) Espeleogrupo Rio Claro;

(2) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP).

Contatos: cintia_stumpf@yahoo.com.br, raphaelparra95@gmail.com.

Resumo

As cavernas da Serra de Itaqueri, na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, tem sido área de estudo e de atuação do Espeleogrupo Rio Claro (EGRIC) desde sua fundação, em 1979. Algumas das cavernas da região, desenvolvidas em rocha quartzo-arenítica, apresentam abundância de espeleotemas de pequena dimensão. Nos relatórios e discussões do EGRIC, assim como na literatura, existem inferências sobre a composição silicosa destes espeleotemas, dado o contexto geológico destas cavernas. Entretanto, há poucos estudos que investiguem a mineralogia deste tipo de material geológico. No presente resumo apresentamos dados sobre a composição de espeleotemas das cavernas Vaca Rolada e Vista da Casa, ambas localizadas na Serra de Itaqueri, interior do estado de São Paulo. Pela primeira vez, estes espeleotemas foram investigados através do conjunto de técnicas de microscopia eletrônica de varredura, difratometria de raios-x e fluorescência de raios-x. Resultados demonstram que os espeleotemas são compostos predominantemente pelo mineralóide opala-A, além da presença de grãos detríticos em seu arcabouço, como quartzo e feldspato.

Palavras-Chave: Espeleotema; Coralóide; Sílica amorfa; Cavernas areníticas; Opala; Mineralogia.

Abstract

The caves of Serra de Itaqueri, in the northeastern portion of the Paraná Sedimentary Basin, have been the subject of study and research by the Speleogroup Rio Claro (EGRIC) since its foundation in 1979. Some of the caves in the region, developed in quartz-sandstone, present an abundance of small size speleothems. In EGRIC's reports and discussions, as well as in the academic literature, there are inferences about the siliceous composition of these speleothems, given the geological context of these caves. However, there are few studies that investigate the mineralogy of this particular geological material. This work aims to present data on the composition of speleothems of the Vaca Rolada and Vista da Casa caves, both located in the Serra de Itaqueri, in the interior of São Paulo State. For the first time, these speleothems were investigated using the techniques of scanning electron microscopy, x-ray diffraction, and x-ray fluorescence. Results demonstrate that they are composed predominantly of the mineraloid opal-A, in addition to the presence of detrital grains, such as quartz and feldspar.

Keywords: Speleothem; Coralloid; Amorphous silica; Sandstone caves; Opal; Mineralogy;

1. INTRODUÇÃO

Espeleotemas são depósitos minerais formados em cavernas, tipicamente em rochas cársticas (GUNN, 2004), apesar de ocorrerem também em outros tipos litológicos, como quartzitos (CORRÊA NETO; BAPTISTA FILHO, 1997), granitos (ROMANÍ; RODRIGUEZ, 2007), minério de ferro/canga (ALBUQUERQUE; GONÇALVES; SANTOS JÚNIOR., 2017), arenitos (WRAY, 1996, 2009), dentre outras rochas. Entre os diferentes tipos morfológicos de espeleotemas, coralóides e crostas são exemplos abundantes em praticamente todas as cavernas, inclusive naquelas não carbonáticas.

Especificamente em cavernas areníticas, os registros de espeleotemas mais relevantes são as ocorrências nas cavernas venezuelanas, desenvolvidas em arenitos Paleoproterozóicos do Supergrupo Roraima (SAURO *et al.*, 2013; REIS *et*





al., 2017). Já no Brasil, poucos estudos foram desenvolvidos em espeleotemas de cavernas desta litologia. De forma geral, estes espeleotemas apresentam menor dimensão e exuberância quando comparados às ornamentações em cavernas calcárias.

Na literatura, são descritos espeleotemas para cavernas areníticas de acordo com suas morfologias, tais como pequenas estalactites, estalagmites, coralóides, crostas, couve flor, tufos de couve flor, pipocas (SPOLADORE; COTTAS, 2007) e caixas de ovos (VERÍSSIMO; SPOLADORE, 1994). Já em relação a mineralogia, são descritos espeleotemas de calcedônia, opala-A, cristobalita, tridimita, calcita, gipsita, litioforita, caolinita, limonita e goethita (WERNICK; PASTORE; PIRES NETO, 1976; MARTINS, 1985; WRAY, 1996; ROMANÍ; RODRIGUEZ, 2007; PONTES *et al.*, 2020).

O Espeleogrupo Rio Claro (EGRIC) atua na região da Serra do Itaqueri desde sua fundação (1979), realizando diversos estudos, como exemplo os trabalhos de Ribeiro *et al.* (2005), Hardt *et al.* (2009) e Vieira *et al.* (2013). Trabalhos anteriores do EGRIC indicam que os mais frequentes espeleotemas observados na região consistem de pequenas estalactites, coralóides e crostas na forma de couve-flor (MONTANO; DE CORTES; VIEIRA, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2005). Uma primeira análise microscópica e de difração é apresentada por Farias *et al.* (2015), indicando composição de sílica para espeleotema da caverna Campo Minado, localizada na mesma região de estudo.

Neste trabalho, foram analisados espeleotemas das cavernas Vista da Casa e Vaca Rolada, ambas localizadas na Serra de Itaqueri, estado de São Paulo, com objetivo de determinar a composição destes espeleotemas. A caracterização do material geológico foi realizada através de análises de Difratometria de Raios-x (DRX), Fluorescência de Raios-x (FRX) e Microscopia Varredura (MEV). Dado Eletrônica de а proximidade e semelhança do aglomerado de cavernas da região, acredita-se que os resultados obtidos podem ser generalizados para as demais cavernas da região, sem excluir ocorrências específicas e localizadas com mineralogia diversa.

2. CONTEXTO GEO-ESPELEOLÓGICO

A Serra do Itaqueri está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, próxima ao município de Ipeúna, na porção centro-leste do estado de São Paulo. Inserida no contexto tectônico da Bacia Sedimentar do Paraná, a serra é composta, principalmente, por rochas areníticas da formação Botucatu, do período Jurássico, sobrepostas por



Figura 1 - Mapa de localização. Cavernas Vista da Casa e Vaca Rolada, e caverna do Fazendão, como referência.

www.cavernas.org.br





rochas vulcânicas da formação Serra Geral, datadas do Cretáceo e sotopostas por arenitos da formação Pirambóia, do Triássico (ALMEIDA, 1964). Seu relevo é definido pelo Domínio de Cuestas, definidas por Ab'Saber (1956) como sinuosas linhas de escarpa com inclinação suave das camadas de rocha em direção ao centro da bacia, que provém ao relevo patamares altimétricos elevados.

Neste contexto paisagístico ocorre uma concentração de cavernas que se desenvolvem predominantemente nas rochas da formação Botucatu, localizadas no *front cuestiforme* (Figura 1).

De acordo com a classificação de Martins (1985) e Karmann e Sanchez (1986), a região está inserida na Província Espeleológica Serra Geral, compreendendo as escarpas arenito-basálticas que se estendem desde o Rio Grande do Sul até o nordeste do estado de São Paulo

Mais recentemente, o CECAV (2018) insere a Serra do Itaqueri no Mapa de Áreas de Ocorrência de Cavernas no Brasil, como um importante arcabouço de cavidades em rochas siliciclásticas do estado. Neste contexto estão inseridas as Cavernas Vista da Casa e Vaca Rolada, objeto de estudo deste trabalho. As entradas das cavernas se localizam em mesma cota topográfica (aprox. 855m) no *front cuestiforme*, distantes poucos metros uma da outra, com o entorno bastante vegetado e preservado. Ambas as cavernas foram descobertas em atividades prospectivas do EGRIC documentada em Vieira *et al.* (2013).

A Caverna Vista da Casa é uma pequena cavidade formada por um único salão com projeção horizontal de 17,35m e desnível total de 2,40m (SBE, 2019). Possui o teto baixo e ricamente ornamentado por espeleotemas (Figura 2-B), de tamanho reduzido, com alguns pontos de gotejamento ativo. Pequenas estalactites, coralóides e crostas ocorrem ao longo das paredes, contudo a maior concentração de espeleotemas é no teto da cavidade. A amostra PSP-04 foi coletada na porção mais distal da caverna. A Caverna Vaca Rolada possui um comprimento semelhante, com projeção horizontal de 16,18m e desnível de 4,80m (SBE, 2019), sua entrada é em declive (Figura 2-A), com blocos abatidos e sedimentos arenosos pelo piso. A zona fótica é predominante.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentamos neste estudo duas amostras de espeleotemas (PSP-04 e PSP-05), referentes ao "Projeto Serra dos Padres – Cota 800" do Espeleogrupo Rio Claro (EGRIC). Estas amostras foram coletadas nas Grutas Vista da Casa e Vaca Rolada, respectivamente, em abril de 2013, sob devida autorização para atividade com finalidade científica.

As amostras foram fotografadas (Figura 2) e descritas macroscopicamente com câmera digital Canon Sx40HS. Buscou-se confeccionar seções paralelas e perpendiculares às principais estruturas observadas nas amostras, sendo seccionados fragmentos de até 5cm, limpos por jato de ar. Imageamento detalhado foi realizado em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Zeiss EVO MA15, no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LMEV-UNESPetro) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Rio Claro, em amostras metalizadas com ouro. As análises foram operadas com filamento de tungstênio, 18-20 Kv e 0.03-98 Pa.

A mineralogia das amostras foi definida através da análise de difratometria de raios-x (DRX) em equipamento Bruker D2phaser, CuKa $(\lambda=1,54184\text{\AA})$. As amostras foram pulverizadas manualmente e secas em estufa a 90°C. A análise foi realizada com 30kV e 10mA. Após análise de DRX, o pó foi recuperado para análise de fluorescência de raios-x (FRX), realizadas em equipamento SpectroXepos, com 72 L/h, 40kV e 1mA. Dado o diminuto volume de amostra (~1g por amostra), uniu-se as amostras PSP-04 e PSP-05. Esta mistura foi realizada considerando que ambas as amostras são de material semelhante e coletadas mesmo contexto geológico, apresentando no composição química compatível. A amostra foi diluída com cera em fator 2:1 para confecção da pastilha sólida para análise.

4. RESULTADOS

4.1. Descrição morfológica

A amostra PSP-04 da Caverna Vista da Casa foi coletada em contato direto com o arenito encaixante (Figura 2-B,C,D). Este espeleotema é composto por material poroso e frágil, razão pela qual o espécime foi resinado para permitir seu manuseio sem dano. O centro da amostra é mais coeso, enquanto porosidade e fragilidade aumentam em direção às extremidades. A seção longitudinal exibe estrutura colunar irregular, com ramificações em direção ao topo. Estas colunas usam como substrato as crostas incrustadas na rocha. A laminação é evidente, marcada pela intercalação de camadas claras e escuras. O eixo de crescimento é predominantemente vertical de acordo com o fluxo gravitacional, dado que a amostra foi coletada do teto da cavidade, ou seja, as colunas se desenvolvem do teto (base da coluna) em direção ao piso da caverna (topo da coluna). Transversalmente, as





colunas são circulares e apresentam espaçamento diversos entre si, com diâmetros variando entre 1 e 5mm. Aspecto vítreo, localmente iridescente, ocorre na poção basal de algumas colunas, o que sugere uma recristalização do núcleo do espeleotema, provavelmente a parte mais antiga do mesmo.

A amostra PSP-05 da caverna Vaca Rolada (Figura 2-E, F) apresenta características distintas em relação a PSP-04. É mais robusta, sendo formada predominantemente por crostas endurecidas ao invés do predomínio de estruturas dendríticas. Há desenvolvimento de vida fotossintetizante sobre a superfície do espeleotema, assim como a presença de pequenas raízes, que curiosamente se concentram sobre as crostas secundárias (espeleotemas) e não sobre a superfície do arenito exposto, mesmo que ambas as superfícies recebam a mesma quantidade de luz incidente. Esta amostra apresenta superfície rugosa, estruturas cônicas milimétricas que não evoluem para colunas. Apesar de apresentar maior coesão, também é um material bastante poroso. Macroscopicamente a laminação não é evidente.



Figura 2 - Fotos de contextualização dos espeleotemas estudados. Entrada da caverna Vaca Rolada (A);
Espeleotemas no teto da caverna Vista da Casa (B); Vista de cima (topo) das amostras PSP-04 (C) e PSP-05 (E).
Ambas amostras estavam afixadas no teto das cavidades; Vista lateral das amostras PSP-04 (D) e PSP-05 (F).

4.2. Difratometria de Raios-X

As amostras consistem predominantemente de material sem planos cristalinos definidos, resultando em um difratograma com pico largo e pouco definido (Figura 3). A amostra PSP-05 é composta totalmente por material de baixa cristalinidade a amorfo, com pico de baixa definição entre 17°-28° 20. Já a amostra PSP-04, além do comportamento semelhante a PSP-05 em relação a presença de material de baixa a nula cristalinidade no mesmo intervalo 20, ocorre também picos bem delineados de quartzo de baixa temperatura. Ainda na PSP-04, picos em $2\theta = 27,5^{\circ}, 34,5^{\circ}, 42,5^{\circ}$ e $47,14^{\circ}$ não foram identificados com certeza, mas possivelmente representam uma orientação preferencial de feldspato do tipo microclínio. Nenhuma fase mineral carbonática foi identificada na composição dos espeleotemas, tampouco óxidos-hidróxidos de ferro e argilominerais.



Figura 3 - Difratogramas de raios-x das amostras de espeleotema PSP-04 e PSP-05.

4.3. Fluorescência de Raios-X

Em relação aos elementos maiores, a composição principal da amostra é de sílica, além de menores quantidades de Ca, Mg e Ti (Tabela 1). Identificou-se a presença de alguns elementos como bário (370ppm), cloro (~240ppm) e estrôncio (~30ppm). Diversos elementos ficaram abaixo do limite de detecção e foram eliminados da tabela de resultados.

5. DISCUSSÕES

Apesar de haver gotejamentos ativos nas amostras coletadas, não foi observado um caminho preferencial de escoamento na estrutura interna dos espeleotemas. A água percola pela superfície externa ou de forma errática pelo seu interior utilizando-se da porosidade irregular e

399





permeabilidade do próprio material. Estalactites são formadas por água de gotejamento crescendo a partir do teto, sendo muitas vezes iniciada por um canudo central vazio, com diâmetro minimizado pela tensão superficial da gota d'água na ponta do espeleotema, de forma que a acreção se dá para baixo, com cristais preferencialmente orientados (FAIRCHILD et al., 2006). No caso das amostras PSP-04 e PSP-05, a continuidade lateral das laminações e a ausência de um canal condutor no interior das colunas evidencia que, apesar da semelhança morfológica, não são estalactites propriamente ditas (Figura 2). Dada a descrição do material, classificamos os espeleotemas como coralóides, um termo geral utilizado para designar espeleotemas dômicos ramificados, e com morfologias variadas (ex. nodular. globular, botrioidal), geralmente sem conduto central, apresentando laminações internas de acreção (Figura 4-B), em geral formados por finos filmes d'água que escorrem ou respingam sobre a superfície, controlado por forças capilares (HILL; FORTI, 1995; CADDEO et al., 2015).

Tabela 1. Composição química da amostra, separando grupo de elementos maiores e menores: quantificação elemental (esquerda) e cálculo de óxidos (direita).

Elemento	%	Óxido	%
Si	29,5	SiO2	63,03
Ca	0,4	CaO	0,5
Mg	0,2	MgO	0,4
Ti	0,2	TiO2	0,3
Na	0,2	Al2O3	0,3
AI	0,1	Na2O	0,2
Fe	0,1	Fe2O3	0,1
S	0,0	SO3	0,1
Total	31		65
Elemento	(ppm)	Elemento	(ppm)
Ba	370	Zr	7,2
W	255,7	Mo	5,9
Cl	236,5	Ga	1,3
V	63	Rb	1,8
Co			
0	54,1	Y	1,7
Sr	54,1 25,4	Y Hf	1,7 8,8
Sr Cr	54,1 25,4 17,9	Y Hf Sn	1,7 8,8 8,7
Sr Cr Cd	54,1 25,4 17,9 16,5	Y Hf Sn I	1,7 8,8 8,7 4,4
Sr Cr Cd Ni	54,1 25,4 17,9 16,5 15,2	Y Hf Sn I Th	1,7 8,8 8,7 4,4 4,3
Sr Cr Cd Ni Zn	54,1 25,4 17,9 16,5 15,2 14,2	Y Hf Sn I Th Pb	1,7 8,8 8,7 4,4 4,3 3,1
Sr Cr Cd Ni Zn Cu	54,1 25,4 17,9 16,5 15,2 14,2 9,6	Y Hf Sn I Th Pb TI	1,7 8,8 8,7 4,4 4,3 3,1 2,3

Os dados de FRX e DRX indicam que as amostras são compostas predominantemente por opala, um mineralóide amorfo, como indicado nos difratogramas de DRX (Figura 3), composto predominantemente de SiO₂, como identificado no FRX (Tabela 1). A ocorrência de leitura de intensidade espalhada por volta de ~22,5° 20 no DRX coincide com a curva descrita por Finlayson e Webb (1985) como característica da Opala-A, tipo de opala de mais baixo grau de cristalinidade, formada a partir da desidratação e endurecimento da sílica gel precipitada em baixa temperatura.

Os picos bem definidos de quartzo identificados na amostra PSP-04 podem ser interpretados como grãos detríticos provenientes da rocha encaixante. A rocha hospedeira da caverna é arenito, comumente intemperizado e bastante friável nas superfícies em contato direto com a atmosfera da caverna onde se precipitam os espeleotemas. Imagens de MEV suportam esta interpretação, onde observa-se o acúmulo de grãos de quartzo nas depressões do espeleotema, comumente ocupando o entre as colunas arborescentes espaço do espeleotema (Figura 4-A). Estes grãos são de granulometria fina (250-125µ), bem selecionados, arredondados a sub-arredondados, facetados, correspondente à proveniência dos arenitos eólicos da Formação Botucatu (GESICKI, 2007).

Diferente dos resultados obtidos por Pontes et al. (2020) nas cavernas areníticas do Paraná, não foi identificada a presença de argilominerais, como a caulinita, que geralmente ocorre como produto da alteração intempérica de feldspatos potássicos. Podemos interpretar esta ausência de argilominerais no espeleotema devido ao alto grau de maturidade dos arenitos da formação Botucatu, nos quais a quantidade de feldspato não ultrapassa 7% da mineralogia total da rocha na região de estudo (WU; CAETANO-CHANG, 1992). Em contraponto, é importante ressaltar que alguns picos da amostra PSP-04 podem representar microclínio (KAlSi₃O₈), um mineral do grupo dos feldspatos (Figura 3). Estes picos são de pequena intensidade, sugerindo pouca quantidade deste mineral na amostra. Picos secundários apresentam intensidade anômala de em relação ao pico principal, podendo refletir uma preferencial de algum orientação plano cristalográfico do feldspato. Cabe ressaltar que este mineral não foi identificado com clareza, sendo que seus picos podem coincidir com outras fases minerais.

Também não foi constatada a presença de nenhuma fase carbonática no DRX, apesar de trabalhos anteriores sugerirem composição secundária de carbonatos para os espeleotemas das cavernas da região (MONTANO; DE CORTES; VIEIRA, 2014). Importante pontuar que os resultados de FRX por ora apresentados podem apresentar ampliada margem de erro devido à alta diluição da amostra, como descrito na metodologia.

A análise de fluorescência apresentou resultado total de 65% para a composição dos óxidos da amostra (Tabela 1), sendo os 35%





restantes justificados por perda de água no processo de aquecimento ao forno.



Figura 4 - Imagens MEV dos espeleotemas: A) Colunas maciças de opala (Op) com concentração de grãos detríticos de quartzo (Qtz) nas depressões e nos poros inter-colunares da amostra PSP-04. B) Intercalações de laminações de mesma composição com texturas maciça (m) e porosas/irregulares (p/i) da amostra PSP-04. C) Superfície maciça com hábito botrioidal. Micro-fratura com abertura de aprox. 2μ (seta) da PSP-05.

A composição da amostra está de acordo com o mineralóide opala, com fórmula química $SiO_2.n(H_2O)$, composto por 69% de SiO_2 e 31% de H_2O (MINERALOGY DATABASE, 2020). A presença de elementos como Ca, Mg e Ti sugerem que o fluido formador do espeleotema possa ter obtido sua composição química da interação com rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que sobrepõe os arenitos onde se desenvolvem as cavernas. O platô da Serra do Itaqueri é recoberto por basaltos fraturados que, comumente, apresentam disjunções colunares. A água meteórica infiltra e percola por estas descontinuidades interagindo com os basaltos capeadores, além de possivelmente se misturar com águas de recarga meteórica que ocorrem diretamente sobre as frentes escarpadas da cuesta, onde os arenitos estão expostos. As águas interagem entre sí e com as rochas, se enriquecendo em sílica dissolvida e em outros elementos menores, migrando pela zona vadosa até atingir as paredes e tetos das cavidades e por fim precipitar os espeleotemas nas cavidades. Apesar da sílica ser considerado um elemento de baixa mobilidade iônica, são encontrados valores de sílica dissolvida em aquíferos basálticos de 19mg/L e de 12mg/L em aquíferos areníticos (LAZZERINI; BONOTTO, 2014).

Crostas maciças com hábitos botrioidais registradas com MEV (Figura 4-C) colaboram para a interpretação de opala como componente principal, descrita como intercalações de porções maciças e porosas, com cristais indistinguíveis, presença de fratura conchoidal, hábito botrioidal e reniforme em algumas superfícies, semelhante a um rim ("kidney-like"). A opala pertence a classe dos silicatos. grupo Tectossilicato, subgrupo Mineralóide, sistema Amorfo. Geralmente é maciça, podendo também ser botroidal, reniforme. Não apresenta clivagem e fratura é tipicamente conchoidal. Apresenta traço branco e brilho fosco e/ou vítreo. Apresenta dureza alta a moderada (5,5 -6,5) e baixa densidade (1,9g/cm3 - 2,3g/cm3) (NAVARRO et al., 2017).

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentamos dados mineralógicos, composicionais e texturais de espeleotemas da Serra de Itaqueri, adquiridos a partir de análise de difratometria de raios-x, fluorescência de raios-x e microscopia óptica de varredura. Conclui-se que:

Morfologicamente os espeleotemas são predominantemente do tipo coralóide e crosta. Os coralóides se desenvolvem a partir de crostas ou diretamente sobre a rocha encaixante, apresentando base mais compacta evoluindo para ramificações em direção ao topo. Genericamente são colunares, com laminação interna bem definida. Já as crostas são mais compactas e não necessariamente apresentam laminação distinguível.

Quimicamente representam espeleotemas essencialmente silicosos.





Mineralogicamente são compostos por opala-A, além de conter grãos detríticos proveniente da rocha encaixante no seu arcabouço, sendo estes predominantemente grãos de quartzo e eventualmente de feldspato.

Não foram identificados carbonatos, oxihidróxidos de ferro e/ou argilominerais. A relativa "pureza" composiçional dos espeleotemas é interpretada devido a elevada maturidade dos arenitos eólicos da formação Botucatu, rocha encaixante das cavidades.

Imageamento por microscopia de varredura sustentam as interpretações, evidenciando as características micromorfológicas da mineralogia opalóide dos espeleotemas estudados.

O Egric pretende complementar os dados por ora apresentados e assim seguir contribuindo para o conhecimento técnico-científico das cavidades areníticas da Serra de Itaqueri, região utilizada como campo-escola pelo o grupo.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Chico Mendes de Conservação Biodiversidade-ICMBio da Ministério Meio Ambiente-MMA do pela autorização para coleta de material geológico para atividades com finalidade científica (SISBIO 38492-1). Ao UNESPetro pelo uso do MEV, através da bolsa de mestrado concedida ao autor S.L.V. Toledo pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES), Código de de Financiamento 001. À Bruno Bottino Grangeiro da Silva e Alan Jorge Miranda de Oliveira pelo apoio nas análises de DRX e FRX. À Gabriel Castro de Oliveira Domingues (UnB) pela re-análise e discussão sobre os resultados de DRX. À Camilla Casella (Aleluia) e Petie Barry pela revisão do abstract. À Jefferson Manzano (Dark) pela revisão e proveitosa discussão dos dados. A todos os integrantes do EGRIC, que direta e/ou indiretamente colaboraram neste trabalho, aos anos de dedicação, exploração, estudo e documentação das cavidades areníticas da Serra de Itaqueri. A todos, nosso muito obrigado.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. A terra paulista. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, n. 23, p. 5-38, 1956.

- ALBUQUERQUE, A. R. L. de; GONÇALVES, D. F.; SANTOS JÚNIOR, A. E. de A. Petrografia e mineralogia de espeleotemas em cavernas de Carajás, Sudeste do estado do Pará, Brasil. In: LIMA, A. M. M. de; GORAYEB, P. S. de S. (org.). Contribuições à Geologia da Amazônia. 10. ed. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2017. p. 13-22. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338980816 Petrografia e mineralogia de espeleotemas em cavernas de Carajas Sudeste do estado do Para Brasil Petrography and mineralogy of sp eleothems in Carajas' caves Southeast of the Para Brazil. Acesso em: 16 nov. 2020.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, n. 41, p. 167-273, 1964. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/09/Boletim_IGG_41_Geologia_do_Estado_de_Sao_Paulo-1964.pdf. Acesso em: 22 dez. 2020.
- CADDEO, G. A.; RAILSBACK, L. B.; DE WAELE, J.; FRAU, F. Stable isotope data as constraints on models for the origin of coralloid and massive speleothems: The interplay of substrate, water supply, degassing, and evaporation. Sedimentary Geology, Amsterdam, v. 318, p. 130–141, 2015. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2014.12.008.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS CECAV. **Mapa de Áreas de Ocorrência de Cavernas no Brasil**. Disponível em: <u>https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-</u> <u>e-atividades/provincias-espeleologicas.html</u>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- CORRÊA NETO, A. V.; BAPTISTA FILHO, J. Espeleogênese em quartzitos da Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 20, n. 0, p. 75–87, 1997.





Disponível em: <u>http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/1757</u>. Acesso em: 16 nov. 2020.

- FAIRCHILD, I.J., FRISIA, S., BORSATO, A., TOOTH, A.F. Speleothems, *In*: NASH, D.J., MCLAREN, S.J. (Eds.), Geochemical Sediments and Landscapes. Oxford: Blackwells, 2006. Cap. 7, p. 200– 245. doi: <u>https://doi.org/10.1002/9780470712917.ch7</u>. Acesso em 22 dez. 2020.
- FARIAS, V. de *et al.* Caverna Campo Minado: A mais importante descoberta da última década na Serra de Itaqueri (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33., 2015, Eldorado, SP.
 Anais [...] Eldorado, SP: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015. p. 299-304.
- FINLAYSON, B.; WEBB, J. A. Amorphous speleothems. Cave Science, [s. 1.], v. 12, n. 1, p. 3-8, mar. 1985. Disponível em: <u>https://www.researchgate.net/profile/John_Webb6/publication/279698817_Amorphous_speleothems</u> /links/55ca97ec08aeb975674a50ad.pdf. Acesso em: 22 dez. 2020.
- GESICKI, A. L. D. Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aqüífero Guarani) no Estado de São Paulo. 2007. Tese (Doutorado em Estratigrafia e Sedimentação) -Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/T.44.2007.tde-18122007-115436. Acesso em: 2020-12-22.
- GUNN, J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. [s.1.] : Taylor & Francis, 2004.
- HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. A. F.; WILLEMS, L. Exemplos Brasileiros de Carste em Arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). Espeleo-Tema, Campinas, v. 20, n. 1/2, p. 7-23, dez. 2009. Disponível em: <u>https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/96742/1/HardtR_etAl-2009-Espeleo-tema-Vol20p7-23.pdf</u>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- HILL, C.; FORTI, P. The classification of cave minerals and speleothems. **International Journal of Speleology**, [S. 1.], v. 24, n. 1, 1995. DOI: http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.24.1.5. Disponível em: https://scholarcommons.usf.edu/ijs/vol24/iss1/5. Acesso em 17 nov. 2020.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E. Speleological Provinces in Brazil. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 9, 1986, Barcelona. Anais [...] Campinas p.151-153. Disponível em: <<u>https://www.researchgate.net/publication/315112047_Speleological_Provinces_in_Brazil</u>>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- LAZZERINI, Fábio Tadeu; BONOTTO, Daniel Marcos. O silício em águas subterrâneas do Brasil. **Ciência** e Natura, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 159–168, 2014. DOI: 10.5902/2179460X13135.
- MARTINS, S. B. M. P. Levantamento dos recursos naturais do distrito espeleológico arenítico de Altinópolis, SP. Monografia de Especialização. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista Câmpus de Rio Claro, 1985.
- MINERALOGY DATABASE. Calcite Mineral Data. Disponível em: <u>http://webmineral.com/data/Calcite.shtml#.X7Qnd2hKjIW</u>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- MONTANO, L. F. M.; DE CORTES, J. P. S.; VIEIRA, L. B. Panorama geoespeleológico das grutas areníticas da Serra de Itaqueri, SP. Espeleo-Tema, Campinas, v. 25, n. 1, p. 11–24, 2014. Disponível em:
 https://www.researchgate.net/publication/319173977_Panorama_geoespeleologico_das_grutas_areniticas_da_Serra_de_Itaqueri_SP_Geospeleological_overview_of_the_Serra_de_Itaqueri_sandstone_c_aves.
- NAVARRO, G. R. B. *et al.* **Banco de dados do Museu Heinz Ebert Opala.** Rio Claro, 2017. Disponível em: <u>https://museuhe.com.br/mineral/opala-opal/</u>. Acesso em: 23 dez. 2020 .





- PONTES, H.; FERNANDES, L.; MELO, M. de; GUIMARÃES, G.; MASSUQUETO, L. Speleothems in quartz-sandstone caves of Ponta Grossa municipality, Campos Gerais region, Paraná state, southern Brazil. International Journal Of Speleology, Tampa, v. 49, n. 2, p. 119-136, maio 2020. University of South Florida Libraries. http://dx.doi.org/10.5038/1827-806x.49.2.2313. Disponível em: https://scholarcommons.usf.edu/ijs/. Acesso em: 22 dez. 2020.
- REIS, N. J.; NADEAU, S.; FRAGA, L. M.; BETIOLLO, L.; FARACO, M. T. L.; REECE, J.; LACHHMAN, D.; AULT, R. Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton - results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project. Brazilian Journal of Geology, São Paulo, v. 47, n. 1, p. 43–57, 2017. DOI: 10.1590/2317-4889201720160139.
- RIBEIRO, L. F. B.; CRUZ, F. R. SOUZA; RIBEIRO, M. C. S.; GODOY, D. F. Origem e controle estrutural e estratigráfico das cavernas, tocas, abrigos de Ipeúna e Itirapina -SP. *In*: ANAIS DO XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA 2005, Campinas. **Anais [...]** Campinas p. 205– 211. Disponível em: <u>https://geoparkcorumbatai.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Ribeiro-et-al.-</u> 2005-Origem-e-controle-estrutural-e-estratigr%C3%A1fico-das-cavernas-tocas-abrigos-de-Ipe%C3%BAna-e-Itirapina-SP.pdf. Acesso em: 16 nov. 2020.
- ROMANÍ, J. R. V; RODRIGUEZ, M. V. Types of granite cavities and associated speleothems: genesis and evolution. Nature Conservation, [S. l.], n. 63, p. 41–46, 2007. Disponível em: <u>https://www.researchgate.net/profile/Juan_Ramon_Vidal-</u> <u>Romani/publication/254967058_Types_of_granite_cavities_and_associated_speleothems_Genesis_a</u> <u>nd_evolution/links/564b20bf08ae9cd9c8282390/Types-of-granite-cavities-and-associated_speleothems-Genesis-and-evolution.pdf</u>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- SAURO, F.; LUNDBERG, J.; DE WAELE, J.; TISATO, N.; GALLI, E. Speleogenesis and speleothems of the Guacamaya cave, Auyan Tepui, Venezuela. *In*: 16TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY 2013, Anais [...] [s.l: s.n.] Disponível em: <u>https://www.researchgate.net/publication/253237470_Speleogenesis_and_speleothems_of_the_Guacamaya_Cave_Auyan_Tepui_Venezuela</u>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- SBE. Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (CNC). Campinas, 2019. Disponível em: <u>http://www.cavernas.org.br/cnc/Default.aspx</u>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- SPOLADORE, A.; COTTAS, L. R. Ornamentos de cavernas areníticas. In: ANAIS DO XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA 2007, Ouro Preto. Anais [...]. Ouro Preto p. 289–295. Disponível em: <u>http://www.bibliotecadigital.gpme.org.br/bd/wp-</u> content/uploads/more/pdf/bd-gpme-0938.pdf. Acesso em: 16 nov. 2020.
- VERÍSSIMO, C. U. V.; SPOLADORE, A. Gruta do Fazendão (SP-170): considerações geológicas e genéticas. Espeleo-Tema, Campinas, v. 17, p. 7-17, 1994. Disponível em: <u>http://cavernas.org.br/espeleo-tema/Espeleo-Tema_v17_007-017.pdf</u>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- VIEIRA, L.B.; *et al.*. Potencial espeleológico da Serra de Itaqueri (SP): trabalhos sistemáticos de exploração, mapeamento, coleta e análise de materiais e dados. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, n. 32., 2013. Barreiras. Anais [...] Campinas: SBE, 2013. p.281-291. Disponível em: <<u>http://www.cavernas.org.br/anais32cbe/32cbe_281-291.pdf</u>>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- WERNICK, E.; PASTORE, E. R. B.; PIRES NETO, A. Cavernas em Arenitos. Notícia Geomorfológica, [*S.l.*], v. 13, n. 26, p. 55 67, 1976.
- WRAY, R. A. A global Review of Solution Eathering Form on Quartz Sandstones. Earth Science Reviews, [S. l.], v. 42, p. 137–160, 1996.

404 -----





- WRAY, R. A. L. Phreatic drainage conduits within quartz sandstone: Evidence from the Jurassic Precipice Sandstone, Carnarvon Range, Queensland, Australia. Geomorphology, [S. l.], v. 110, n. 3–4, p. 203–211, 2009. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.04.007.
- WU, Fu-Tai; CAETANO-CHANG, Maria Rita. Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no Centro-Leste do Estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 58-68, 1992. Instituto Geologico. http://dx.doi.org/10.5935/0100-929x.19920004. Disponível em: http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8811. Acesso em: 22 dez. 2020.
