



## ANAIS do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Eldorado SP, 15-19 de julho de 2015 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br/33cbeanais.asp](http://www.cavernas.org.br/33cbeanais.asp)

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

SILVA, I.C.R.; SANTOS JUNIOR, A.E.A.. Petrografia e caracterização de espeleotemas em formações ferríferas bandadas, cavidade N4E-29, Serra Norte de Carajás-PA. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. *Anais...* Campinas: SBE, 2015. p.593-601. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe\\_593-601.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_593-601.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)

## PETROGRAFIA E CARACTERIZAÇÃO DE ESPELEOTEMAS EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS, CAVIDADE N4E-29, SERRA NORTE DE CARAJÁS-PA

PETROGRAPHY AND CHARACTERIZATION OF SPELEOTHEMS THROUGH BANDED IRON  
FORMATION, N4E-29 CAVE, SERRA NORTE FROM CARAJÁS-PA

Isaque Conceição Rodrigues da SILVA (1); Antônio Emídio de Araújo SANTOS JÚNIOR (2)

(1) Geólogo, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá PA.

(2) Geólogo, Professor Dr. adjunto da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá PA.

Contatos: [isaquerodrigues-@hotmail.com](mailto:isaquerodrigues-@hotmail.com); [emidiosantos@unifesspa.edu.br](mailto:emidiosantos@unifesspa.edu.br).

### Resumo

Na Serra dos Carajás, cavidades registram precipitação química secundária denominadas genericamente de espeleotemas que desenvolveram-se ao longo dos jaspilitos da Formação Carajás e Canga Laterítica. A cavidade N4E-29 registra coraloides de Goethita do tipo acicular e radial bem como crostas branca e amarela. Os coraloides representam uma precipitação química através de um gel de hidróxido de ferro e as crostas possivelmente representam uma ação biológica devido a micro-organismos.

**Palavras-Chave:** Coraloides. Crostas. Goethita.

### Abstract

*In Serra dos Carajás, caves record secondary chemical precipitation generically known as speleothems that have developed over jaspilites from Carajás formation and lateritic cover up. The N4E-29 cavity records coralloids of Goethite, acicular and radial type as well as white and yellow crusts. Coralloids represent a chemical precipitation through an iron hydroxide gel and possibly crusts represent a biological action due to microorganisms.*

**Key-words:** Coralloids. Crusts. Goethite.

## 1. INTRODUÇÃO

A caracterização detalhada de espeleotemas dentro do contexto de formações ferríferas até então, mostra-se muito escassa. Um dos primeiros autores a discorrer sobre o tema foi Maurity (1995) e que foi aprimorado por Auler et. al. (2011), que relatam sobre a forma, composição, disposição e interação de espeleotemas que ocorrem em cavidades de Serra Norte, nas quais, reações físico-químicas pela percolação de água através de falhas, fraturas e espaços permeáveis, propiciam sucessivos eventos de dissolução e precipitação de novas formas minerais denominadas de espeleotemas.

Os espeleotemas da cavidade N4E-29 são constituídos por Coraloides Acicular e Radial puros e Crostas Branca e Amarela. O termo Coraloide é utilizado para designar variedades de espeleotemas de morfologia nodular, globular, botrioidal, acicular ou similares a corais. (HILL & FORTI, 1997) (AULER et. al., 2011). A presença de microrganismos (bactérias, líquens e musgos) foto-dependentes compõem os espeleotemas tipo Crostas (PILO & AULER, 2005) (AULER et al., 2011).

Porém, não há registros literários detalhados abordando espeleotemas tipo Coraloides puros e Crostas em sistemas ferríferos até o momento.

O objetivo deste trabalho é contribuir na caracterização de espeleotemas tipo Coraloide, Crostas Branca e Amarela desenvolvidos na cavidade natural N4E-29, ao longo das FFB, em Serra Norte, na região de Carajás. Especificamente visa caracterizar macro - microscopicamente os espeleotemas e analisar texturas a fim de observar os hábitos e grau de cristalinidade dos espeleotemas.

### 1.1 Localização e acesso

A área de trabalho encontra-se no sudeste do Estado do Pará, no município de Parauapebas. O acesso a área ocorre a partir da cidade de Marabá através da BR155 até o município de Eldorado dos Carajás, e a partir daí seguindo pela PA-275, até o município de Parauapebas, que dista aproximadamente 165Km. Em seguida, são percorridos cerca de 30 km através da Rodovia Raimundo Mascarenhas até a cavidade natural N4E-

029, que localiza-se na parte norte da mina de N4E, no Complexo Minerador de Carajás.

## 1.2 Geologia regional

A área estudada encontra-se no contexto da Plataforma Sul-Americana, no Cráton Amazônico, mais precisamente no Domínio Carajás na Bacia Carajás (Figura 1). A estratigrafia correlacionada à Bacia Carajás é baseada em Macambira (2003), no qual mostra a estratigrafia da Serra Norte.

O Grupo Igarapé Salobo foi redefinido por DOCEGEO (1988) a partir da Sequência Salobo Pojuca. Ela engloba rochas vulcano-sedimentares ocorrentes na porção NW da mina de ferro Carajás. O grupo Pojuca é correlativo ao grupo Salobo, sendo ambos mais antigos que o Grupo Grão Pará (DOCEGEO, 1988, MACAMBIRA et. al, 1990, PINHEIRO & HOLDWORTH 2000).

O Grupo Grão Pará constituído principalmente por uma espessa sequência de rochas vulcânicas, nas quais são geralmente distinguidos dois estratos, superior e inferior (Formação Parauapebas), com idade de 2759 Ma, determinada em vulcânicas félsicas e jaspilitos com minério de ferro associado (Formação Carajás). Essa unidade preenche a maior parte da Bacia de Carajás (CVRD, 1972).

A Formação Parauapebas corresponde às rochas vulcânicas máficas que ocorrem na base da Formação Carajás, representando derrames basálticos, além de rochas vulcânicas félsicas subordinadas e intrusões máficas. Ocorrem também associados aos derrames basálticos, níveis pouco espessos de rochas piroclásticas básicas a intermediárias, além de derrames e tufo félsicos. As idades U-Pb em zircão obtidas para esta formação são concordantes entre si, entre  $2757 \pm 7$  Ma e  $2760 \pm 11$  Ma (WIRTH et. al, 1986; MACHADO et. al, 1991; TRENDALL et. al, 1998), obtidas em metarriolitos que ocorrem intercalados aos metabasaltos.

A Formação Carajás ocupa a porção intermediária do Grupo Grão Pará. A mesma encontra-se mais bem estudada em Serra Norte e é constituída por jaspilitos com bandamento definido pela alternância de micro e mesobandas de óxidos de ferro (hematita, magnetita e maghemita), jaspe (chert impregnado por hematita fina) e/ou chert branco, com carbonatos subordinados, além do minério de ferro associado. Sua espessura é estimada em torno de 200 a 300 m, o contato com as unidades subjacentes é concordante. A idade de

deposição da Formação Carajás é inferida a partir da datação de rochas metavulcânicas concordantes ao acamamento dos jaspilitos, com intervalos entre  $2740 \pm 8$  e  $2757 \pm 18$  Ma (TRENDALL et al. 1998, MACAMBIRA et al. 1996, KRYMSKY et al. 2002).

A Formação Igarapé Cigarra (MACAMBIRA et al, 1990), é constituída por camadas de FFB recobertas por rochas vulcânicas máficas com intercalações de tufo, em seguida sedimentos clásticos e químicos. Está em contato concordante com a Formação Carajás com 1 a 3 km de espessura.

A Formação Igarapé Boa sorte, segundo Macambira et al. (1990), é a unidade superior do Grupo Grão Pará, a mesma é constituída por siltitos intercalados com folhelhos, ambos carbonosos e carbonáticos, com níveis arenosos em direção a base. Esses litotipos englobam o proto-minério da jazida de manganês do Azul.

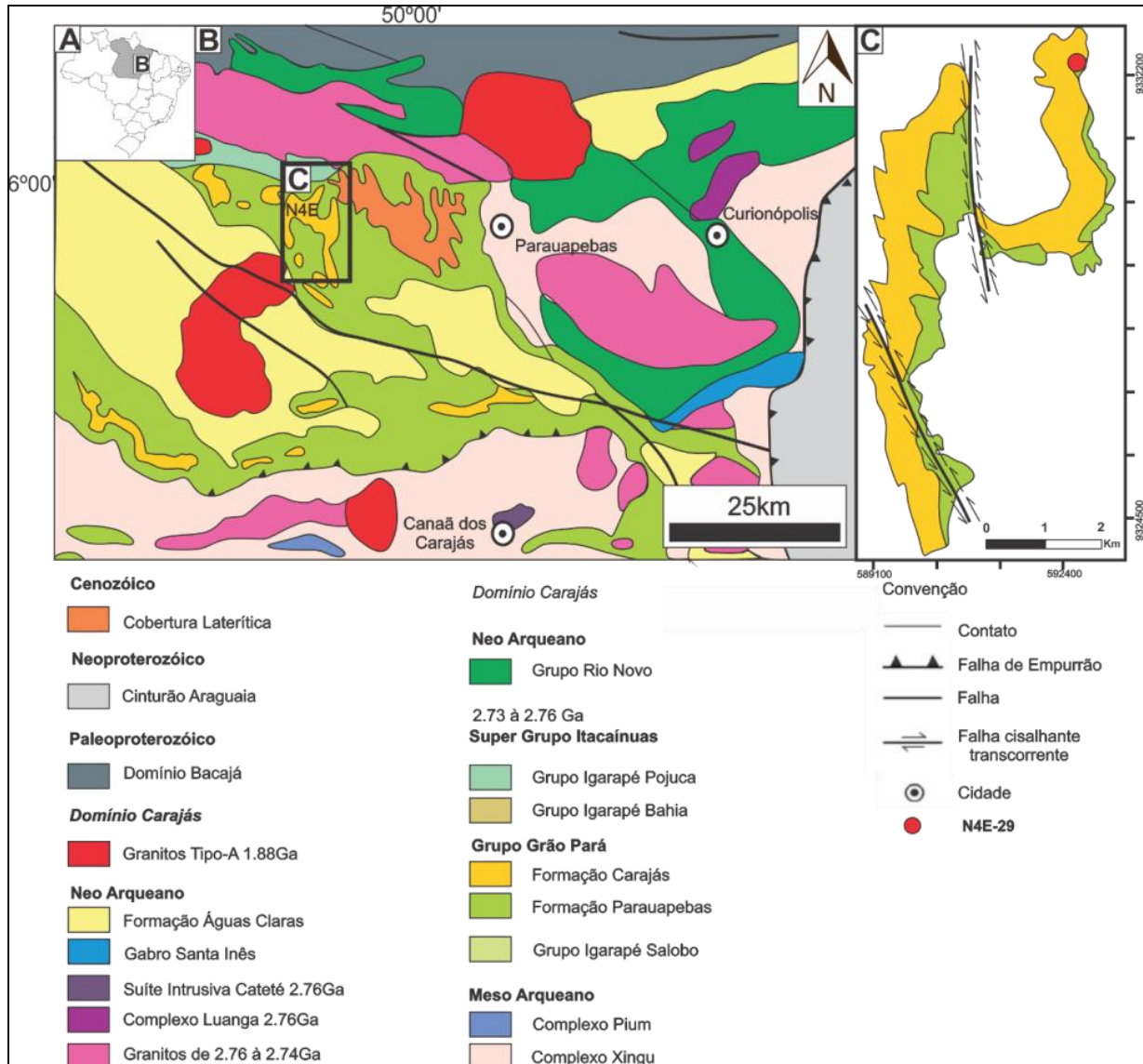
A Formação Igarapé Azul (MACAMBIRA et al., 1990), repousa discordantemente sobre o Grupo Grão Pará, é constituída por arenitos fluviais em que os principais litotipos são quartzo-arenito, quartzo-wackes, conglomerados e raros siltitos.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho consistiu na caracterização de sete amostras da cavidade N4E-29. As amostras foram coletadas em 08.06.2011 pela empresa VALE S.A e são parte integrante dos estudos que estão sendo realizados dentro do Convênio Vale-UNIFESSPA (Levantamento Geoespeleológico de Cavidades Naturais Da Unidade Espeleológica De Carajás, Província Mineral de Carajás PA-PROCAV). As mesmas foram estudadas baseadas em levantamento bibliográfico e análise laboratorial.

A primeira fase deste trabalho consistiu em pesquisas bibliográficas: livros (HILL & FORTI, 1997), artigos científicos (PILO & AULER, 2009), relatórios internos (AULER et. al, 2001;2011), trabalhos de conclusão de curso (TCC (ABREU, 2014; GOMES, 2014), dissertação de mestrado (TORTELLI, 2009) e tese de doutorado (FEIO, 2011) abrangendo desde a Geologia Regional passando pela gênese de cavidades até a geração de espeleotemas em sistemas ferríferos.

As amostras da cavidade N4E-29 foram encaminhadas para análise laboratorial em: Análise Macroscópica, Análise Microscópica e Difractometria de Raios-X (DRX).



**Figura 1.** A: Mapa do Brasil. B: Mapa Geológico do Domínio Carajás (Modificado de Vasquez et al., 2008). C: Mapa Geológico do Platô N4 e a localização da caverna N4E-29.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Petrografia

A Caverna N4E-029 Compreende um pequeno salão, de piso inclinado para fora, com apêndice à esquerda, teto constituído por Canga Laterítica e parede de Jaspilito, contendo pigmentos branco e amarelo em todas as partes além de espeleotemas tipo Coraloide. Apresenta 6m de projeção horizontal, área de 9m<sup>2</sup> e volume de 7,2m<sup>3</sup>.

Ausência de água de percolação ou condensação e com incipiente gotejamento na linha d'água. (AULER et. al., 2011). As sete amostras coletadas: AM-A1, AM-A2, AM-A3, AM-B, -AM-C, AM-D e AM-E, estão localizadas ao longo da cavidade (Figura 2). Os espeleotemas encontrados na cavidade N4E-029 foram diferenciados em Coraloides e Crostas Branca/Amarela (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

**Tabela 1.** Petrografia simplificada de espeleotemas da Caverna N4E-29 demonstrando substrato e suas respectivas denominações.

ESPELEOTEMAS		SUBSTRATO	AMOSTRAS
<i>Coraloides</i>	Acicular	_____	AM-1/AM-3
	Radial	_____	AM-2
<i>Crosta Branca / Crosta Amarela</i>		BIF	AM-B/ AM-C/AM-D/AM-E/ AM-B

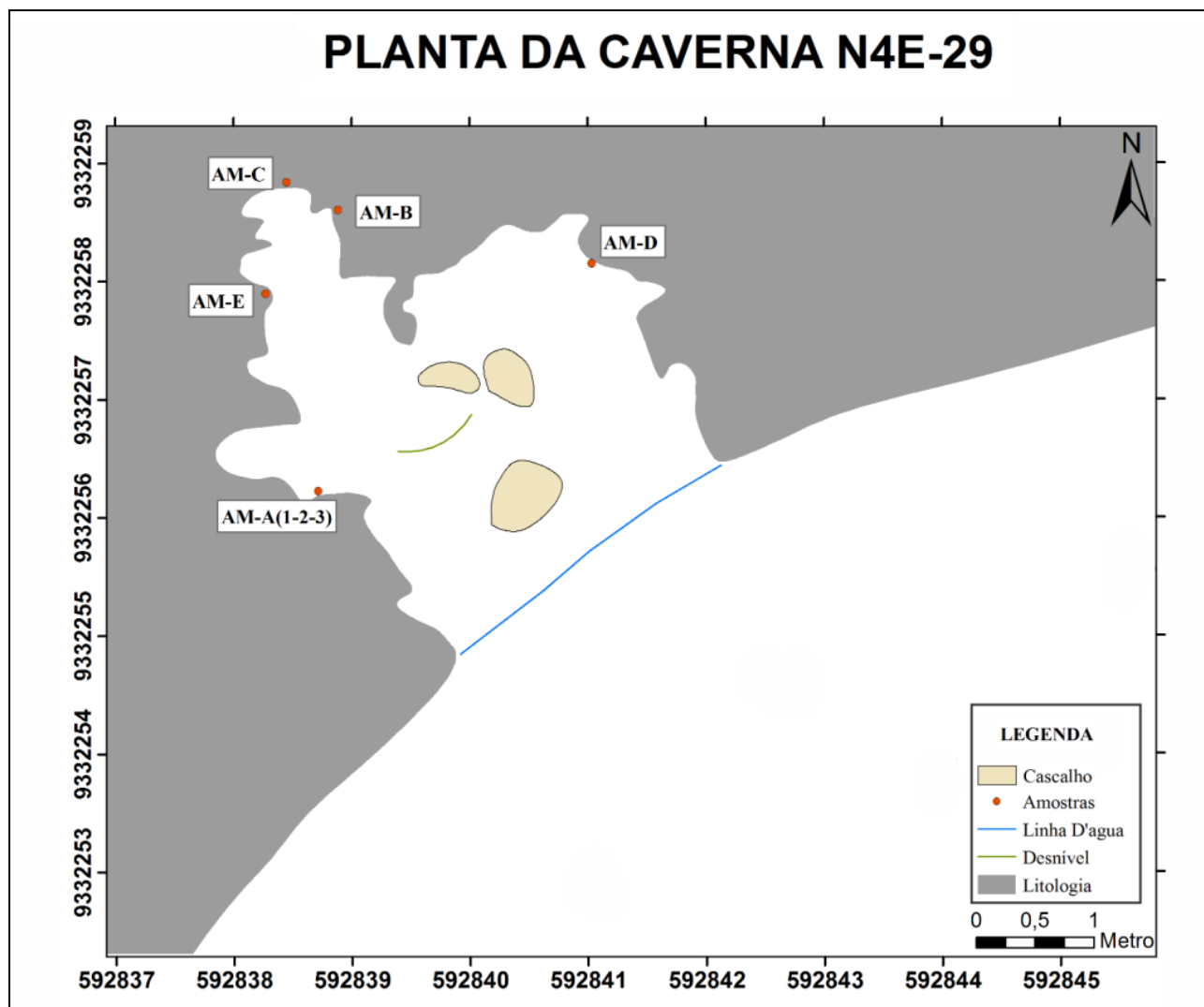


Figura 2. Planta baixa da Cavidade demonstrando também a localização de suas respectivas amostras.

### 3.2 Coraloídes

Os Coraloídes estudados foram divididos em tipo: Acicular e Radial, ambos caracterizados por duas porções: base e espeleotema com contato abrupto e retilíneo entre eles.

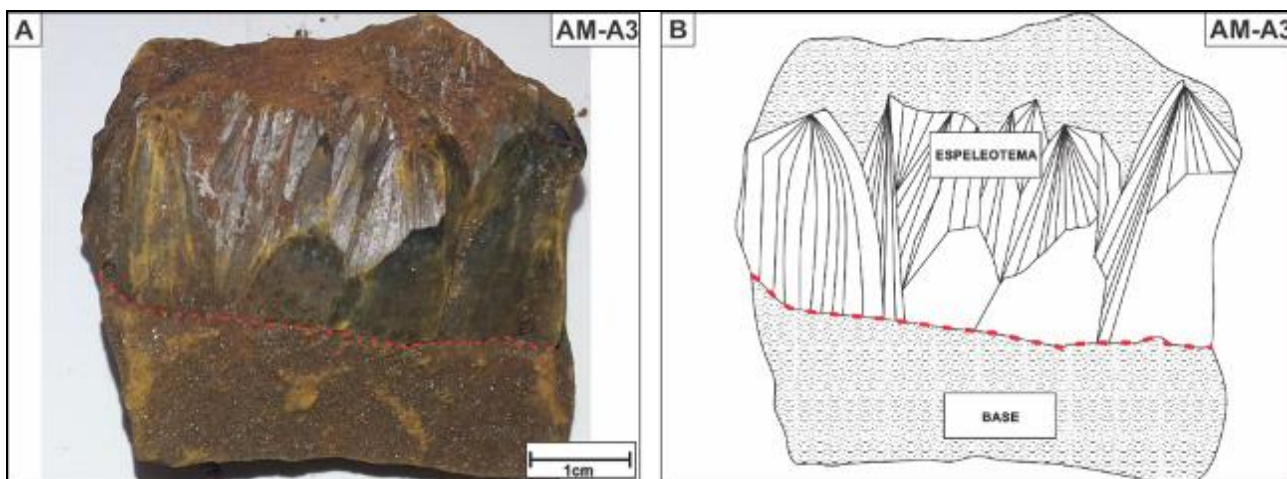
O Coraloide Acicular é caracterizado na base por um arenito acinzentado fino, maciço com boa seleção, bom arredondamento e brilho metálico. Sobre a base ocorre o espeleotema marrom acinzentado de brilho metálico, hábito acicular alongado com espessura de aproximadamente 3cm (Figura 3). Não foi observado a presença de crostas branca e amarela sobre os coraloídes.

Microscopicamente o Coraloide Acicular é caracterizado na base por Arenito composto de grãos de quartzo de aproximadamente 2 mm os quais são cimentados por Goethita compondo 25% da amostra. A porção Espeleotema é constituída exclusivamente de Goethita perfazendo 75% da

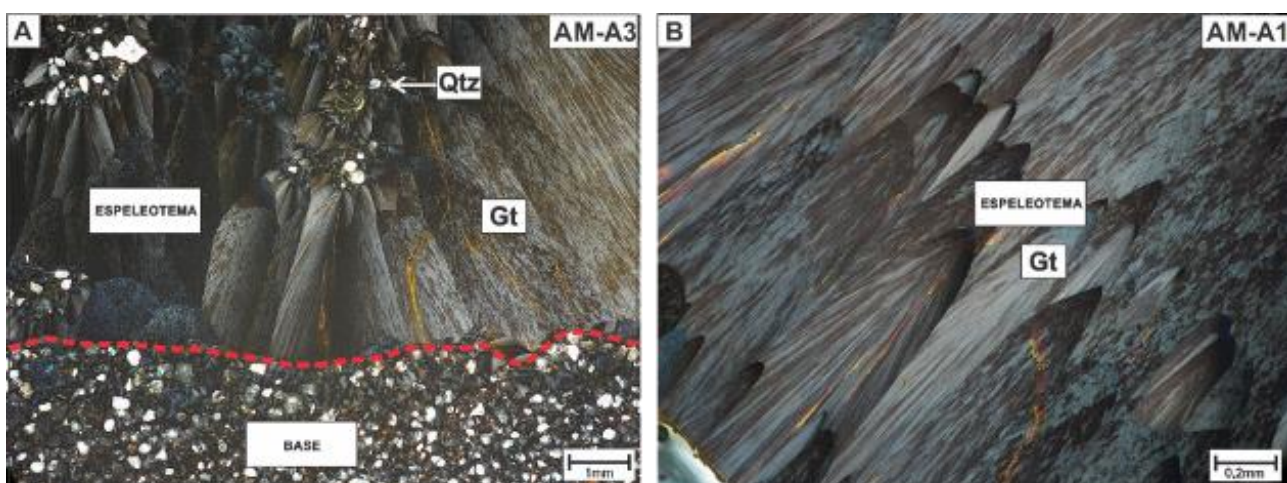
amostra. Sob luz refletida natural, a Goethita apresenta coloração esbranquiçada, sem textura definida, por vezes com algumas ranhuras. Sob nicóis cruzados a mesma apresenta coloração marrom acinzentada ressaltando a textura acicular que estende-se para arranjos em cones (Figura 4).

Os dados de DRX demonstraram que no Coraloide Acicular ocorre a presença de Quartzo em menor proporção e Goethita dominante (Figura 5).

O Coraloide tipo Radial apresenta a mesma divisão de base e espeleotema, entretanto, este padrão, além de hábito acicular, é caracterizado por várias espículas intercrescidas de hábito radial levemente inclinadas, com dimensões de até 1,5cm de comprimento e 0,8cm de diâmetro. (Figura 6). Não foi observado a presença de crostas branca e amarela sobre os coraloídes.



**Figura 3.** Feições macroscópicas do Coraloide Acicular: A- Arenito na base. Espeleotema no topo com estrutura acicular delimitados por contato abrupto e retilíneo (em destaque). B- Croqui demonstrando a porção base e porção espeleotema delimitadas por contato abrupto em destaque.



**Figura 4.** Feições microscópicas do Coraloide Acicular. A- Luz refletida nicóis cruzados o cimento mostra coloração marrom acinzentado, bem como, textura acicular que grada para a forma de cones. No topo destes cones ocorre a presença de micro cavidades que por vezes estão preenchidas por grãos de quartzo. B-Luz refletida nicóis cruzados demonstrando textura acicular para o espeleotema.

Em análise microscópica do Coraloide Radial, observa-se na porção Arenito maciço grãos de quartzo que abrangem 20% cimentados por Goethita que perfaz aproximadamente 80% da amostra. Sob luz refletida natural, o cimento apresenta coloração esbranquiçada, sem textura definida, cimentando grãos de aproximadamente 3mm. Sob nicóis cruzados o cimento apresenta coloração marrom acinzentada de textura acicular.

No espeleotema sob luz refletida natural observa-se massa esbranquiçada, por vezes com algumas ranhuras. Sob luz refletida e nicóis cruzados observa-se textura acicular com “agulhas”, paralelas entre si, que por vezes, demonstram

angularidade entre as “agulhas” formando facetas aciculares que estendem-se para arranjos em cones (Figura 7A,B).

Os dados de DRX demonstraram a presença de Goethita dominante para o Coraloide Radial (Figura 8).

### 3.3 Crostas branca/ amarela

Crostas Branca e Amarela mostram-se na maioria das amostras, sendo a Crosta Branca predominante em relação a amarela. Espeleotemas deste tipo ocorrem capeando a superfície das FFB e em microcavidades nas amostras (Figura 9).

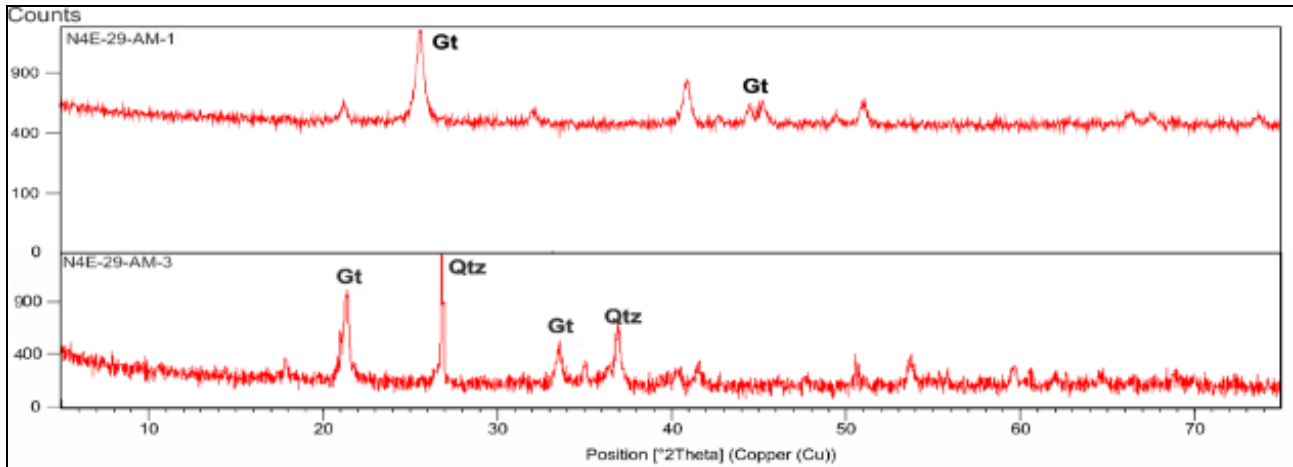


Figura 5. Difratogramas para o Coraloide Acicular de Coraloídes demonstrando a abundância semi quantitativa de Goethita e em menor proporção o Quartzo.

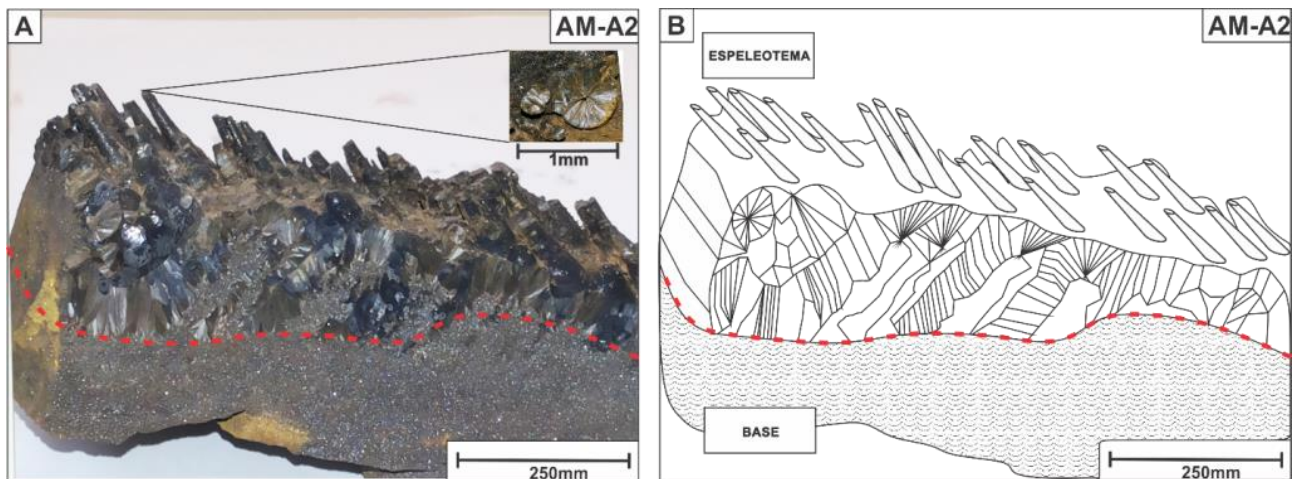


Figura 6. Feições macroscópicas do Coraloide Radial: A- Arenito na base e Espeleotema com hábito acicular na porção intermediária e espículas com hábito radial no topo ocorrendo de forma gradacional. Detalhe de espículas no canto superior direito. B- Croqui demonstrando a porção base e porção espeleotema delimitadas por contato abrupto em destaque.

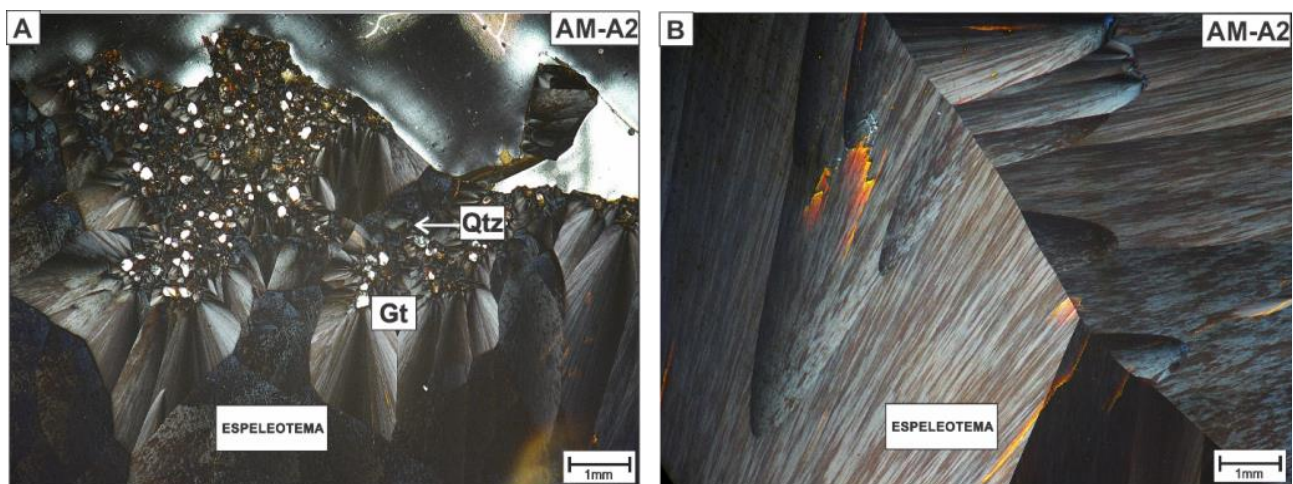


Figura 7. Feições microscópicas do Coraloide Radial. A-Luz refletida nicóis cruzados. Porção espeleotema demonstrando que na finalização da textura acicular aparece a geometria de cone bem como as micro cavidades em seus topos por vezes preenchidas por Quartzo B- Luz refletida, nicóis cruzados. Porção espeleotema com textura acicular que demonstra angularidade formando facetas aciculares bem desenvolvidas.

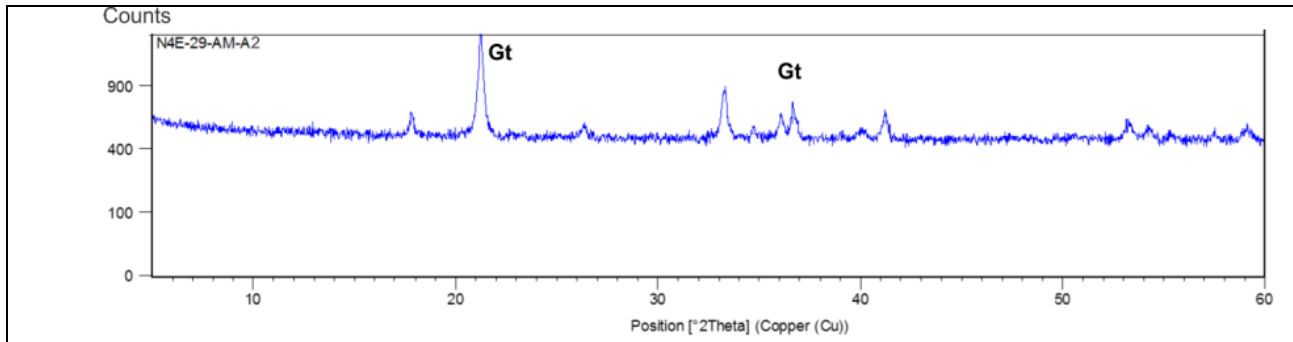


Figura 8. Difratoograma para o Coraloide Radial demonstrando a abundância semi quantitativa de Goethita.

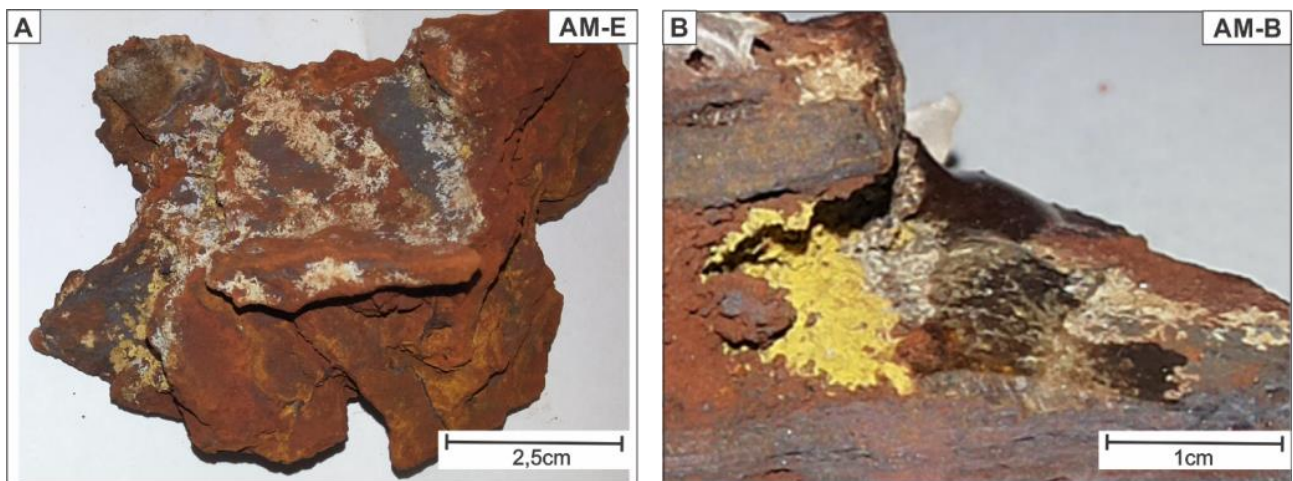


Figura 9. Feições Macroscópicas de Crostas Branca e Amarela recobrendo Formações Ferríferas Bandadas. A-BIF recoberta por Crosta Branca e Amarela na mesma proporção B- Detalhe de micro cavidade com presença das Crostas.

### 3.4 Discussões

De modo geral os espeleotemas estão relacionados à precipitação química que revestem paredes e tetos de uma cavidade natural. Através do efeito do intemperismo, o ferro é mobilizado e transportado por águas percolantes e em seguida redepositado no interior da caverna, formando depósitos de gel férrico também denominados de espeleotemas (MAURITY, 2005).

Dentro do contexto de cavidades em Formação Ferrífera na Serra dos Carajás, observaram-se espeleotemas em praticamente todas as cavernas mapeadas. Estes espeleotemas compreendem em geral feições de pequeno porte e com mineralogia representada essencialmente por óxidos/hidróxidos de ferro, sulfatos, fosfatos e silicatos, onde sua variedade tipológica é comumente representada por: Coraloide, Crosta de óxido-hidróxido, Crosta branca, Crosta cinza-verdeada, Escorrimento, Microtravertino, Pingente Estalactite, Estalagmite, Coluna, Cortina, "Bateia" e Depósito Gelatinoso (AULER et. al., 2011). Dentre os citados foram observados na cavidade estudada os seguintes espeleotemas: Coraloide, Crosta Branca e Crosta Amarela.

Coraloide é um termo geral para designar variedades de espeleotemas de morfologia nodular, globular, botrioidal, aciculares ou similares a corais. (HILL & FORTI, 1997). (AULER et. al, 2011).

Para o melhor entendimento da geração dos Coraloídes de Goethita gerados ao longo da cavidade estudada N4E-029, é necessário entender o processo de precipitação deste mineral. Perry (1927) foi um dos primeiros a utilizar o termo gel de hidróxido férrico relacionado a precipitação da goethita. Entende-se que gênese destes coraloídes pode estar relacionada a exsudação de um gel composto de água supersaturada em hidróxido de ferro que permeou através de uma camada de areia quartzosa envolvendo os grãos, gerando o Arenito Maciço cimentado por Goethita. O gel por não possuir espaço para desenvolver-se totalmente, conferiu ao cimento do Arenito a textura acicular. A ausência de qualquer tipo de contato de grãos corrobora a ideia de que os mesmos foram envolvidos por um gel fluído. Ao sair da zona dos grãos de quartzo o gel exibe o hábito acicular da goethita. Se o processo finalizar neste ponto ocorre o Coraloide Acicular. Se o processo de precipitação continuar, sobreposto ao hábito acicular ocorre também o hábito radial da goethita na forma de



várias espículas, caracterizando o Coraloide Radial. A gravidade também possui influência na evolução do espeleotema podendo gerar espículas retas ou inclinadas. Este contraste ocorre devido a posição da precipitação no interior da cavidade. Logo, uma precipitação advinda do teto tende a formar espículas retas, já uma precipitação advinda da parede da cavidade tende a gerar espículas inclinadas. A análise microscópica mostra a presença de grãos de quartzo na finalização das estruturas denominadas como acicular com arranjos em “cone,” indicando que o gel ao sair da zona do arenito mobilizou alguns grãos para as porções mais distais do espeleotema.

Auler et al, 2011 tem descrito crostas que ocorrem sobre espeleotemas e FFB em Carajás como ação de micro-organismos foto-dependentes ocorrendo em diversas colorações, sendo esta vertente adotada no presente trabalho no qual as colorações branca e amarela representam as mais comuns até o momento ocorrendo geralmente associadas aos Coraloídes. Todavia, os coraloídes da caverna N4E-29, não apresentam material microbiológico ocorrendo apenas em FFB. Logo, admite-se que os espeleotemas tipo crostas Branca e Amarela da cavidade N4E-29 surgiram devido a presença de incidência de luz sobre o litotipo interno da cavidade. As porções afetadas pela luz ofereceram subsídio para o surgimento das crostas que se posicionaram sobre as Formações Ferríferas Bandadas. Os coraloídes da cavidade, não

apresentam crosta de microrganismos provavelmente devido a pequeno apêndice do lado esquerdo similar a um pequeno salão protegido de incidência de luz. Além disso, vale ressaltar que a goethita acicular e radial apresentam características puras, ou seja, sem contaminação de outro mineral ou presença de crostas.

#### 4 CONCLUSÕES

A cavidade N4E-29 compreende espeleotemas do tipo Coraloídes do tipo agulha puros e Crostas Branca e Amarela. Os coraloídes são constituídos por um precipitado de goethita de boa cristalinidade podendo assumir os hábitos aciculares e radiais. Os espeleotemas tipo crostas compreendem microrganismos que capeiam os demais espeleotemas bem como o litotipo da cavidade. Estudos mais detalhados são necessários para uma melhor compreensão da gênese e evolução destes espeleotemas.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ao meu Orientador Antônio Emídio pelo auxílio em todos os momentos. À gestora Daniele Gonçalves pelo apoio junto ao projeto PROCAV. À Vale S.A. por todo suporte. À UNIFESSPA / UFPA por todo o subsídio de laboratórios e a todos os colaboradores envolvidos no projeto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. S. **Petrografia de formações ferríferas associadas às cavernas da serra norte, na unidade espeleológica de Carajás –PA.** Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA. 2014
- AULER, A.; RUBBIOLI, E. L.; BRANDI, R. **As Grandes Cavernas do Brasil.** Belo Horizonte: Rona Editora, v. 1, 230 p., 2001.
- AULER A. S. et. al. 2011. **Espeleologia N4/N5/Pese/Pesl: Diagnóstico Geoespeleológico, Biológico e Análise de Relevância.** Belo Horizonte, CARSTE-VALE, p. 47-119.
- CVRD/CMM. **Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26., 1972, Belém. Resumos das Comunicações... Belém: SBG Núcleo Norte, 1972. v. 2, p. 78-80.
- DOCEGEO. 1988. Revisão lito-estratigráfica da Provincial Mineral de Carajás. Congresso Brasileiro de geologia, 35. **Anais.** Belém, SBG: 10-54. Anexo.
- FEIO, G.R.L., 2011. **Magmatismo Granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás.** Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Brasil. 205p.

- GOMES, M.G. **Aspectos morfológicos e mineralógicos de feições em cavidade hospedadas em formações ferríferas bandadas/lateríticas da região de Carajás-PA.** Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA. 2014.
- HILL, C.; FORTI, P. **Cave Minerals of the World.** Second Edition. National Speleological Society Inc. Huntsville, Alabama 35810, U.S.A. 1997
- KRYMSKY, R.S.; MACAMBIRA, J.B.; MACAMBIRA, M.J.B. **Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará.** In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2. 2002. Belém. Resumos... Belém: PRONEX/SBG, 2002. p. 41.
- MACAMBIRA, J.B., RAMOS, J.F.F., ASSIS, J.F.P. & FIGUEIRAS, A.J.M. - 1990 - **Projetos Serra Norte e Pojuca, Relatório final.** Convênio DNPM/DOCEGEO/UFGA, Belém.
- MACAMBIRA, M.J.B., LANCELOT, J. 1996. **Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil.** International Geology Review 38, 1134-1142.
- MACHADO, N., LINDENMAYER, Z.G., KROGH, T.E., LINDENMAYER, D. 1991. **U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil.** Precambrian Research 49, 329-354.
- MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. 1995. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA.** Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciência da Terra 7: 331-362.
- PERRY, J. H. **The adsorption of vapors by ferric hydroxide gel.** Industrial and Engineering Chemistry (1927), 19, 746-8 CODEN: IECHAD; ISSN: 0019-7866.
- PILÓ, L.B.; AULER, A.S. **Cavernas em minério de ferro e Canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG.** O carste v.17, n.3, 228p. Belo Horizonte, 2005.
- PINHEIRO, R.V.L; HOLDSWORTH, R.E. Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 597-606, 2000.
- TORTELLI, D.M. **Modelagem e Renderização da Gênese e Crescimento de Espeleotemas em Tempo-Real.** Universidade Federal de Pernambuco Centro de Informática. Dissertação de Mestrado. 2009.
- TRENDALL, A.F. ET AL. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, n. 3, p. 265-277, 1998.
- WIRTH, K.R., GIBBS, A.K., OLSZEWSKI JR., W.J. U-Pb zircon ages of the Grão Pará group and Serra dos Carajás granite, Para, Brazil. **Revista Brasileira Geociências** 16(2), 195-200. 1986.