



## MINERALOGIA MAGNÉTICA EM UM ESPELEOTEMA DO CENTRO-OESTE DO BRASIL: RESULTADOS PRELIMINARES

Plinio Jaqueto\*<sup>1</sup>, Gelvam A. Hartmann<sup>2</sup>, Ricardo I.F. Trindade<sup>1</sup>, Valdir F. Novello<sup>3</sup>, Francisco W. da Cruz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Geofísica, Laboratório de Paleomagnetismo e Magnetismo de Rochas. Rua do Matão, 1226, 05508-090, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Observatório Nacional, Rua General José Cristino, 77, 20921-400, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. Rua do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brasil.

\* e-mail: [plinio.jaqueto@iag.usp.br](mailto:plinio.jaqueto@iag.usp.br)

### ABSTRACT

The study of magnetism in speleothems is increasing in the last years, due to the better sensitivity of equipments, enabling the study of this secondary deposits formed by the chemical precipitation of calcium carbonate, a good candidate for environmental magnetism investigation. In this work, we present a rock magnetism study of a stalagmite located at Central West of Brazil. The sample has 24 cm length with age varying from 500 AD to 1900 AD. Thirty four specimens with 7.5 mm thickness were prepared to measure their respective Natural Remanent Magnetization, Anhysteretic Remanent Magnetization, Isothermal Remanent Magnetization, First Order Reversal Curve and acquisition magnetization in low temperature to understand different contributions from magnetic minerals through time. The results indicate the presence of magnetite and goethite with different concentration on the whole stalagmite. The temporal resolution of the magnetic data allows them to be used as an environmental fingerprint at the Central West of Brazil.

**Keywords:** Speleothem, Rock magnetism, Environmental magnetism.

### RESUMO

Os estudos de magnetismo em espeleotemas têm aumentado consideravelmente nos últimos anos devido a uma melhora na sensibilidade dos equipamentos, o que possibilita o estudo destes depósitos secundários de carbonato de cálcio (um candidato a investigações de magnetismo ambiental). Neste trabalho são apresentados resultados de magnetismo ambiental em uma estalagmite localizada na Caverna Pau d'Alho, município de Rosário d'Oeste, Mato Grosso do Sul, Brasil. A estalagmite tem 24 cm de comprimento com idades variando entre 500 AD e 1900 AD. Trinta e quatro espécimes de ~7.5 mm de comprimento foram preparados para medidas de Magnetização Remanente Natural (MRN), Magnetização Remanente Anisterética (MRA), Magnetização Remanente Isotermal (MRI), First Order Reversal Curves (FORC) e curvas de aquisição de magnetização em baixas temperaturas visando entender como as diferentes contribuições dos minerais magnéticos variam no tempo, determinados a partir dos diferentes parâmetros de magnetismo ambiental. Os resultados indicam a presença de magnetita e goetita em diferentes concentrações ao longo de todo o espeleotema. A resolução temporal dos dados magnéticos permite que eles sejam usados como marcadores ambientais da região Centro-Oeste do Brasil.

**Palavras Chave:** Espeleotemas, Magnetismo de rochas, Magnetismo ambiental.

### Introdução

Espeleotemas são depósitos secundários formados pela precipitação química de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>)



em cavernas. A água, ao infiltrar o solo e as rochas sobre as cavernas torna-se enriquecida em dióxido de carbono oriundo da decomposição da matéria orgânica e da dissolução das rochas carbonáticas. Quando essa solução rica em bicarbonato de cálcio atinge a caverna, ocorre liberação de dióxido de carbono e precipitação de carbonato de cálcio, formando os espeleotemas.

Em função de sua composição, os espeleotemas são amplamente utilizados como marcadores paleoambientais através do estudo dos sistemas isotópicos de oxigênio e de carbono (*e.g.*, Cruz *et al.*, 2005, 2009). Espeleotemas são mais do que materiais atrativos para estudos paleomagnéticos. Por serem depósitos sedimentares eles contêm minerais magnéticos, que podem ser usados para caracterizar a evolução local de parâmetros ambientais baseados na concentração, composição e tamanho de grão das assembleias de minerais magnéticos (Lascu e Feinberg, 2011). Avanços têm sido impulsionados para os estudos de magnetismo ambiental devido aos minerais que contêm ferro serem sensíveis a diversos processos geológicos que ocorrem em diferentes ambientes, o que torna a análise magnética extremamente útil em estudos de mudanças climáticas, poluição, biomineralização do ferro e no entendimento de processos deposicionais e diagenéticos em sedimentos (Liu *et al.*, 2012). Os parâmetros magnéticos são fortemente condicionados pelas fontes dos sedimentos e pelas condições de sedimentação. No caso dos espeleotemas, os minerais magnéticos estão associados a material detrítico carregado junto com a solução carbonática ou resultantes de eventos de inundação da caverna (Bosh e White, 2004).

Trabalhos recentes sugerem que o principal mineral magnético em espeleotemas é a magnetita fina (monodomínio), podendo ocorrer também hematita e goetita (Bourne *et al.*, 2015, Strauss *et al.*, 2014, Perkins *et al.*, 1996). Esse material depositado sobre a superfície do espeleotema é imediatamente encapsulado pelas camadas posteriores de carbonato de cálcio. A variação na composição, na concentração e no tamanho dos grãos magnéticos incorporados nos espeleotemas pode fornecer informações importantes para estudos paleoclimáticos.

Neste trabalho serão apresentados resultados de magnetismo ambiental determinadas para uma estalagmite da Caverna Pau d'Alho (14.8°S, 56.4°W), município de Rosário do Oeste, Mato Grosso, Brasil (Fig. 1). A

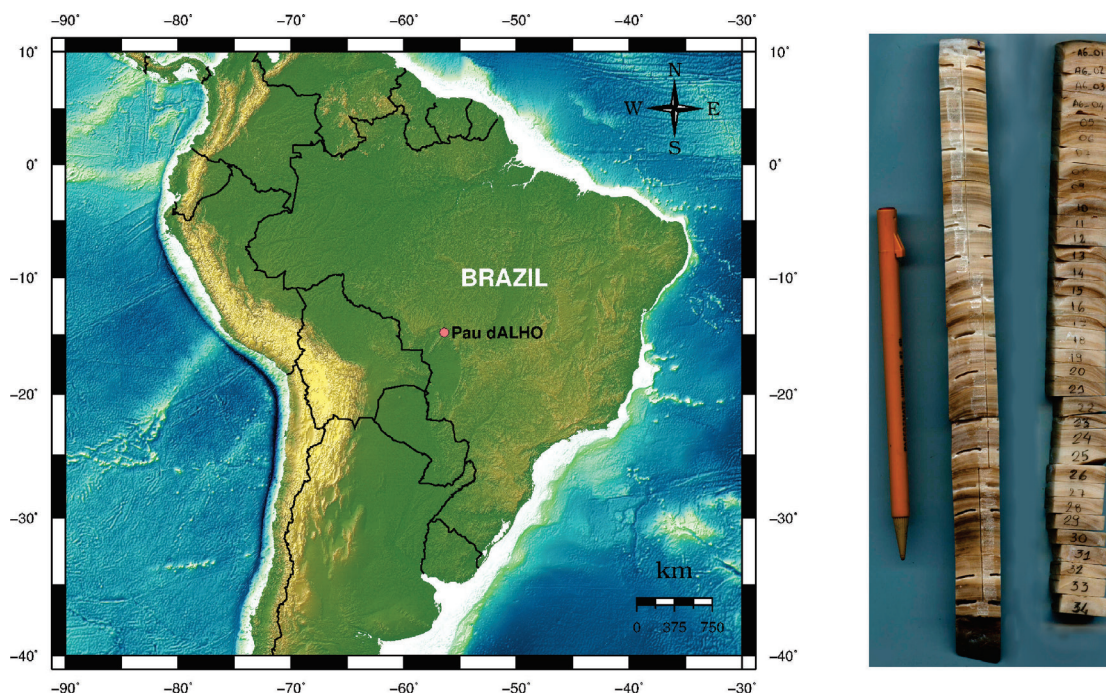
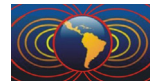


Figura 1. Mapa de localização da caverna para estudo e a amostra ALHO 06.



estalagmite apresenta idades  $^{230}\text{Th}$  que variam de 500 AD até 1900 AD, com uma taxa de crescimento  $\sim 0.15$  mm/ano. A mineralogia magnética ao longo de toda a estalagmite foi investigada através de medidas de Magnetização Remanente Natural (MRN), Magnetização Remanente Anisterética (MRA), Magnetização Remanente Isotermal (MRI), First Order Reversal Curves (FORC) e curvas de aquisição de magnetização em baixas temperaturas.

### Metodologia

A caracterização dos minerais magnéticos feita com cinco curvas de baixa temperatura usando o *Magnetic Property Measurement System* (MPMS) do *Institute for Rock Magnetism* (IRM) em Minneapolis, Estados Unidos. O procedimento consistiu em preparar as amostras em pó e em temperatura ambiente aplicou-se um campo de 2500 mT; em seguida, a amostra foi continuamente resfriada até 10 K e sua magnetização medida. As medidas de curvas FORC seguiram os protocolos descritos em Heslop e Roberts (2012) com a aquisição de múltiplas medidas visando-se obter uma melhora na razão sinal/ruído da magnetização.

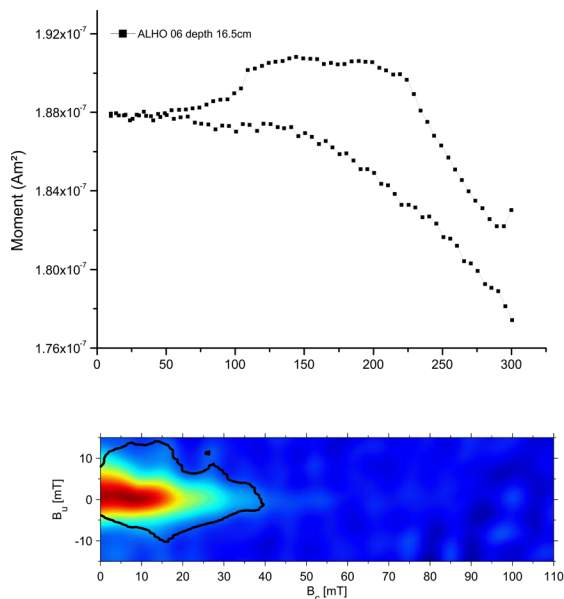
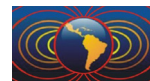
Para as análises de magnetismo ambiental, a estalagmite foi cortada em uma serra com fio diamantado onde foram obtidos 34 espécimes com aproximadamente 7.5 mm de altura (Fig. 1). Todas as medidas de magnetização foram realizadas utilizando um magnetômetro SQUID horizontal (2G Enterprises) alojado em uma sala blindada com campo magnético inferior a 0.0005 mT localizada na Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP). Os parâmetros de magnetismo ambiental foram determinados a partir de medidas de Magnetização Remanente Natural (MRN), Magnetização Remanente Anisterética (MRA) e Magnetização Remanente Isotermal (MRI). A MRA foi determinada a partir da aplicação de um campo contínuo de 0.05 mT com 33 passos superpostos de campo alternado. A aquisição de MRI foi feita com 38 passos em sucessivos campos pulsados até 2800 mT e depois na direção oposta até 300 mT. O objetivo desses procedimentos é de acessar os diferentes minerais magnéticos, assim como suas variações em tamanho e concentração; para comparação entre os diferentes espécimes foi feita a normalização pela massa.

### Resultados e Discussão

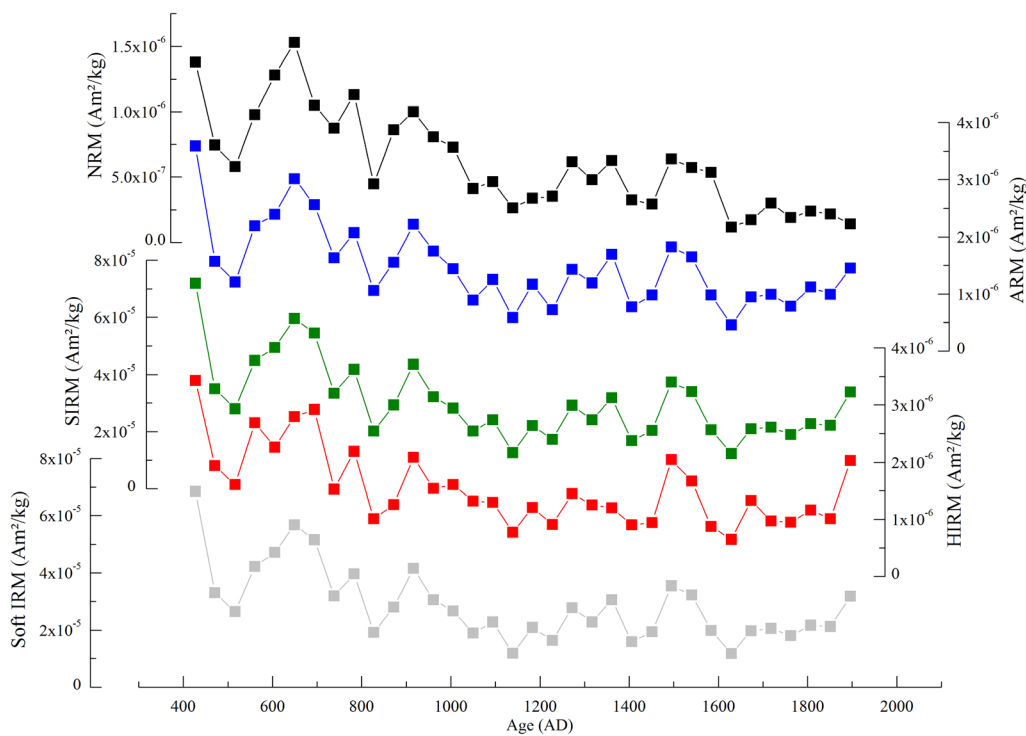
A mineralogia magnética ao longo de toda a estalagmite é homogênea. Os minerais encontrados foram a magnetita e goetita (Fig. 2). A magnetita tem a transição de Verwey bem marcada para a temperatura de 120 K e a goetita tem o comportamento de aumentar o seu momento magnético com a diminuição da temperatura (Strauss *et al.*, 2013). O diagrama *FORC* (Fig. 2) também mostrou a presença de magnetita pedogênica originada de bactérias redutoras de ferro caracterizadas pela crista ao longo do eixo horizontal e seu pequeno espalhamento no eixo vertical devido a goetita. Esta assinatura pedogênica é encontrada em diversos tipos de solos (Geiss *et al.* 2008).

A partir da homogeneidade da mineralogia magnética em toda estalagmite, foi feito o cálculo de parâmetros de magnetismo ambiental como a Magnetização Remanente Isotermal de Saturação (MRIS), a componente de menor coercividade (Soft IRM), a de maior coercividade (HIRM), a Magnetização Remanente Anisterética (MRA) e a Magnetização Remanente Natural (MRN). Os resultados indicam uma variação da concentração magnética através do tempo (a partir da interpolação dos 12 pontos de datação) (Fig. 3). Pode-se observar uma tendência de decréscimo dos valores de magnetização com o tempo para todos os parâmetros magnéticos, indicando uma diminuição da concentração dos minerais magnéticos. Além disso observa-se uma coincidência entre os valores de máximos e mínimos, indicando que os dados de magnetismo em espeleotemas são excelentes registradores para estudos paleoambientais.

A fim de entender a relação entre as diferentes contribuições dos minerais, foi efetuada a correlação entre duas variáveis alternando os diferentes parâmetros magnéticos (Tabela 1). O resultado obtido tem valor maior do que 0.6 demonstrando que o sinal magnético tem uma forte correlação, tanto a baixa coercividade

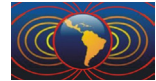


**Figura 2.** Variação da magnetização com baixas temperaturas, diagrama *FORC* evidenciando a presença de magnetita e goetita.



**Figura 3.** Perfil dos diferentes parâmetros obtidos, a semelhança entre os dados mostra a estabilidade da magnetização em espeleotemas.

(MRA, Soft IRM), a alta coercividade (HIRM) e os parâmetros que são a soma dos dois sinais (MRN, MRIS). Isto é um forte indicativo de que o sinal magnético proveniente da magnetita e goetita são adquiridos na estalagmite em um mesmo instante.



**Tabela 1.** Correlação entre os diferentes parâmetros obtidos, onde Magnetização Remanente Isotermal de Saturação (MRIS), componente de menor coercividade (Soft IRM), a de maior coercividade (HIRM), a Magnetização Remanente Anisterética (MRA) e a Magnetização Remanente Natural (MRN).

Correlação	Soft IRM	HIRM	MRIS	MRA	MRN
Soft IRM	1.00	0.96	1.00	0.99	0.89
HIRM	0.96	1.00	0.96	0.94	0.82
MRIS	1.00	0.96	1.00	0.99	0.89
MRA	0.99	0.94	0.99	1.00	0.91
MRN	0.89	0.82	0.89	0.91	1.00

Os resultados obtidos com uma resolução temporal de aproximadamente 46 anos, permitem que variações rápidas quanto à formação de minerais sejam compreendidas de uma forma precisa. Além disso, a semelhança entre os valores de máximos e mínimos mostra que a presença dos principais minerais magnéticos, como a magnetita e goetita, são muito comuns em solos variam da mesma maneira, possibilitando a utilização de parâmetros de magnetismo ambiental na formação de solos.

### Agradecimentos

Este projeto agradece as colaborações do Laboratório de Paleomagnetismo e Magnetismo de Rochas do IAG-USP, ao *Institute for Rock Magnetism* (IRM-UM-USA) pelo auxílio e uso dos equipamentos, ao David Heslop pelo software FORCme.

### Referências

- Bosch, R. F., White, W. B., 2004. Lithofacies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. In: Sasowsky, I., Mylroie, J. (Eds.), *Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 1-12.
- Cruz, F. W., Karmann, I., Magdaleno, G. B., Coichev, N., Viana, O., 2005. Influence of hydrological and climatic parameters on spatial-temporal variability of fluorescence intensity and DOC of karst percolation waters in the Santana Cave System, Southeastern Brazil. *Journal of Hydrology*, 302 (1-4), 1-12.
- Cruz, F. W., Vuille, M., Burns, S. J., Wang, X., Cheng, H., Werner, M., Edwards, R. L., Karmann, I., Auler, A. S., Nguyen, H., 2009. Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. *Nature Geoscience*, 2 (3), 210-214.
- Geiss, C. E., Egli, R., Zanner, C. W., 2008. Direct estimates of pedogenic magnetite as a tool to reconstruct past climates from buried soils. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 113 (B11).
- Guyodo, Y., LaPara, T. M., Anschutz, A. J., Penn, R. L., Banerjee, S. K., Geiss, C. E., Zanner, W., 2006. Rock magnetic, chemical and bacterial community analysis of a modern soil from Nebraska. *Earth and Planetary Science Letters*, 251 (1-2), 168-178.
- Heslop, D., Roberts, A. P., 2012. Estimation of significance levels and confidence intervals for first-order reversal curve distributions. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 13.
- Lascu, I., Feinberg, J. M., 2011. Speleothem magnetism. *Quaternary Science Reviews*, 30 (23-24), 3306-3320.
- Liu, Q., Roberts, A. P., Larrasoana J. C., Banerjee S. K., Guyodo Y., Tauxe L., Oldfield F., 2012. Environmental Magnetism: Principles and Applications. *Reviews of Geophysics*, 50.
- Perkins, A. M., 1996. Observations under electron microscopy of magnetic minerals extracted from speleothems. *Earth and Planetary Science Letters* 139, 281-289.
- Strauss, B. E., Strehlau, J. H., Lascu, I., Dorale, J. A., Penn, R. L., Feinberg, J. M., 2013. The origin of magnetic remanence in stalagmites: Observations from electron microscopy and rock magnetism. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 14 (12), 5006-5025.