



# ANAIS do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia

## Curitiba - Paraná, 26 a 29 de julho de 2023



O artigo a seguir é parte integrante dos Anais do 37º Congresso Brasileiro de Espeleologia, disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br).

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

FERNANDES, H. A.; MORITA T. D. M.; DOMINGUES, R. A. P.; MORAIS, L.; SOUZA, S. S.; RODRIGUES, J. C.; ESTAIANO, J. C.. Caracterização mineralógica e composicional de espeleotemas de cavernas graníticas: biotemas? In: MISE, K. M.; GUIMARÃES, G. B.. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 37, 2023. Curitiba. *Anais...* Campinas: SBE, 2023. p.015-019. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe\\_015-019.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais37cbe/37cbe_015-019.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)

## CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E COMPOSICIONAL DE ESPELEOTEMAS DE CAVERNAS GRANÍTICAS: BIOTEMAS?

MINERALOGICAL AND COMPOSITIONAL CHARACTERIZATION OF SPELEOTHEMS FROM GRANITE CAVES: BIOTHEMS?

Henrique Albuquerque FERNANDES (1)\*; Tom Dias Motta MORITA (1); Ricardo Angelim Pires DOMINGUES (2); Luana MORAIS (1); Sara Santos de SOUZA (1); Julio Cauhy RODRIGUES (3); João Claudio ESTAIANO (4)

- (1) Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Brasil  
(2) Alimni Consultoria Científica  
(3) Institute of Geosciences – Johannes Gutenberg University, Alemanha  
(4) JCE Consultoria

Contatos: [henrique.albuquerque.fernandes@usp.br](mailto:henrique.albuquerque.fernandes@usp.br)

### Resumo

Espeleotemas em cavernas graníticas são formações ainda pouco estudadas, sobretudo no Brasil. Diversos organismos já foram documentados nas estruturas desses espeleotemas, mas sua influência ainda é incerta. Coraloídes de cavernas graníticas do sudeste brasileiro foram coletados e estudados para caracterização mineralógica e composicional. Resultados de difração de raios-X (DRX) apontam que opala-A é o principal constituinte dos coraloídes, que também apresentam grãos detríticos provenientes da rocha granítica na qual as cavernas se formam. Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por energia dispersiva (EDS) apresentam microcavidades formadas na massa de opala-A dos espeleotemas e abundância tanto de elementos presentes em minerais do granito (e.g. Si, Mg, Al), quanto de elementos bioessenciais não presentes no granito (C, S e P), o que sugere algum grau de envolvimento de micro-organismos. Por fim, é discutida a classificação dos espeleotemas estudados como “biotemas” ou “bioespeleotemas”.

**Palavras-Chave:** Biotemas, opala-A, cavernas graníticas, coraloíde.

### Abstract

*Speleothems in granite caves are still poorly studied, especially in Brazil. Several organisms have been documented in the structure of these speleothems. However, their influence is still uncertain. Coralloids from granite caves in southeastern Brazil were collected and studied for mineralogical and compositional characterization. X-ray diffraction (XRD) results indicate that opal-A is the main constituent of the coralloids, which also contain detrital grains from the granite host rock in which the caves form. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS) analyses show microcavities formed in the opal-A mass of the speleothems and an abundance of elements present in minerals of the host granite (e.g. Si, Mg, Al) and bioessential elements absent in the granite (C, S, and P), which suggests some degree of microbial influence. Lastly, the classification of the studied speleothems as “biothems” or “biospeleothems” is discussed.*

**Keywords:** Biothems, opal-A, granite caves, coralloid.

### 1. INTRODUÇÃO

Apesar de espeleotemas de opala em cavernas graníticas serem amplamente descritos na literatura internacional (e.g. VIDAL-ROMANÍ *et al.*, 2010; VAQUEIRO-RODRÍGUEZ; VIDAL-ROMANÍ; COSTAS-VÁSQUEZ, 2020; FILIPPI *et al.*, 2020), pouca atenção tem sido dada a tais formações no Brasil. Esses espeleotemas apresentam as morfologias de coraloídes e escorrimentos, sendo principalmente compostos de opala-A, mas com diversas fases minerais já documentadas (WILLEMS *et al.*, 2002; WEBB; FINLAYSON, 1984; VIDAL-ROMANÍ *et al.*, 2015).

Trabalhos anteriores mostraram a presença de organismos em espeleotemas de cavidades plutônicas, como colônia de bactérias, hifas de fungos, esporos, diatomáceas, entre outros (VIDAL-ROMANÍ *et al.*, 2010; 2015). No entanto, ainda é incerto se há de fato um papel desses organismos na construção do espeleotema.

Neste trabalho, apresentamos dados analíticos inéditos de espeleotemas do tipo coraloíde coletados em cavernas graníticas da Serra dos Cocais (Valinhos – SP) e da Serra de Guaripocaba (Bragança Paulista – SP) a fim de obter sua caracterização mineralógica e composicional e verificar se sua classifi-

cação como um “biotema” é apropriada.

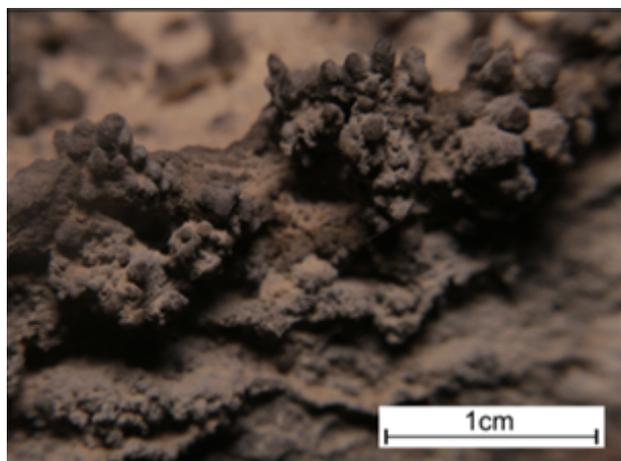
O presente trabalho também visa ampliar os conhecimentos acerca de espeleotemas em cavidades de composição granítica em território nacional, já documentados anteriormente nos Estados de Santa Catarina (MOCHIUTTI; TOMAZZOLI, 2017; 2019) e Rio de Janeiro (BRITO *et al.*, 2019) e aprofundar a pesquisa a respeito dos espeleotemas e cavernas graníticas da Serra dos Cocais (ÁVILA *et al.*, 2019).

## 2. METODOLOGIA

Foram coletadas cinco amostras de coraloídes, três na Gruta das Cordas, Valinhos – SP) e duas na Gruta das Caneluras (Bragança Paulista – SP) a partir de autorização concedida pelo CECAV. As amostras foram armazenadas em recipientes fechados de acrílico.

Visando a caracterização mineralógica e composicional dos coraloídes, foram utilizadas as técnicas de difratometria de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia por energia dispersiva (EDS). Para o método de DRX, as amostras foram pulverizadas manualmente com o uso de um pistilo de ágata e analisadas em um difratômetro Bruker D8 Advance da Vinci com detector LynxEye e radiação  $\text{CuK}\alpha$  no laboratório de DRX do Instituto de Geociências (IGc) – USP.

A amostra BP-3 foi selecionada para MEV e EDS em virtude de seu maior tamanho e potencial de preservação. A análise se deu em uma área circular de corte transversal do coraloíde. A amostra foi lavada com acetona, colocada para secar a 35°C por dois dias e recoberta com carbono. A análise foi feita em um MEV LEO 4401, com espectroscópio para SEM, no laboratório de MEV do IGc – USP.



**Figura 1:** Coraloíde em parede de cavidade granítica na Gruta das Cordas (Valinhos – SP).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

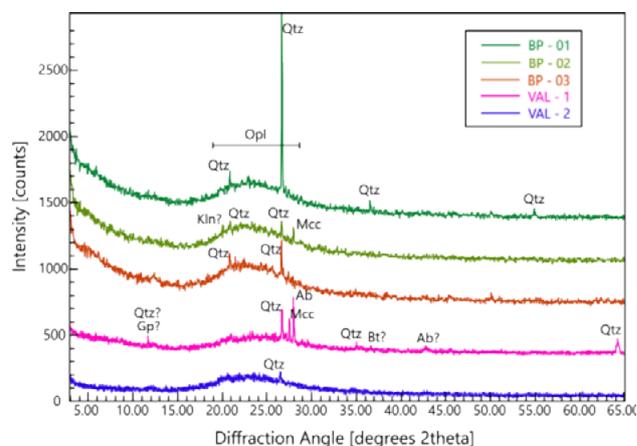
### 3.1. Contexto das cavidades

As amostras foram coletadas na Gruta das Cordas e Gruta das Caneluras, ambas constituídas em tálus acumulados em drenagens e formadas em granitos tipo A e S, respectivamente. Os locais de coleta de amostras correspondem a zonas de penumbra, com grande influência de materiais do solo e da vegetação, cujas raízes se estendem para o interior das cavidades.

Os coraloídes de teto e de parede apresentam uma morfologia predominante cilíndrica com espessura de 0,5 cm e comprimento de até 1,2 cm (Figura 1), sendo os coraloídes de teto ligeiramente mais finos do que os de parede. A seguir, são detalhados os resultados de DRX e MEV/EDS.

### 3.2. DRX

As amostras de coraloídes analisadas apresentaram um pico difuso por volta de 23° 2θ, característico de opala-A (FILIPPI *et al.*, 2020) e picos pontuais atribuídos à presença de quartzo, plagioclásio e microclínio e potencialmente caulinita e gipsita (Figura 2).

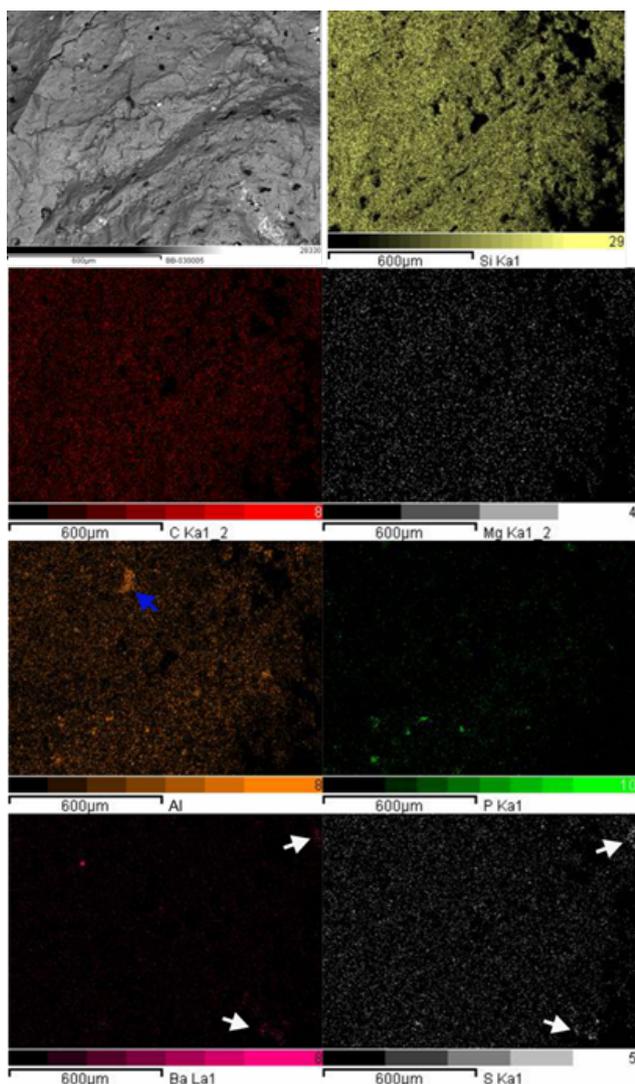


**Figura 2:** Padrão de DRX das amostras de coraloídes analisadas.

Esses resultados apontam para uma massa composta principalmente de opala amorfa (opala-A), com a presença de cristais que são presentes na rocha granítica que forma a caverna. Tais cristais são de origem detrítica, como grãos desagregados do granito que foram aprisionados na estrutura do espeleotema durante sua formação.

### 3.3. MEV e EDS

Os mapas elementares de EDS (Figura 3) indicam que elementos abundantes em minerais do

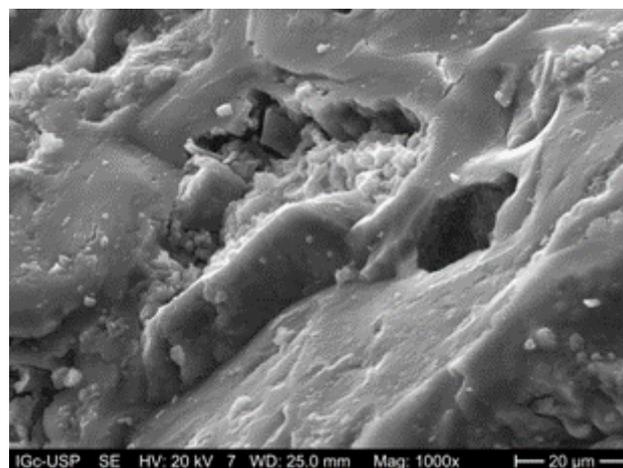


**Figura 3:** Mapas EDS de Si, C, Mg, Al, P, Ba e S da amostra de coraloide BP-3 em corte transversal. Setas brancas mostram concentrações coincidentes de Ba e S.

granito que forma a caverna (*e.g.* Si, Al, Mg) estão ampla e dispersivamente presentes na massa do coraloide, com concentrações locais referentes a grãos detríticos (seta azul na Figura 3). Esses elementos são presentes em quartzo, feldspatos e, no caso do Mg, minerais máficos como biotita e hornblenda. No entanto, nota-se também a presença de elementos bioessenciais não abundantes no granito hospedeiro, como C, S e P. Desses, a abundância de carbono pode estar relacionada ao revestimento da amostra para análise de MEV/EDS, o que exige cautela na sua interpretação. Enxofre e fósforo, por sua vez, ocorrem raramente em granitos como sulfatos e fosfatos acessórios, respectivamente. Uma vez que as concentrações de S e P no granito que forma a caverna são insignificantes, sua origem biogênica parece ser a forma mais plausível de explicar as altas concentrações no espeleotema analisado.

VIDAL-ROMANÍ *et al.* (2010) afirmam que micro-organismos aproveitam a massa extremamente porosa de coraloídes de opala em cavidades graníticas para desenvolver parcial ou inteiramente, seu ciclo de vida, proporcionando condições químicas específicas. De fato, fotomicrografias (Figura 4) apontam a existência de microcavidades na massa de opala-A do espeleotema, além de estruturas ricas em S e P.

A análise de EDS do coraloide BP-3 ainda apresenta regiões com altas concentrações dos elementos Ba e S, possivelmente indicando a presença de barita, mineral não observado no granito e que já foi documentado em espeleotemas e que possui potencial envolvimento de atividade microbiana (WISSHAK *et al.*, 2020). Esse envolvimento se dá a partir da precipitação de barita mediada por bactérias que oxidam S<sup>0</sup> e S<sup>2-</sup> (WISSHAK *et al.*, 2022).



**Figura 4:** Fotomicrografia de elétrons secundários mostrando microcavidades na massa de opala-A em coraloide (amostra BP-3).

Trabalhos anteriores atestam a origem inorgânica da opala-A nos espeleotemas, sendo por evaporação a partir de uma solução supersaturada em sílica (VIDAL-ROMANÍ *et al.*, 2015). A saturação em sílica da água subterrânea, por sua vez, é atribuída ao biointemperismo do granito por bactérias, que promovem lixiviação de metais, mudanças no pH e remobilização de elementos traços (ABDULLA, 2009; BURGHELEA *et al.*, 2018). Dessa forma, a formação de opala-A a partir de evaporação de água supersaturada em sílica é a explicação mais razoável para a origem dos espeleotemas estudados.

“Biotemas” são espeleotemas onde a morfologia, estrutura interna ou composição são influenciadas por organismos (CUNNINGHAM *et al.*, 1995; QUEEN; MELIM, 2006). O termo “bioespeleote-

ma”, por sua vez, refere-se a espeleotemas onde atividade biológica diretamente mediam sua deposição, de maneira similar a estromatólitos (LUNDBERG *et al.*, 2018). Considerando essas definições, os coraloides estudados podem ser definidos como biotemas, uma vez que a composição é evidentemente influenciada pelos organismos presentes e não simplesmente é igual a composição do granito no qual se forma. Apesar disso, visto que ainda é incerto se esses organismos atuam diretamente no crescimento dos espeleotemas, não é possível classificá-los como “bioespeleotemas”. Ressalta-se, no entanto, que ainda não há um consenso sobre a utilização desses termos na literatura científica.

#### 4. CONCLUSÕES

Amostras de coraloides de cavernas graníticas foram analisadas pelos métodos de DRX, MEV e EDS. Conclui-se que opala-A é o principal constituinte desses espeleotemas, que também possui, em menor proporção, cristais detríticos provenientes

do granito onde a caverna se forma e, possivelmente, minerais biogênicos como barita. A presença de microcavidades e a abundância de elementos bioessenciais nesses coraloides podem ser evidências da ação de microrganismos, mas ainda é incerto se eles estariam diretamente associados ao crescimento do espeleotema.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao grupo GGeo (Grupo da Geo de Espeleologia – USP) pela participação nos trabalhos de campo e por financiar esta pesquisa. Também agradecem a Isaac Sayeg pela ajuda referente ao MEV, a Flávio Carvalho pela ajuda referente à DRX, e a Daniel Goldner por gentilmente ceder fotos de coraloides. Por fim, os autores agradecem a Prominer Projetos LTDA pela permissão para publicar dados referentes à Gruta das Caneluras, ao CECAV pela autorização de coleta das amostras e a dois revisores anônimos pela valiosa contribuição na avaliação deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- ABDULLA, H. Bioweathering and biotransformation of granitic rock minerals by actinomycetes. **Microbial ecology**, v. 58, p. 753-761, 2009.
- ÁVILA, A.N.; FERNANDES, H.A.; MORITA, T.D.M. Levantamento de Cavernas Graníticas da Serra dos Cocais – Valinhos (SP). In: Zampaulo, R.A. (Ed.), **Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Bonito, p. 190-200, 2019.
- 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: Zampaulo, R.A. (Ed.), **Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, p. 86-90, 2019.
- BURGHELEA, C.I. *et al.* Trace element mobilization during incipient bioweathering of four rock types. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 234, p. 98-114, 2018.
- CUNNINGHAM, K.I. *et al.* Bacteria, fungi and biokarst in Lechuguilla Cave, Carlsbad Caverns National Park, New Mexico. **Environmental Geology**, v. 25, p. 2-8, 1995.
- FILIPPI, M. *et al.* Speleothems of the granite Gobholo Cave in Eswatini. **Journal of African Earth Sciences**, v. 172, p. 103986, 2020.
- LUNDBERG, J. *et al.* On biospeleothems from a Venezuelan tepui cave: U-Th dating, growth rates, and morphology. **International Journal of Speleology**, v. 47, p. 361-378, 2018.
- MOCHIUTTI, N.F.B.; TOMAZZOLI, E.R. Espeleotemas de uma caverna granítica na Ilha de Santa Catarina: uma análise preliminar. In: Rasteiro, M.A., Teixeira Silva, C.M., Lacerda, S.G. (Ed.), **Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Ouro Preto, p. 327-333, 2017.
- MOCHIUTTI, N.F.B.; TOMAZZOLI, E.R. Cavernas em granito. Precisamos falar sobre elas. In: Zampaulo, R.A. (Ed.), **Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Bonito, p. 18-29, 2019.
- QUEEN, J.M.; MELIM, L.A. Biothems: biologically influenced speleothems in caves of the Guadalupe Mountains, New Mexico, USA. **57th Field Conference, Caves and Karst of Southeastern New Mexico**,

p. 167-174, 2006.

VIDAL ROMANÍ, J.R. *et al.* Speleothems of granite caves. **Comunicações Geológicas**, v. 97, p. 71-80, 2010.

VIDAL ROMANÍ, J.R. *et al.* Bioweathering related to groundwater circulation in cavities of magmatic rock massifs. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, p. 2997-3010, 2015.

VAQUEIRO RODRÍGUEZ, M.; VIDAL ROMANÍ, J.R.; COSTAS VÁSQUEZ, R. Pseudokarst: un mundo en las otras cuevas. **Gota a Gota**, n. 22, p. 56-65, 2020.

WEBB, J. A.; FINLAYSON, B. L. Allophane and opal speleothems from granite caves in south-east Queensland. **Journal of the Geological Society of Australia**, v. 31, n. 3, p. 341-349, 1984.

WILLEMS, L. *et al.* Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. **Terra Nova**, v. 14, n. 5, p. 355-362, 2002.

WISSHAK, M. *et al.* Active growth of non-hydrothermal subaqueous and subaerial barite (BaSO<sub>4</sub>) speleothems in Lechuguilla Cave (New Mexico, USA). **International Journal of Speleology**, v. 49, n. 1, p. 2, 2020.

WISSHAK, M. *et al.* The barite conundrum: active growth of non-hydrothermal BaSO<sub>4</sub> speleothems in Lechuguilla Cave (New Mexico – USA). **18th International Congress of Speleology – Savoie Mont Blanc 2022**, p. 177-180, 2022.