



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

ALAN RODRIGO LEAL DE ALBUQUERQUE

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADES
NATURAIS, N4E-08 E N4WS-72, EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA REGIÃO DE
CARAJÁS – UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRA NORTE**

Marabá
2015

ALAN RODRIGO LEAL DE ALBUQUERQUE

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADES
NATURAIS, N4E-08 E N4WS-72, EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA REGIÃO DE
CARAJÁS – UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRA NORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia da Universidade Federal
do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA, em
cumprimento as exigências para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Emídio Araújo dos
Santos Júnior.

Co-orientadora: Msc. Daniele Freitas Gonçalves.

Marabá
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Albuquerque, Alan Rodrigo Leal de

Petrografia e geoquímica de espeleotemas em cavidades naturais, N4E-08 e N4WS-72, em formações ferríferas da região de Carajás – Unidade Geomorfológica Serra Norte / Alan Rodrigo Leal de Albuquerque; orientador, Antônio Emídio Araújo dos Santos Júnior. — 2015.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Geologia, Marabá, 2015.

1. Geoquímica - Carajás, Serra dos (PA). 2. Petrologia. 3. Espeleologia. 4. Rochas sedimentares. 5. Geomorfologia. I. Santos Júnior, Antônio Emídio Araújo dos, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 551.9098115

ALAN RODRIGO LEAL DE ALBUQUERQUE

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE ESPELEOTEMAS EM CAVIDADES
NATURAIS, N4E-08 E N4WS-72, EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA REGIÃO DE
CARAJÁS – UNIDADE GEOMORFOLÓGICA SERRA NORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geologia da Universidade Federal
do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA, em
cumprimento as exigências para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

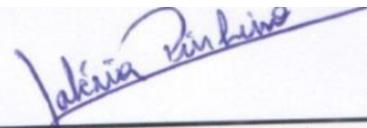
Data da aprovação: 24/02/2015

Conceito: EXCELENTE

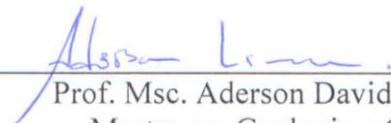
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Antônio Emídio de A. Santos Júnior
Doutor em Sedimentologia e estratigrafia
Universidade Federal do Pará



Prof.ª Dr.ª Ana Valéria dos Reis Pinheiro
Doutora em Hidrogeologia
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará



Prof. Msc. Aderson David Pires de Lima
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

À minha mãe, Eva,
À minhas irmãs, Louise, Larissa e Juliana,
À minha sobrinha, pequena Clarinha,
Dedico a vocês tudo o que eu alcancei.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Graduação em Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará pela oportunidade de obter o título de Bacharel em Geologia.

À VALE SA em convênio com FADESP (Fundação de Amparo e Desenvolvimento de Pesquisa) pelo financiamento do projeto “Levantamento geoespeleológico de cavidades naturais da Unidade Espeleológica de Carajás, Província Mineral de Carajás – PA”.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Emídio Araújo dos Santos Júnior pelo auxílio, sugestões e palavras de incentivo, bem como pela sua dedicação enquanto Diretor da Faculdade de Geologia.

À minha co-orientadora, Msc Daniele Freitas Gonçalves por sua dedicação, correções, discussões, incentivo, pelos materiais que a mim foram concedidos e pelo exemplo de ética e dignidade. Além de uma ótima orientadora, também se mostrou uma grande amiga.

Às Professoras Ana Valéria Pinheiro e Gilmar Lima Feio pela participação em meu crescimento profissional e pessoal.

Aos demais professores da FAGEO-Marabá por compartilhar seus conhecimentos com muita dedicação.

À minha mãe, Eva Araujo Leal, às minhas irmãs Louise Renata Leal Pontes, Larissa Leal Pontes e Juliana Leal Pontes, e à minha sobrinha, Clara Luísa Pontes Ferreira, as quais agradeço pelo que hoje sou, por serem minhas principais motivadoras, pelas suas fervorosas orações que me transmitem todo o seu amor e carinho, e pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

À minha prima Gisele Leal e ao seu esposo Valdenildo Ferreira por terem me recebido em Marabá e pelo incentivo.

Aos meus amigos Estevão Barbosa e Guilherme Sena, pela amizade, conselhos e por compartilhar aprendizados.

Às minhas amigas e confidentes, Daniella Leite, Fabrícia Silva, Katiane Santos e Wilma Sousa, por todos os bons momentos que passamos juntos, pelo companheirismo e pelas divertidas conversas.

Às minhas amigas, Ana Karita, Ana Nilza e Agda Dayane, as quais tive ao final do curso a oportunidade de morar junto.

À meu amigo, Isaque Rodrigues pela sua amizade e pelas conversas.

Aos meus amigos e colegas de turma pelos momentos de alegria, descontração, e acima de tudo companheirismo, que fizeram desses 5 anos dias menos dolorosos e mais engraçados.

E todos àqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho.

RESUMO

A região de Carajás, situada na porção sudeste do estado do Pará, comporta uma das maiores unidades espeleológicas do Brasil, onde ocorre uma grande quantidade de cavidades formadas em minério de ferro. A região está inserida no Planalto Dissecado do Sul do Pará e é caracterizada como maciço residual na forma de platôs (Serras Norte, Leste, Bocaina, Tarzan e Sul). As serras são sustentadas por uma espessa cobertura laterítica comumente denominada de canga, formada sobre as rochas vulcânicas e Formações Ferríferas Bandadas (FFB) do Grupo Grão Pará e rochas sedimentares da Formação Águas Claras. A cobertura laterítica mostra comumente feições cársticas (cavidades naturais), que ocorrem normalmente na interface jaspilito/canga, sugerindo assim, origem por intemperismo/degradação destes litotipos. Este trabalho consiste de estudos petrográficos e geoquímicos em amostras de jaspilito, canga e espeleotemas de duas cavidades da Unidade Geomorfológica Serra Norte de Carajás, N4E-08 e N4WS-72, visando à caracterização e definição da gênese dos espeleotemas destas cavidades. O jaspilito espeleotema-coralóide é constituído por sílica amorfa, minerais de goethita, hematita e alunita, e fragmentos de jaspilito, os quais foram gerados pela degradação da própria formação ferrífera, por meio da ação química de soluções fluidas nos planos de bandamento da rocha, falhas e fraturas. A canga espeleotema-coloforme-crosta branca é constituída por cristais de leucofosfita de origem coprogênica, com o guano de morcego, como a principal fonte de fósforo.

Palavras-chave: Formação Ferrífera. Cavidades. Espeleotema. Carajás.

ABSTRACT

The Carajás region is located in southeast of the Pará State, Brazil. It has one of largest Brazilian speleological units, where several cavities were formed in iron ore. In this region landforms are partly characterized by residual plateaus of the south of Pará State, locally named Carajás Mountains, which is divided in North, East, Bocaina, Tarzan, and South Mountains. The plateaus of the Carajás are covered by a thick lateritic iron crust, which is generated of volcanic rocks and banded iron formations (BIF) of Grão Pará Group, and the sedimentary rocks of Águas Claras Formation. The lateritic cover usually shows karst features (caves), which typically occur at the interface jaspilite/lateritic iron crust, what suggesting origin by weathering and degradation of these rock types. This work made a petrographic and geochemical study on samples of jaspilite, lateritic iron crust and speleothems of two caves of the North Mountains, N4E-08 and N4WS-72, aiming to characterize and define the genesis of speleothems in these natural cavities. The speleothem jaspilite speleothem-coraloide consists of amorphous silica, goethite, hematite, and alunite minerals, as well as fragments of jaspilite, which were generated by the degradation along iron formations, through the action of chemical solutions flowing in the banding planes of the rocks, faults, and fractures. The speleothem lateritic iron crust speleothem-coloforme-white crust consists of leucophosphate crystals of coprogenic origin, with the bat guano as the main source of phosphorus.

Key-words: Iron formation. Caves. Speleothems. Carajás region.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Mapa de localização e acesso da Unidade Geomorfológica Serra Norte, no qual estão inseridas as cavidades naturais N4E-08 e N4WS-72. | 13 |
| Figura 2: Mapa simplificado com a localização da Província Mineral de Carajás. | 18 |
| Figura 3: Propostas estratigráficas para a Província Mineral de Carajás. | 19 |
| Figura 4: Aspectos geológicos da cavidade natural N4E-08. | 23 |
| Figura 5: Imagem macroscópica e composição mineralógica do jaspilito e do espeleotema coraloide | 24 |
| Figura 6: Fotomicrografias da amostra N4E-08-A. | 25 |
| Figura 7: MEV e EDS do material que preenche as microcavidades de dissolução do jaspilito. | 26 |
| Figura 8: Fotomicrografias do espeleotema coraloide. | 27 |
| Figura 9: MEV e EDS do espeleotema coraloide | 28 |
| Figura 10: Aspectos geológicos da cavidade natural N4WS-72 | 29 |
| Figura 11: Imagem macroscópica e composição mineralógica da canga e do espeleotema crosta branca. | 30 |
| Figura 12: Fotomicrografias da amostra de Canga | 31 |
| Figura 13: Imagens de MEV referente à canga. | 32 |
| Figura 14: Fotomicrografias do espeleotema coliforme. | 32 |
| Figura 15: Imagens de MEV e composição química semi-quantitativa do espeleotema coliforme. | 33 |
| Figura 16: Fotomicrografias do espeleotema crosta branca. | 34 |
| Figura 17: MEV e EDS do espeleotema crosta branca | 34 |

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS | 12 |
| 1.2.1 Principais..... | 12 |
| 1.2.2 Específicos | 12 |
| 1.3 LOCALIZAÇÃO..... | 13 |
| 1.4 ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS | 13 |
| 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 14 |
| 1.5.1 Bibliografia..... | 14 |
| 1.5.2 Visita às cavidades naturais, N4E-08 e N4WS-72, na Serra dos Carajás | 15 |
| 1.5.3 Difração de raios-X (DRX) | 15 |
| 1.5.4 Microscopia óptica..... | 16 |
| 1.5.5 Microscopia eletrônica de varredura..... | 16 |
| 2 CONTEXTO GEOLÓGICO | 17 |
| 2.1 CRÁTON AMAZÔNICO | 17 |
| 2.2 PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS | 17 |
| 2.2.1 Bacia Carajás | 20 |
| 2.2.1.1 Supergrupo Itacaiúnas | 20 |
| 2.2.1.2 Granitos Subalcalinos | 21 |
| 3 RESULTADOS | 22 |
| 3.1 CAVERNA N4E-08 | 22 |
| 3.1.1 Jaspilito espeleotema-coralóide | 23 |
| 3.2 CAVERNA N4WS-72..... | 28 |
| 3.2.1 Canga espeleotema-coloforme-crosta branca | 29 |
| 4 DISCUSSÃO | 35 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 37 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |

1 INTRODUÇÃO

As cavidades naturais são componentes de um sistema geomorfológico denominado “carste”, o qual é formado por complexos e constantes processos químicos no substrato rochoso (dissolução e precipitação), através da ação da água (GILBERT *et al.*, 1994). As cavidades são comumente formadas nos interstícios das rochas carbonáticas ou mesmo daquelas menos suscetíveis aos processos de dissolução: quartzitos, dolomitos, arenitos e formações ferríferas (GINÉS; GINÉS, 1992; WHITE; CULVER, 2005).

A formação das cavidades naturais, em formações ferríferas bandadas (FFBs), ocorre inicialmente em microescala por ação química da água e evoluem para condutos e galerias. Os processos de desmoronamentos de rochas frequentemente estão envolvidos na formação desses espaços cavernosos (ABREU, 2014; AULER; PILÓ, 2005; CABRAL, 2014; MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995).

Os espeleotemas são depósitos cristalinos gerados no interior das cavidades, por precipitação de minerais a partir de soluções aquosas (AULER; ZOGBI, 2011; WHITE, 1976). A diversidade de formações de espeleotemas se deve aos diversos regimes de gotejamento, fluxo, armazenamento, capilaridade e exsudação de soluções ricas principalmente em Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e HCO_3^- , além de outros materiais, como fosfatos, nitratos e óxidos hidratados (AULER; ZOGBI, 2011; BARBIERI, 1993).

O Brasil detém umas das maiores reservas de minério de ferro do mundo, bem como um grande número de cavidades desenvolvidas nesta litologia (MAURITY, 1995). Em decorrência dos diversos mecanismos envolvidos na sua formação, geralmente sob controle estrutural, as cavidades em minérios de ferro e canga exibem variadas formas: retilíneo, curvilíneo, espongiforme e globular (AULER; COELHO, 2012; PILÓ; AULER, 2009).

Existem atualmente no Brasil duas regiões que comportam a quase totalidade das cavidades desenvolvidas em minério de ferro: o Quadrilátero Ferrífero, centro-sul do estado de Minas Gerais; e a Serra dos Carajás, sudeste do Pará (AULER; PILÓ, 2005). Nesta última região, localiza-se a Unidade Espeleológica de Carajás, uma das mais importantes regiões espeleológicas do Brasil e objeto de estudo deste trabalho.

A Serra dos Carajás está inserida no Planalto Dissecado do Sul do Pará. Esta serra é caracterizada como um maciço residual na forma de platôs (serras Norte, Leste, Bocaina, Tarzan e Sul) que exibem coberturas de canga e essas recobrem, principalmente, as unidades

do Grupo Grão Pará, de idade arqueana (PILÓ; AULER, 2009; MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995).

Apesar de existirem levantamentos geoespeleológicos em Carajás, poucos trabalhos foram publicados, permanecendo a grande maioria como informações sob o controle da empresa mineradora atuante na área. Além disso, estudos petrográficos e geoquímicos dos espeleotemas ainda são escassos.

Os espeleotemas formados na Serra dos Carajás, especialmente na Unidade Geomorfológica Serra Norte, exibem diferentes composições e morfologias. Contudo, neste trabalho foram discriminados apenas os espeleotemas de crosta fosfática e coraloide silicoso, gerados na superfície da canga e do jaspilito, respectivamente. Quanto ao depósito químico das microcavidades de dissolução da canga, este é denominado como espeleotema coliforme, o qual exibe composição fosfática.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Principais

✓ Realizar a caracterização petrográfica e geoquímica do jaspilito espeleotema–coraloide e canga espeleotema–coliforme-crosta branca das cavidades naturais, N4E-08 e N4WS-72, da Serra dos Carajás (Serra Norte), a fim de fornecer suporte para o conhecimento evolutivo e genético dos espeleotemas fosfáticos e silicosos.

1.2.2 Específicos

- ✓ Caracterizar mineralogicamente e texturalmente os espeleotemas, bem como o substrato no qual os espeleotemas foram gerados;
- ✓ Definir a composição química dos espeleotemas;
- ✓ Determinar o controle estrutural e litológico na geração das microcavidades de dissolução e dos espeleotemas;

1.3 LOCALIZAÇÃO

A área de pesquisa está localizada no município de Parauapebas, integrante da Mesorregião Sudeste do Estado do Pará. Seu acesso, a partir da cidade de Parauapebas, é realizado pela Rodovia Raimundo Mascarenhas até o Núcleo Urbano de Carajás, seguindo por vicinais que percorrem o interior da Floresta Nacional de Carajás, ligando o Núcleo Urbano aos sítios de prospecção e exploração mineral (Figura 1).

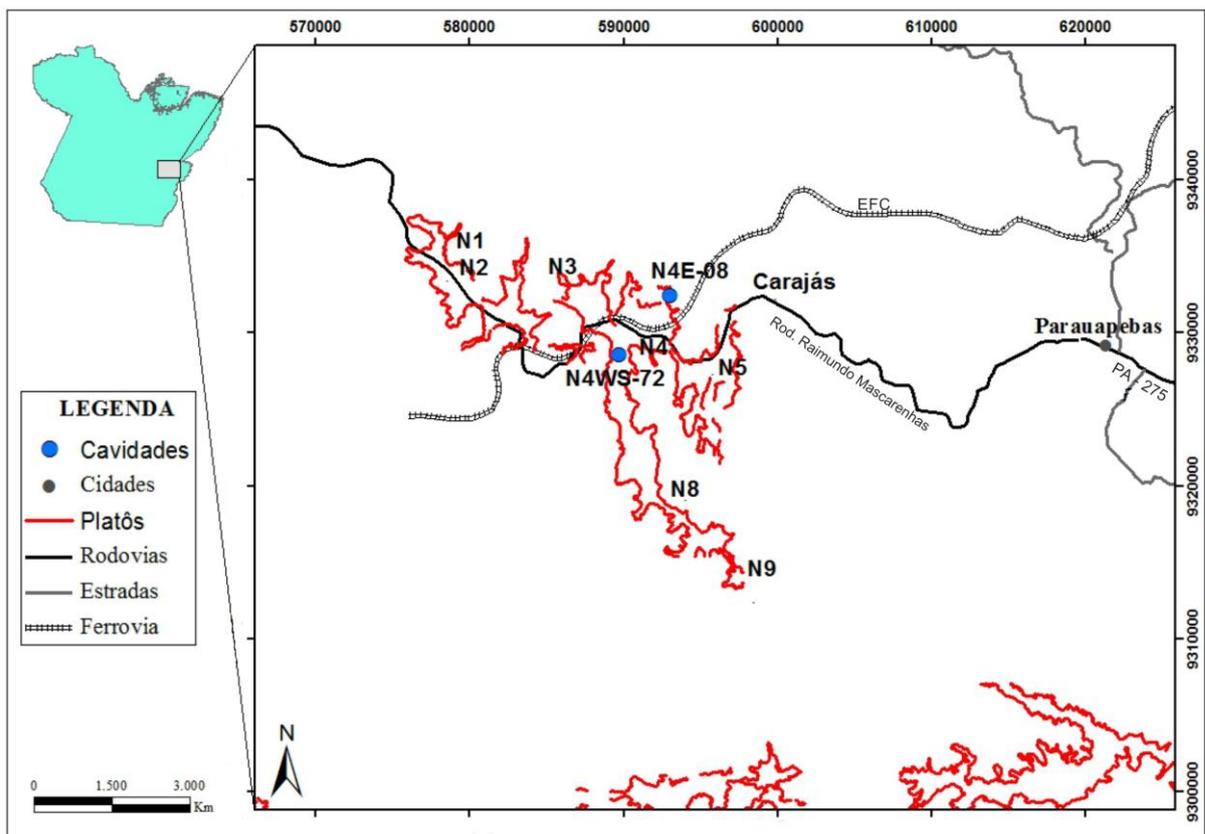


Figura 1: Mapa de localização e acesso da Unidade Geomorfológica Serra Norte, no qual estão inseridas as cavidades naturais N4E-08 e N4WS-72.

1.4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

O platô que individualiza a Unidade Geomorfológica da Serra Norte faz parte do maciço residual da Serra dos Carajás, integrante de uma Unidade maior: o Planalto Dissecado do Sul do Pará. Do ponto de vista geológico, a área apresenta rochas de idade arqueana, fortemente dobradas e falhadas. O Planalto Dissecado é caracterizado por maciços residuais de topo aplainado e conjuntos de cristas interpenetrados por faixas de terrenos rebaixados, que

na Serra Norte corresponde a um sinclinal. À pediplanação do maciço, ocorrida no Plioceno, seguiu-se a dissecação da superfície por elevada densidade de drenagem, gerando vales encaixados que delimitam o platô. Este é marcado no topo por uma cobertura laterítica ferruginosa, com altitudes de até 700 m (BOAVENTURA, 1974).

Nesta área, as cavidades naturais formam-se sob condições atípicas, em depósitos supergênicos lateríticos (MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995). Embora essas feições cavernosas sejam descritas como formas pseudocársticas (MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995), por indícios de processos de dissolução, estas condizem a um relevo cárstico típico.

A vegetação da região de Carajás é marcada por floresta equatorial ombrófila densa e por campo rupestre, o qual ocorre ao longo dos platôs recobertos por crostas ferruginosas. No topo dos platôs, surgem espécies vegetais de pequeno porte, comumente tapetes de gramíneas com exposição do substrato rochoso ferrífero (SILVA *et al.* 1986).

O clima da região é Equatorial, com temperaturas médias oscilando entre 19° e 31° e precipitação anual elevada (PEEL *et al.*, 2007). A estação seca ocorre de maio a outubro e a estação úmida de novembro a abril, com intensos períodos torrenciais (SILVA *et al.*, 1986).

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa empregada neste trabalho envolveu as seguintes etapas:

1.5.1 Bibliografia

Foram realizados levantamentos bibliográficos referentes à geologia regional e local da área de pesquisa, principalmente sobre a ocorrência de espeleotemas na Serra dos Carajás. Referências sobre a formação de espeleotemas em cavidades em formações ferríferas existentes noutras regiões também foram consultadas, assim como relatórios internos cedidos pela Vale, ou Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), atualmente um *holding* de capital multinacional atuante no setor de mineração e siderurgia.

1.5.2 Visita às cavidades naturais, N4E-08 e N4WS-72, na Serra dos Carajás

Foram realizadas atividades de campo nas cavidades N4E-08 e N4WS-72, situadas na Unidade Geomorfológica Serra Norte, Estado do Pará. Esta atividade consistiu no reconhecimento da área e obtenção de amostras de espeleotemas e do substrato que os sustenta. Foram coletadas 15 (quinze) amostras, das quais 7 (sete) foram na cavidade N4E-08 e 8 (oito) na cavidade N4WS-72.

1.5.3 Difração de raios-X (DRX)

A Difração de Raios-X foi o método utilizado para identificação das fases mineralógicas dos espeleotemas, bem como do substrato (jaspilito e canga). Todas as análises por DRX foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios-X da Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus do Guamá, em Belém, adotando-se o método do pó, mediante emprego de Difrátômetro de raios X, modelo *X'Pert* Pro MPD (PW 3040/60) PANalytical, Goniômetro PW3050/60(θ - θ) e tubo de raios-X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00, foco fino longo, 22000W, 60kv, filtro $K\beta$ de Ni, detector *X'Celerator* RTMS (*Real Time Multiple Scanning*) no modo *scanning* e com *active length* 2,122°.

A aquisição de dados foi feita com o software *X'Pert Data Collector*, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o *software X'Pert HighScore* versão 2.1b, também da PANalytical.

Foram tomadas as seguintes condições de análise: *Voltage* (kV): 40; *Current* (mA): 30; *Scan range* ($^{\circ} 2\theta$): 3-75; *Step size* ($^{\circ} 2\theta$): 0,02; *Scan mode*: *Continuous*; *Counting time* (s): 20; *Automatic Divergence slit*; *Mask Fixed* 10 mm; *Anti-scatter slit Fixed* 2°.

As amostras foram pulverizadas em gral de ágata em granulometria compatível e preenchidas em porta amostra específico para a análise. A identificação dos minerais foi realizada por meio de comparação do difratograma obtido com padrões (fichas) do bando de dados do ICDD-PDF (*International Center dor Diffraction Data – Powder Diffraction File*).

1.5.4 Microscopia óptica

A petrografia dos espeleotemas e do substrato rochoso envolveu análises de 5 (cinco) lâminas delgadas e polidas, além de 10 (dez) seções polidas, as quais foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da UFPA, Campus do Guamá, em Belém. As análises texturais, morfológicas e mineralógicas de espécimes de espeleotemas, jaspilite e canga, por sua vez, foram realizadas em microscópios petrográficos do Laboratório de Mineralogia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), campus de Marabá.

1.5.5 Microscopia eletrônica de varredura

Os fragmentos de jaspilite e canga, revestidos por espeleotemas, foram submetidos ao Microscópio Eletrônico de Varredura para obtenção de imagens das estruturas mineralógicas. Lâminas polidas do mesmo material também foram submetidas a análises químicas pontuais por microanálise pontual por dispersão de energia (EDS). As análises pontuais por EDS foram realizadas, preferencialmente, em três porções dos espeleotemas, na região central, na porção intermediária e a na borda, a fim de encontrar diferenças composicionais significativas. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UFPA, Campus do Guamá, em Belém.

As amostras submetidas ao MEV foram observadas em uma câmara a vácuo para a observação de imagens texturais. O equipamento utilizado foi o MEV modelo LEO-1430, sob condições de análises de elétrons retroespalhados, corrente de feixe de elétrons = $90\mu\text{A}$, voltagem de aceleração constante 200kv, distância de trabalho = 15mm e tempo de contagem para aquisição de elementos = 30s.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 CRÁTON AMAZÔNICO

O Cráton Amazônico representa uma das mais importantes unidades geotectônicas do mundo e da Plataforma Sul-Americana. Este cráton é subdividido em províncias geocronológicas distintas, sendo a Província Amazônia Central a mais antiga. A Província Amazônia Central está inserida no Escudo do Brasil Central, o qual corresponde ao embasamento da fração continental estável da Plataforma Sul-Americana, localizado na porção centro-ocidental do Brasil e parte da Bolívia (CORDANI; SATO, 1999; SANTOS *et al.*, 2000; TASSINARI; MACAMBIRA, 1999, 2004; TEIXEIRA *et al.*, 1989). A Província Amazônia Central é dividida em dois blocos tectônicos principais: Carajás e Xingu-Iricoumé (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004). A Província Carajás, constitui o principal núcleo arqueano do Cráton Amazônico, situada na sua porção sul-oriental e se restringi até o sul do Domínio Bacajá, correspondente ao extremo sul da Província Transamazonas (SANTOS *et al.*, 2000) ou Maroni-Itacaiunas (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004) (Figura 2).

2.2 PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

A Província Carajás está localizada no Escudo do Brasil Central e inserida na porção sudeste da Província Amazônia Central, limitada pela Província Transamazônica ou Maroni-Itacaiunas, a norte e pela Faixa Araguaia, a leste (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999) (Figura 2). A Província Carajás foi gerada, reativada e estabilizada tectonicamente no Arqueano (MACAMBIRA; LAFON, 1995). É considerada uma das mais importantes reservas minerais do Brasil, contendo os maiores depósitos de Ferro do mundo, além de Au, Cu, Mn, Ni e Pt (DOCEGEO, 1988).

A Província Carajás tem sido subdividida em dois domínios tectônicos: Bacia de Carajás e Terreno Granito-*Greenstone* Rio Maria (SOUZA *et al.*, 2001). O limite entre estes tem sido amplamente discutido e inclui uma extensa área localizada a sul do Granito Xinguara (COSTA *et al.*, 1995), e a norte da faixa de *greenstone belt* de Sapucaia (SOUZA *et al.*, 2001), considerada por alguns autores como uma "zona de transição" entre estes dois domínios tectônicos.

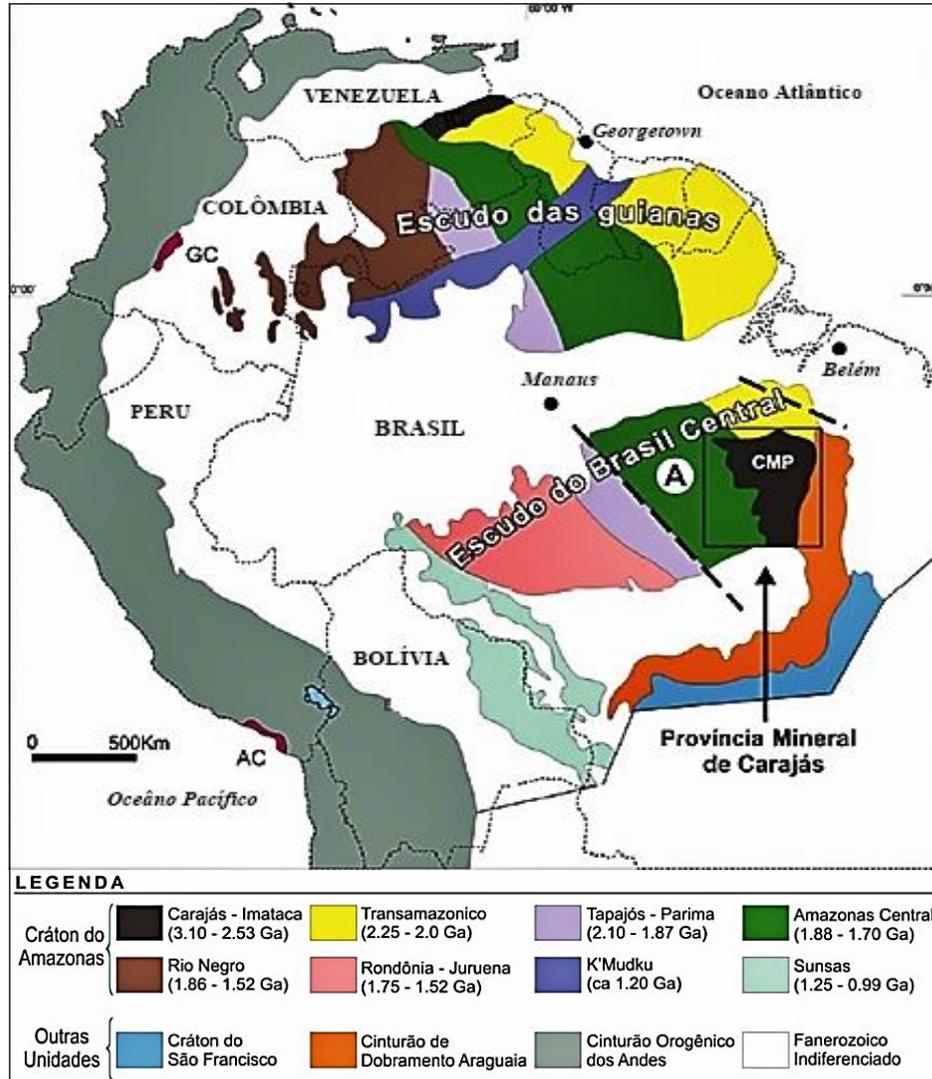


Figura 2: Mapa simplificado mostrando parte da Plataforma Sul-Americana, com destaque para o Cráton Amazônico e suas subdivisões em províncias geocronológicas e a localização da Província Mineral de Carajás. Fonte: SCHWARZ, 2010.

A Bacia de Carajás, na qual situa-se a Unidade Espeleológica de Carajás, tem sido palco de importantes debates no que diz respeito à organização tectônica e estratigráfica de suas rochas, com a proliferação de terminologias e propostas estratigráficas variadas. Estas propostas, fundamentadas principalmente em estudos petrográficos e geocronológico, sempre envolveram a introdução de novas terminologias e modificações hierárquica, não havendo um consenso da litoestratigrafia da região. Atualmente, existem três propostas utilizadas como referência para a região: (1) DOCEGEO, 1988, baseada em princípios litoestraestratigráficos e geocronológicos; (2) Araújo & Maia, 1991, fundamentada em mapeamento geológico, com ênfase em aspectos tectônicos; e Pinheiro, 1997, embasada na evolução tectono-estrutural (Figura 3).

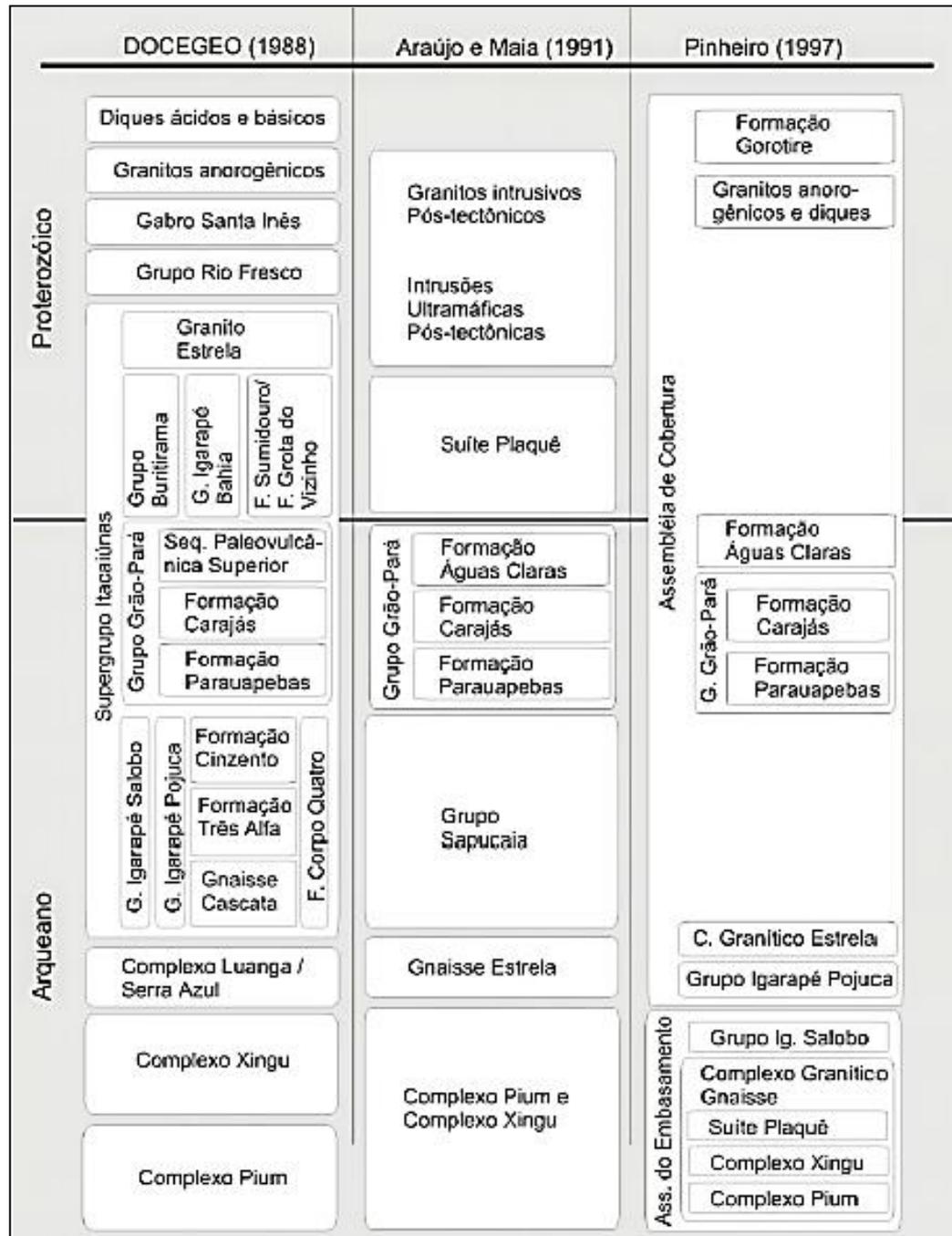


Figura 3: Propostas estratigráficas para a Província Mineral de Carajás apresentada por DOCEGEO, 1988; Araújo & Maia, 1991; e Pinheiro, 1997.

2.2.1 Bacia Carajás

A Bacia Carajás consiste de um embasamento que contém rochas granulíticas e enderbíticas do Complexo Pium (PIDGEON *et al.*, 2000), bem como migmatitos, gnaisses tonalíticos e trondjemíticos, granodioritos, granitos e anfibolitos do Complexo Xingu (MACHADO *et al.*, 1991). O magmatismo máfico-ultramáfico é representado pelo Complexo Luanga, o qual consiste de peridotito, dunito, anortositos e gabros (DOCEGEO, 1988; MACHADO *et al.*, 1991).

Rochas supracrustais do Supergrupo Itacaiúnas formam o preenchimento da Bacia (MACHADO *et al.*, 1991). Intrudido nas rochas do embasamento e supracrustais, ocorrem na região diversos corpos graníticos de idade arqueana, podendo-se destacar entre estes o Complexo Granítico Estrela, Serra do Rabo, Igarapé Gelado, *Old Salobo* (BARROS *et al.*, 2004; SARDINHA *et al.*, 2006; MACHADO *et al.*, 1991).

2.2.1.1 Supergrupo Itacaiúnas

O Supergrupo Itacaiúnas é constituído por rochas vulcanossedimentares arqueanas e engloba os grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão Pará, Igarapé Bahia e Buritirama (DOCEGEO, 1988).

O Grupo Igarapé Salobo consiste de rochas vulcanossedimentares, paragnaisse, anfibolito, quartzito, gnaisse, metarcóseo, além de formações ferríferas (MACHADO *et al.*, 1991).

O Grupo Igarapé Pojuca é formado por rochas metavulcânicas, xisto, anfibolito e rochas sedimentares siliciclásticas e químicas (WINTER, 1994).

O Grupo Grão Pará, no qual está inserido a Unidade Espeleológica de Carajás, é representado por uma espessa sequência de rochas vulcanossedimentares, que inclui na base, a Formação Parauapebas composta por rochas metavulcânicas félsicas e máficas (ARAÚJO *et al.*, 1991); seguida pela Formação Carajás constituída predominantemente por formação ferrífera bandada do tipo jaspilito, podendo atingir entre 250 e 300 m de espessura, com alguns quilômetros de extensão. O protominério (jaspilito) ocorre quase totalmente transformado em minério de ferro hematítico. Sobre as formações ferríferas bandadas dessilicificada ou minério de ferro, tem-se geralmente crostas endurecidas e altamente

ferruginosas, comumente chamadas de canga. A degradação química e física do manto de alteração é marcada por expressivas feições pseudocársticas. Nas porções centrais dos platôs, destacam-se diversas depressões dolimiformes rasas, sítios de lagos temporários ou permanentes e em suas bordas, registra-se a ocorrência de cavidades naturais. São comuns *sills* de rocha máfica, centimétricos e intercalados ao acamamento da formação ferrífera (ARAÚJO; MAIA, 1991; MAURITY; KOTSCHOUBEY, 1995; MACAMBIRA, 2002). No topo a Formação Águas Claras engloba extensas exposições de arenitos e siltitos (NOGUEIRA *et al.*, 1995).

O Grupo Igarapé Bahia consiste de rochas metavulcanossedimentares, intercaladas com formações ferríferas (FERREIRA FILHO, 1985).

O Grupo Buritirama compreende de sequências supracrustais de rochas metassedimentares clásticas e químicas (SCHWARZ, 2010).

2.2.1.2 Granitos Subalcalinos

Os granitos subalcalinos, que intersectam as rochas supracrustais do Supergrupo Itacaíunas, são representados pelo Complexo Granítico Estrela, Granito Serra do Rabo, Igarapé Gelado e Old Salobo

O Complexo Granítico Estrela consiste de granitos, monzonito miarolítico, sienito e diorito (BARROS *et al.*, 2001).

O Granito Serra do Rabo corresponde a um *stock* com composição álcali-feldspato granito e sienogranito (SARDINHA *et al.*, 2006).

O Granito Igarapé Gelado é constituído por granodioritos e monzogranitos, com tonalitos, leucomonzogranitos e sienogranitos subordinados (BARBOSA, 2005).

O Granito *Old Salobo* exibe foliação e quimismo alcalino moderado, levemente sódico e metaluminoso (LINDENMAYER *et al.*, 1994).

3 RESULTADOS

Neste trabalho foram estudadas duas cavidades, N4E-08 e N4WS-72, as quais estão inseridas na Unidade Geomorfológica Serra Norte – Carajás. Os espeleotemas desenvolvidos nestas cavidades exibem diferentes composições e morfologias. Entretanto, neste trabalho, foram estudados somente os espeleotemas do tipo coraloide, crosta branca e coliforme.

3.1 CAVIDADE NATURAL N4E-08

A cavidade N4E-08 ocorre sobre jaspilito, a 649 m de altitude. Apresenta padrão planimétrico do tipo espongiforme, caracterizado por formas irregulares, com condutos geralmente globulares de tamanho variado, que se interconectam por passagens estreitas (AULER; COELHO, 2012) (Figura 4). Esta cavidade exhibe feições hidrológicas resultantes de gotejamento, condensação e empoçamento, o que permite a formação dos espeleotemas coraloide, crosta de óxido-hidróxido, crosta branca, escorrimento e microtravertino (AULER; COELHO, 2012). Neste trabalho foi estudado somente o espeleotema coraloide.

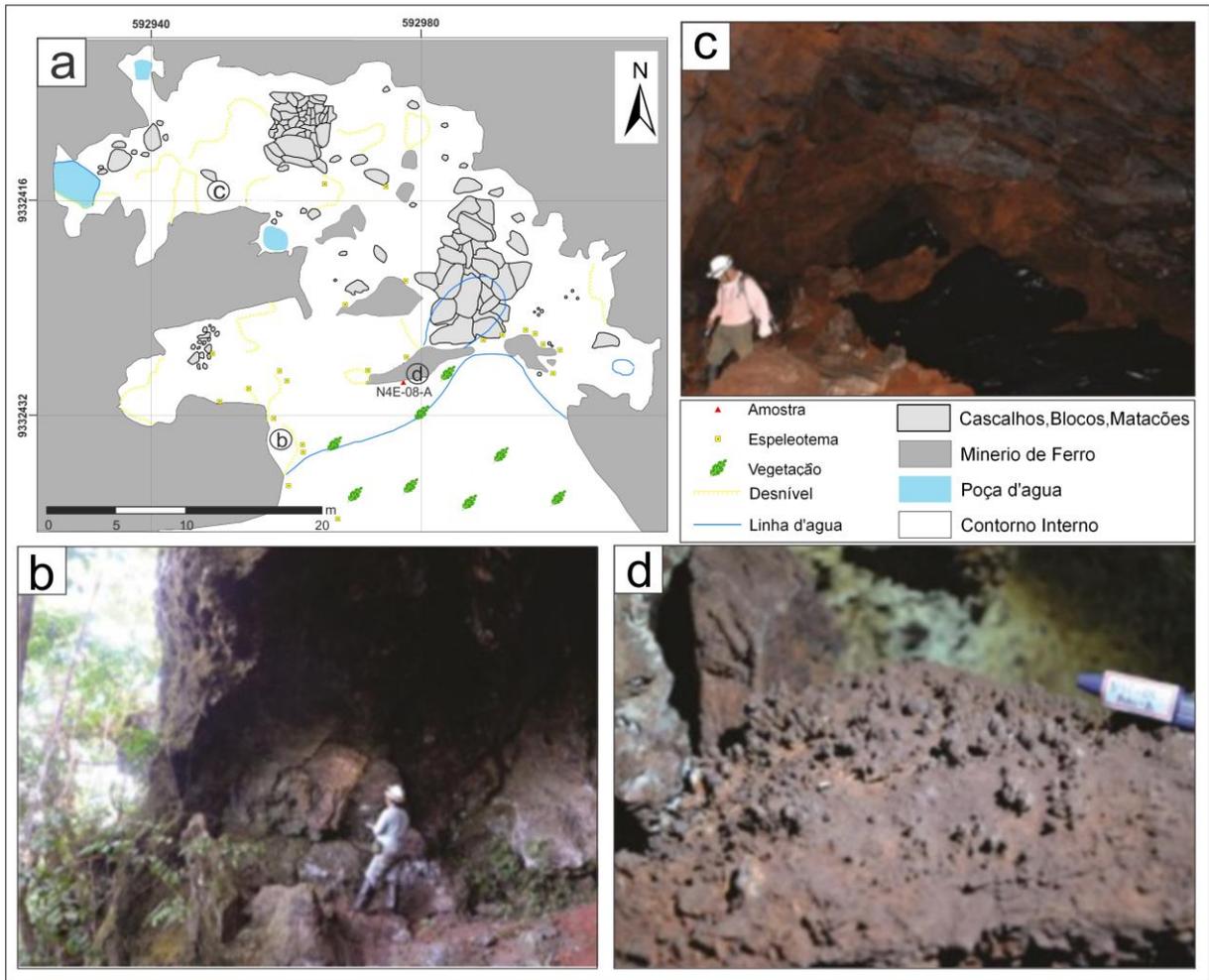


Figura 4: Aspectos geológicos da cavidade natural N4E-08; a) Planta baixa da cavidade N4E-08, com padrão planimétrico esponjiforme; b) Vista da entrada da cavidade; c) Parte interna da cavidade contendo blocos oriundos do colapso do teto; d) Amostra de espeleotemas coraloide, coletada da parede da cavidade.

3.1.1 Jaspilite espeleotema-coralóide

A amostra extraída da parede da cavidade N4E-08-A compreende a jaspilite de coloração marrom-avermelhada, com laminações milimétricas e composto essencialmente por hematita (Fe_2O_3) e alunita ($\text{K}(\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6)$) (Figura 5 a, b). O espeleotema coraloide, sobre o jaspilite, exhibe coloração marrom-avermelhado, hábito botroidal, padrão ligeiramente amorfo, composto por hematita, goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), alunita e quartzo (SiO_2) (Figura 5 a, c).

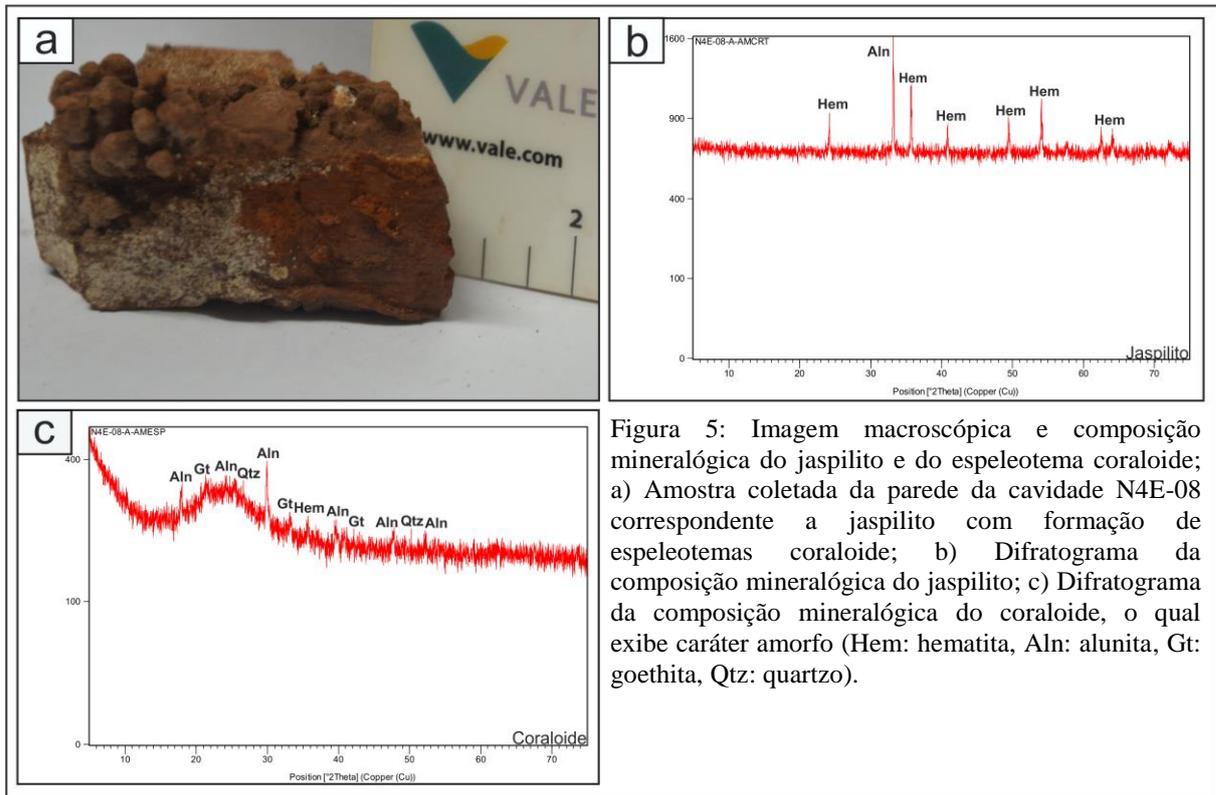


Figura 5: Imagem macroscópica e composição mineralógica do jaspilito e do espeleotema coraloide; a) Amostra coletada da parede da cavidade N4E-08 correspondente a jaspilito com formação de espeleotemas coraloide; b) Difratoograma da composição mineralógica do jaspilito; c) Difratoograma da composição mineralógica do coraloide, o qual exibe caráter amorfo (Hem: hematita, Aln: alunite, Gt: goethita, Qtz: quartzo).

Microscopicamente, o jaspilito preserva sua estrutura primária, a qual é caracterizada pela alternância de bandas silicosas e bandas de minerais opacos, com até 0,25mm de espessura. As bandas silicosas são compostas essencialmente de chert e jaspe e as bandas opacas por óxido-hidróxido de ferro (Figura 6).

As microcavidades de dissolução ocorrem paralelas ou perpendiculares ao bandamento do jaspilito por meio de fraturas, formando microcanalículos de aspecto cavernoso, os quais são preenchidos parcialmente por cimento de goethita e hematita, sílica amorfa e partículas sílticas (~0,5 mm) de alunite, quartzo e fragmentos do jaspilito (Figura 6).

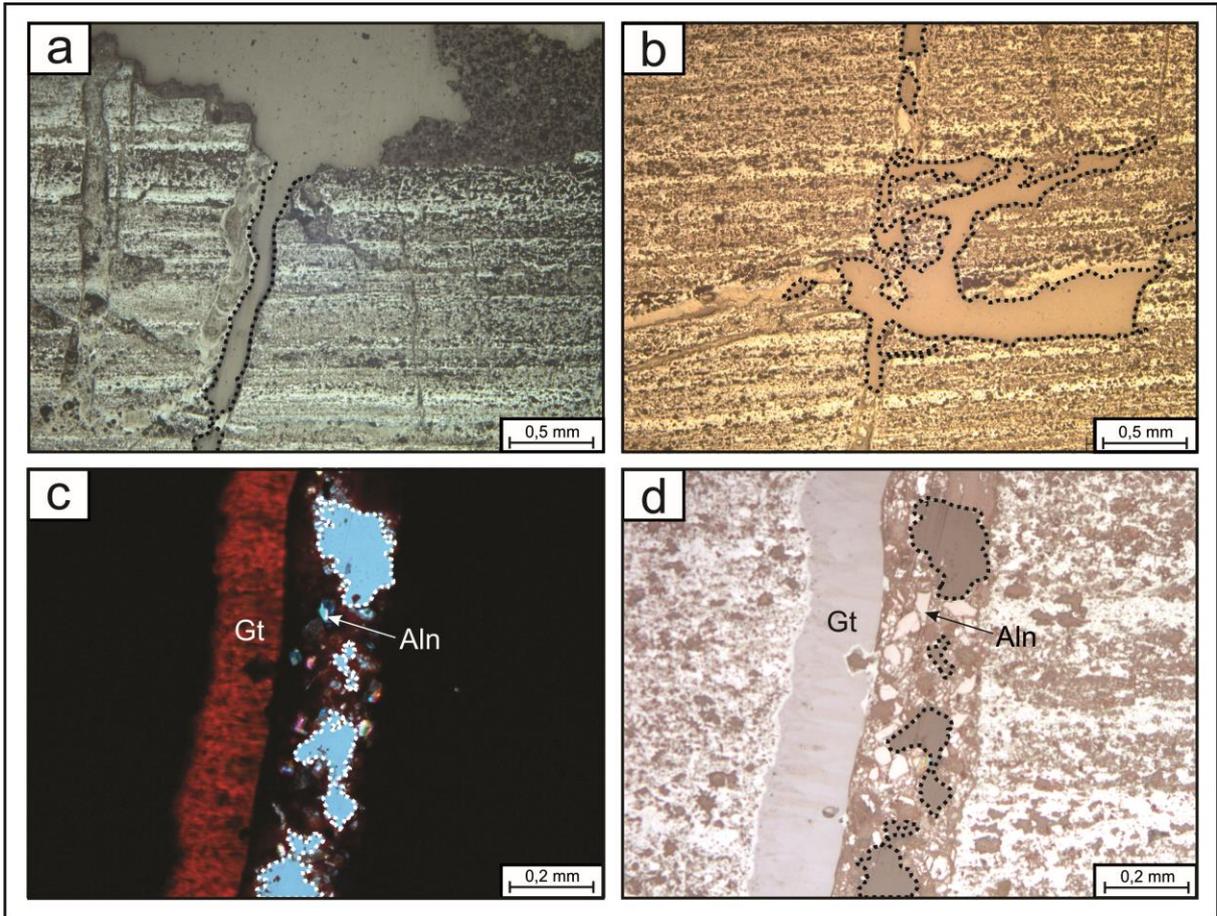


Figura 6: Fotomicrografias da amostra N4E-08-A; a) Laminações plano-paralelas do jaspilito, caracterizadas pela alternância de bandas silicosas e bandas de minerais opacos, seccionadas por fraturas perpendiculares em destaque (luz refletida, natural); b) Laminações plano-paralelas do jaspilito, marcadas pela alternância de bandas silicosas e bandas de minerais opacos, interceptadas por fraturas com pares conjugados em destaque (luz refletida, natural); c,d) Fratura perpendicular a laminação do jaspilito, preenchida por cimento de goethita e hematita, partículas sílticas de alunita e fragmentos de jaspilito; em destaque as microcavidades de dissolução vazias (luz refletida, natural; luz transmitida, nicóis cruzados) (Gt: goethita, Aln: alunita).

Ao MEV, as microcavidades de dissolução, formadas no jaspilito, são preenchidas por minerais de goethita com arranjo radial e hematita com textura acicular, bem como partículas minerais de alunita e quartzo, comprovadas em análises de EDS (Figura 7).

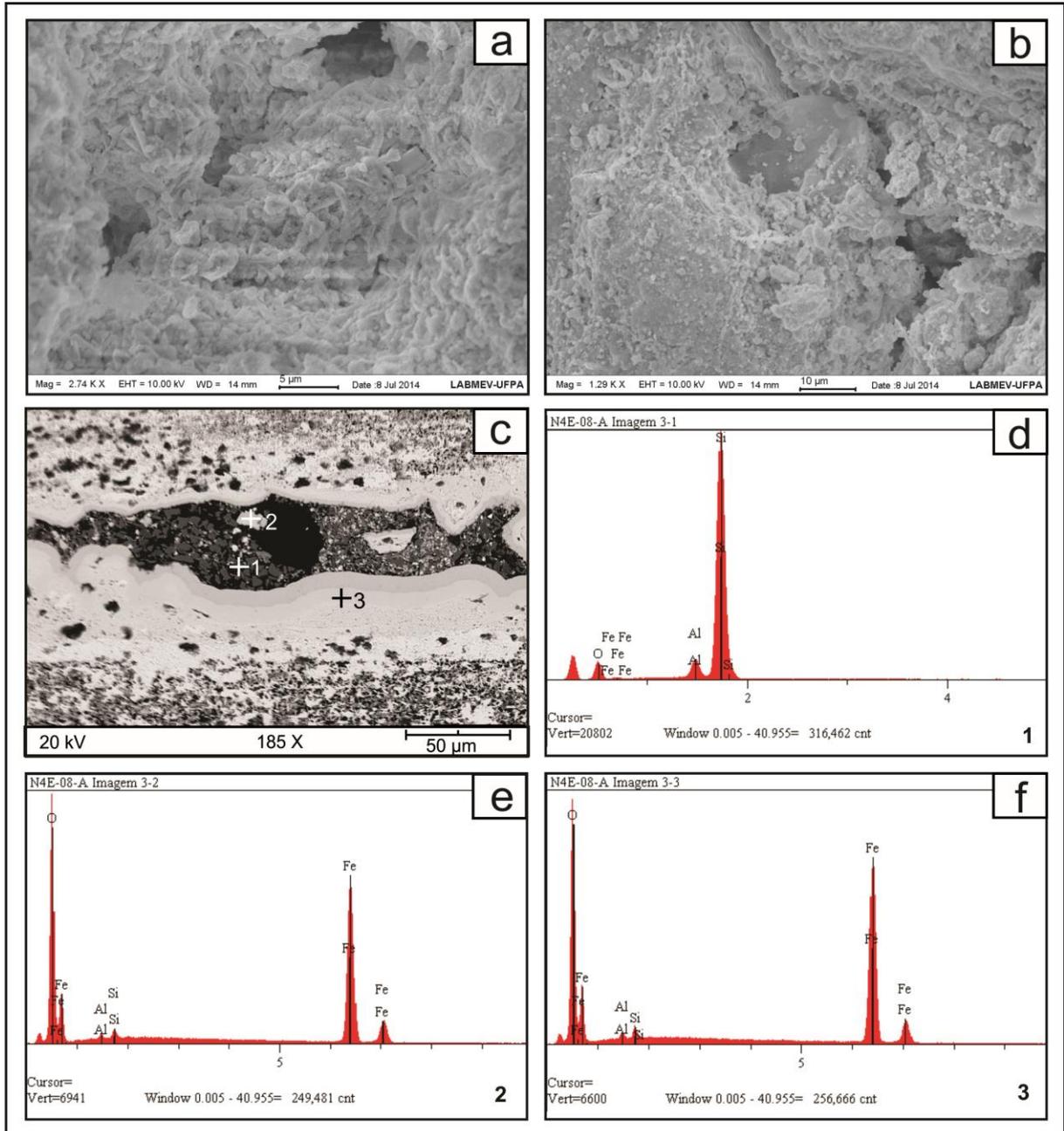


Figura 7: MEV e EDS do material que preenche as microcavidades de dissolução do jaspilito; a) Imagem de MEV da microcavidade de dissolução revestida por minerais de goethita com arranjo radial e hematita com textura acicular (em fragmento); b) Imagem de MEV da microcavidade com massa ferruginosa de hematita e goethita, bem como mineral de alunite (em fragmento); c) Imagem de MEV da microcavidade de dissolução e do material que a preenche (em lâmina polida); d) Gráfico de EDS da composição química do ponto 1 (quartzo); e) Gráfico de EDS da composição química do ponto 2 (fragmento de jaspilito); f) Gráfico de EDS da composição química do ponto 3 (hematita).

Microscopicamente, o espeleotema coraloide exibe forma zonada, marcada pela alternância na concentração de sílica e ferro nas bandas amorfas, acompanhada pela mudança de coloração, avermelhada no contato com o jaspilito, creme-amarronzado na porção intermediária e a borda avermelhada. O coraloide é composto essencialmente por sílica

amorfa, cimentando grãos subangulosos a subarredondados de hematita, goethita, alunita e quartzo, que variam entre 0,1 a 0,2 mm e apresentam feições de dissolução (Figura 8).

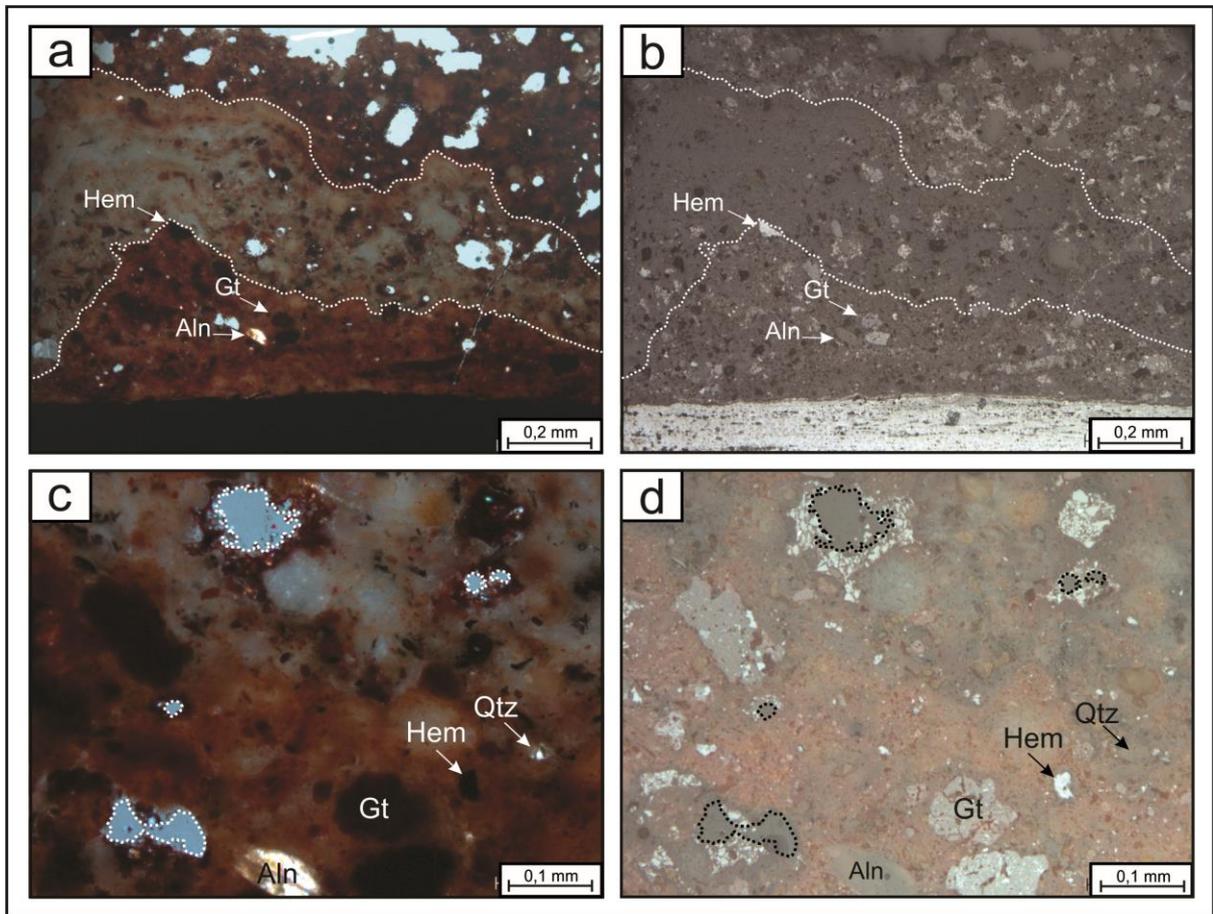


Figura 8: Fotomicrografias do espeleotema coraloide; a,b) Coraloide de sílica amorfa com coloração avermelhada no contato com o jaspilito, acinzentada na porção intermediária e avermelhada na borda, e fragmentos de quartzo, alunita, goethita e hematita, com feições de dissolução (luz transmitida, nicóis cruzados; luz refletida, natural); c,d) Massa amorfa de sílica com partículas detríticas e feições de dissolução em destaque (luz transmitida, nicóis; luz refletida, natural) (Hem: hematita, Gt: goethita, Aln: alunita, Qtz: quartzo).

Ao MEV, o espeleotema coraloide é caracterizado por uma massa amorfa de sílica com aspecto esponjoso que incorpora partículas minerais de alunita, hematita e goethita, comprovados em análises de EDS (Figura 9).

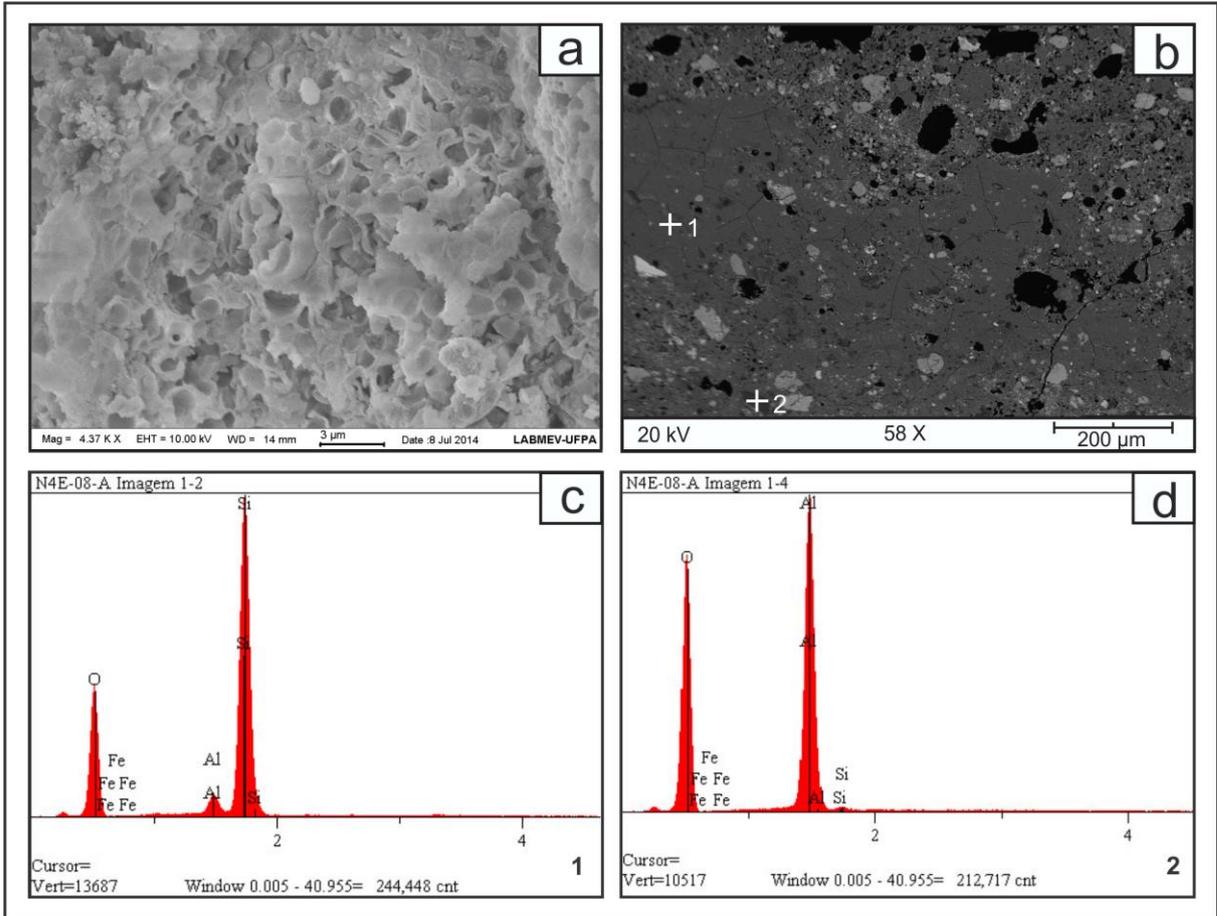


Figura 9: MEV e EDS do espeleotema coraloide; a) Imagem de MEV do espeleotema coraloide com aspecto textural esponjoso (em fragmento); b) Imagem de MEV do coraloide com os respectivos pontos analisados quimicamente por EDS (em lâmina polida); c) Gráfico de EDS da composição química da massa amorfa do coraloide silicoso, representado pelo ponto 1; d) Gráfico de EDS da composição química do ponto 2 (alunita).

3.2 CAVIDADE NATURAL N4WS-72

A cavidade N4WS-72 formou-se sobre jaspilite e canga, a 631 m de altitude, e exibe padrão planimétrico retilíneo, sendo caracterizado por condutos simples, com direção preferencial, geralmente orientada por fraturas, juntas ou planos inclinados do bandamento da rocha (AULER; COELHO, 2012) (Figura 10).

Na cavidade N4WS-72, os padrões hidrológicos ocorrem por gotejamento, condensação e infiltração, e apresenta espeleotemas coraloide, escorrimento, crosta óxido-hidróxido, microtravertino, estalactite, estalagmite, coluna e crosta branca, sendo este último depósito estudado neste trabalho, além do espeleotema coliforme.

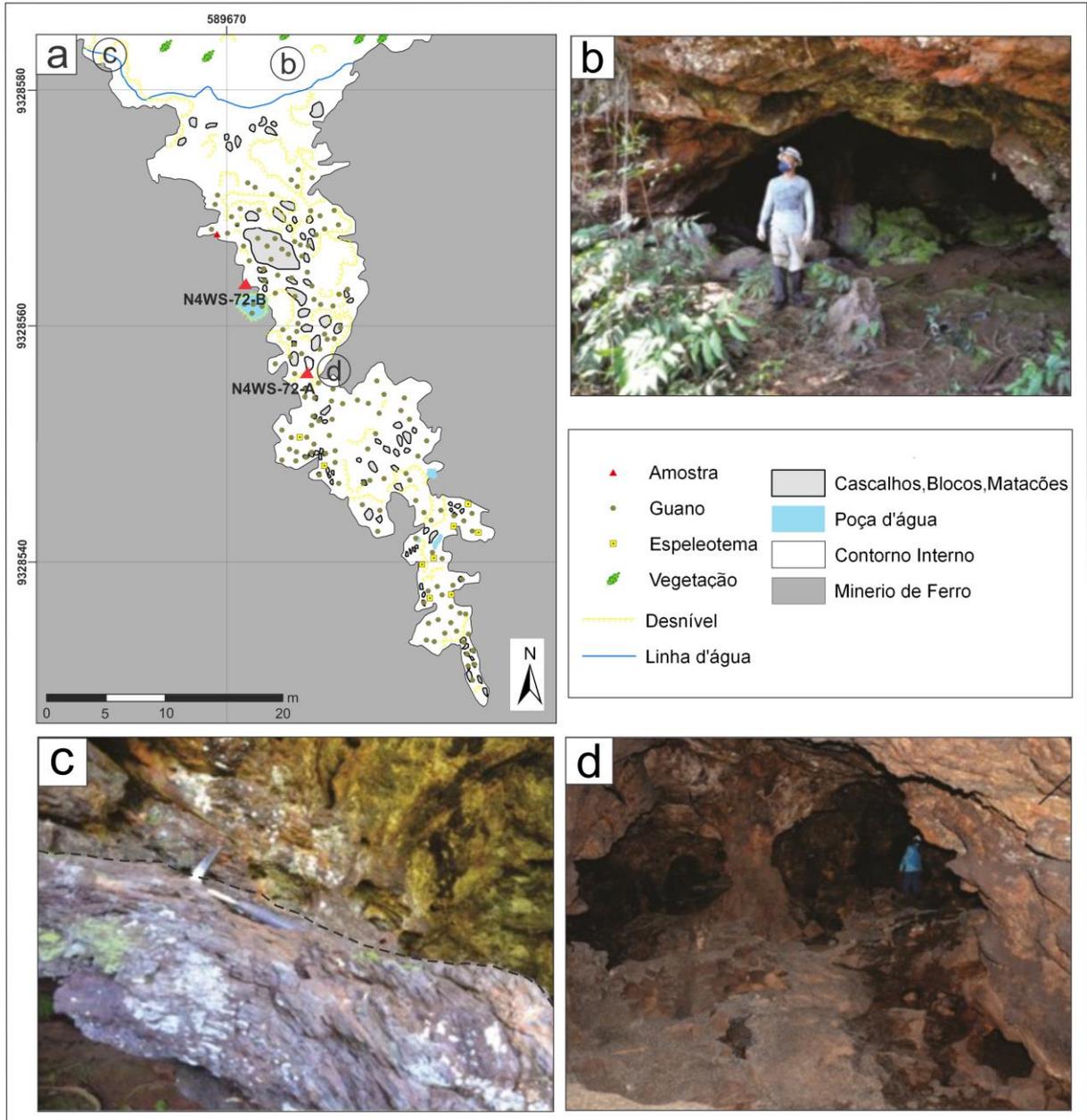


Figura 10: Aspectos geológicos da cavidade natural N4WS-72 com o posicionamento das amostras coletadas, N4WS-72-A teto e N4WS-72-B parede; a) Planta baixa da cavidade N4WS-72, com padrão planimétrico retilíneo; b) Imagem da entrada da cavidade; c) Detalhe do contato entre o jaspilite e a canga laterítica que compõem a cavidade; d) Interior da cavidade com salões relativamente amplos.

3.2.1 Canga espeleotema-coloforme-crosta branca

O espeleotema crosta branca ocorre sobre a canga laterítica de coloração cinza escura, brilho graxo e aspecto bechoide, com clastos de jaspilite (Figura 11 a). A canga é composta essencialmente por hematita (Fe_2O_3), pseudomagnetita e goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), e o espeleotema crosta branca é constituído por cristais de leucofosfita ($\text{KFe}_2(\text{PO}_4)_2\text{OH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Figura 11 b).

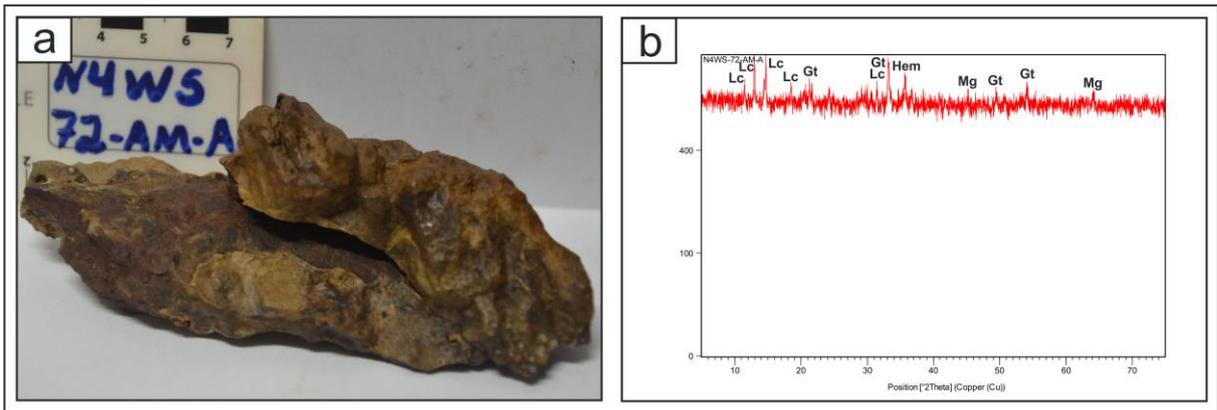


Figura 11: Imagem macroscópica e composição mineralógica da canga e do espeleotema crosta branca; a) Amostra de canga com aspecto brechoide, revestida por espeleotema crosta branca; b) Difratoograma correspondente à composição total da amostra de canga e do espeleotema (Hem: hematita, Gt: goethita, Mg: magnetita, Lc: leucofosfita).

Microscopicamente, a canga exibe aspecto brechoide, constituída por clastos de jaspilito (~1,5 mm), contendo cristais de pseudomagnetita (0,1 a 0,5 mm), os quais são angulosos, hexagonais e parcialmente martitizados, com bordas de hematita de coloração cinza esbranquiçado e centro de magnetita de coloração cinza azulado. A canga apresenta aspecto cavernoso a irregular, com microcavidades de dissolução formadas principalmente ao longo das laminações da rocha, onde ocorre microcanalículos interconectados, os quais são preenchidos parcialmente ou totalmente por massa amorfa de óxido/hidróxido de ferro, minerais neoformados de leucofosfita e, subordinadamente, oólitos (~0,1 mm) (Figura 12).

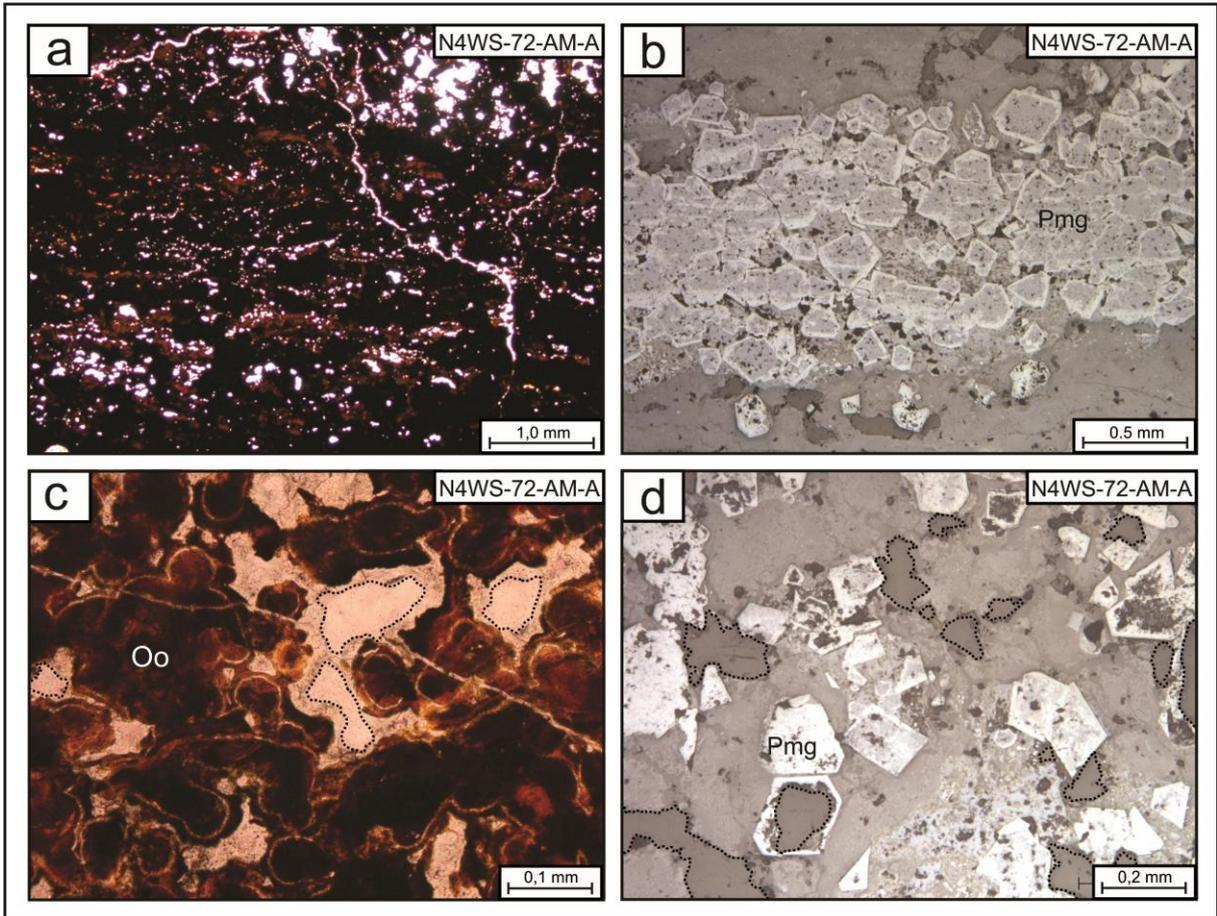


Figura 12: Fotomicrografia da amostra de Canga; a) Canga com laminações incipientes e formação de microcavidades de dissolução interconectadas por microcanalículos (luz transmitida, nicóis cruzados); b) Clasto de jaspilite constituído essencialmente por pseudomagnetita (luz refletida, natural); c) Oólitos preenchendo as microcavidades de dissolução e revestidos por leucofosfita, destacando-se as microcavidades de dissolução vazias (luz transmitida, natural); d) Cristais de pseudomagnetita com borda substituída por hematita, por vezes com inclusões de chert ou microcavidades de dissolução em destaque (luz refletida, natural) (Pmg: pseudomagnetita, Oo: Oólito).

Ao MEV, a canga apresenta material hematítico com textura granular e microcavidades de dissolução parcial ou totalmente preenchidas por cristais de pseudomagnetita (Figura 13).

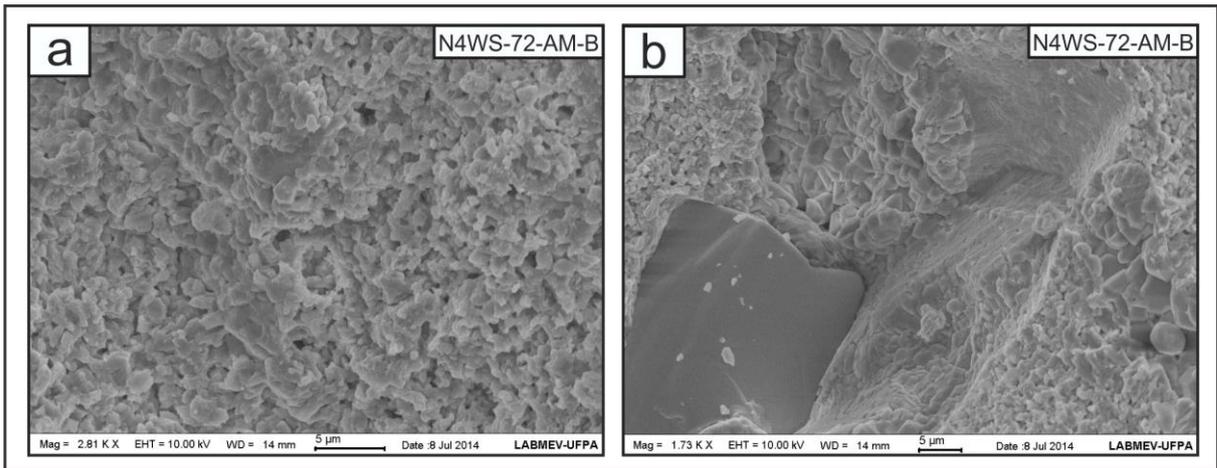


Figura 13: Imagens de MEV referente à canga; a) Material hematítico da canga com textura granular; b) Microcavidade preenchida por cristal de pseudomagnetita.

O espeleotema colorforme é caracterizado por sucessivas camadas milimétricas, intercaladas, de leucofosfita amorfa e leucofosfita de hábito fibroso/cristalino, apresenta coloração creme e birrefringência baixa a moderada, e ocorre preenchendo as microcavidades de dissolução (Figura 14).

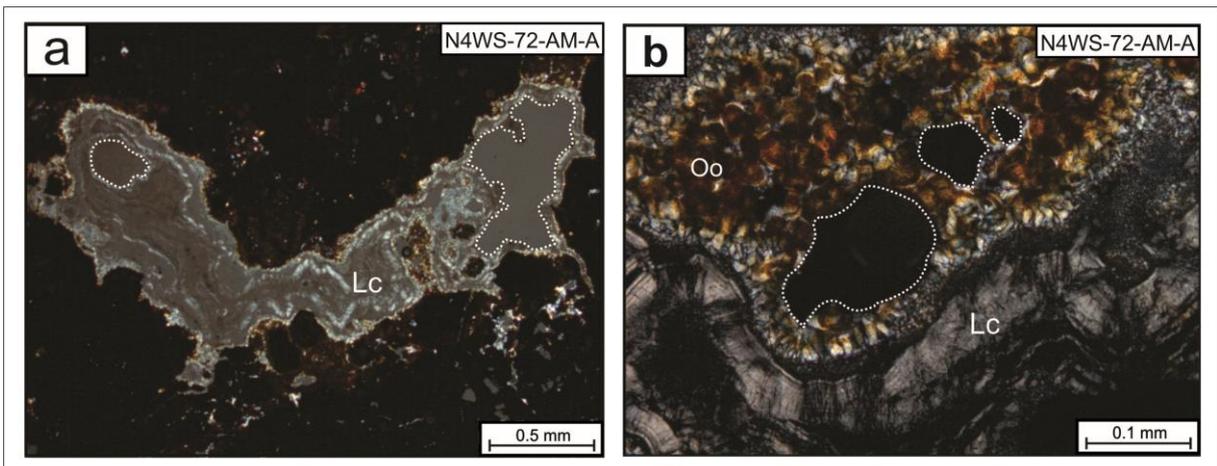


Figura 14: Fotomicrografias do espeleotema colorforme; a) Espeleotema colorforme preenchendo microcavidade de dissolução com aspecto cavernoso em destaque (luz transmitida, nicóis cruzados); b) Preenchimento de microcavidade em destaque, por cristais de leucofosfita e oólitos (luz transmitida, nicóis cruzados) (Lc: leucofosfita, Oo: oólito).

Ao MEV, o espeleotema colorforme apresenta cristais com hábito prismático e lamelar, quimicamente constituído por material fosfático (leucofosfita), confirmado por análise semi-quantitativa em EDS (Figura 15).

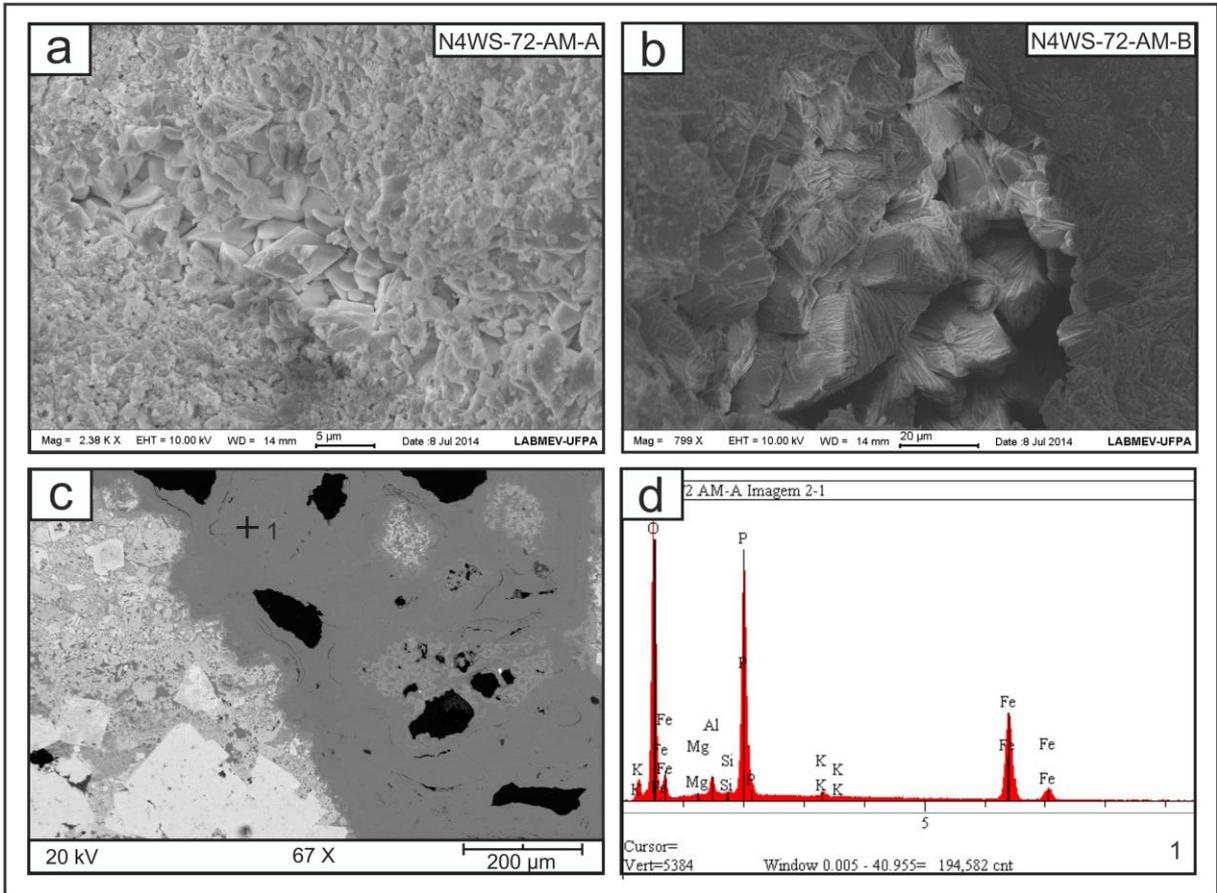


Figura 15: Imagens de MEV e composição química semi-quantitativa do espeleotema coliforme; a) Microcavidade preenchida por espeleotema coliforme formado por agregado de cristais de leucosfita com arranjo prismático (em fragmento); b) Microcavidade preenchida por espeleotema coliforme constituído por agregado de cristais de leucosfita com hábito lamelar (em fragmento); c) Imagem de MEV do espeleotema coliforme formado na microcavidade de dissolução e o ponto analisado quimicamente no MEV/EDS (lâmina polida); d) Gráfico de EDS da composição química do ponto 1 (leucosfita).

O espeleotema crosta branca ocorre sobre a canga laterítica, com espessura de, aproximadamente, 0,4 mm. Este espeleotema é caracterizado por cristais de leucosfita, com birrefringência baixa a moderada e textura coliforme, com laminações alternadas (Figura 16).

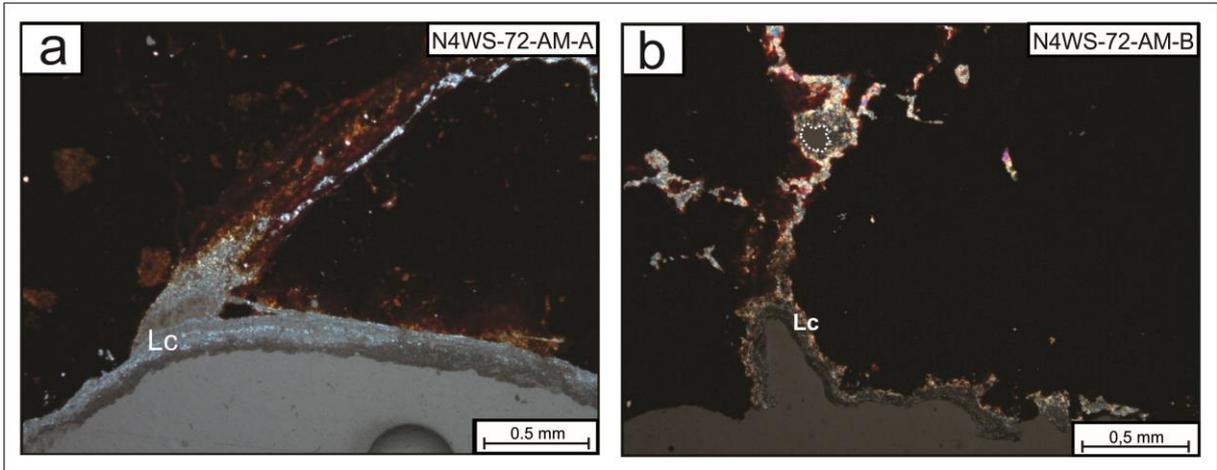


Figura 16: Fotomicrografias do espeleotema crosta branca; a) Canga revestida por leucofosfita colorida, caracterizando espeleotema crosta branca (luz transmitida, nicóis cruzados); b) Espeleotema crosta branca de leucofosfita com birrefringência moderada (Lc: Leucofosfita) (luz transmitida, nicóis cruzados).

Ao MEV, o espeleotema crosta branca é constituído por agregados cristalinos, com hábito lamelar a ligeiramente fibroso e quimicamente composto por material fosfático (leucofosfita), como comprovado em análise de EDS (Figura 17).

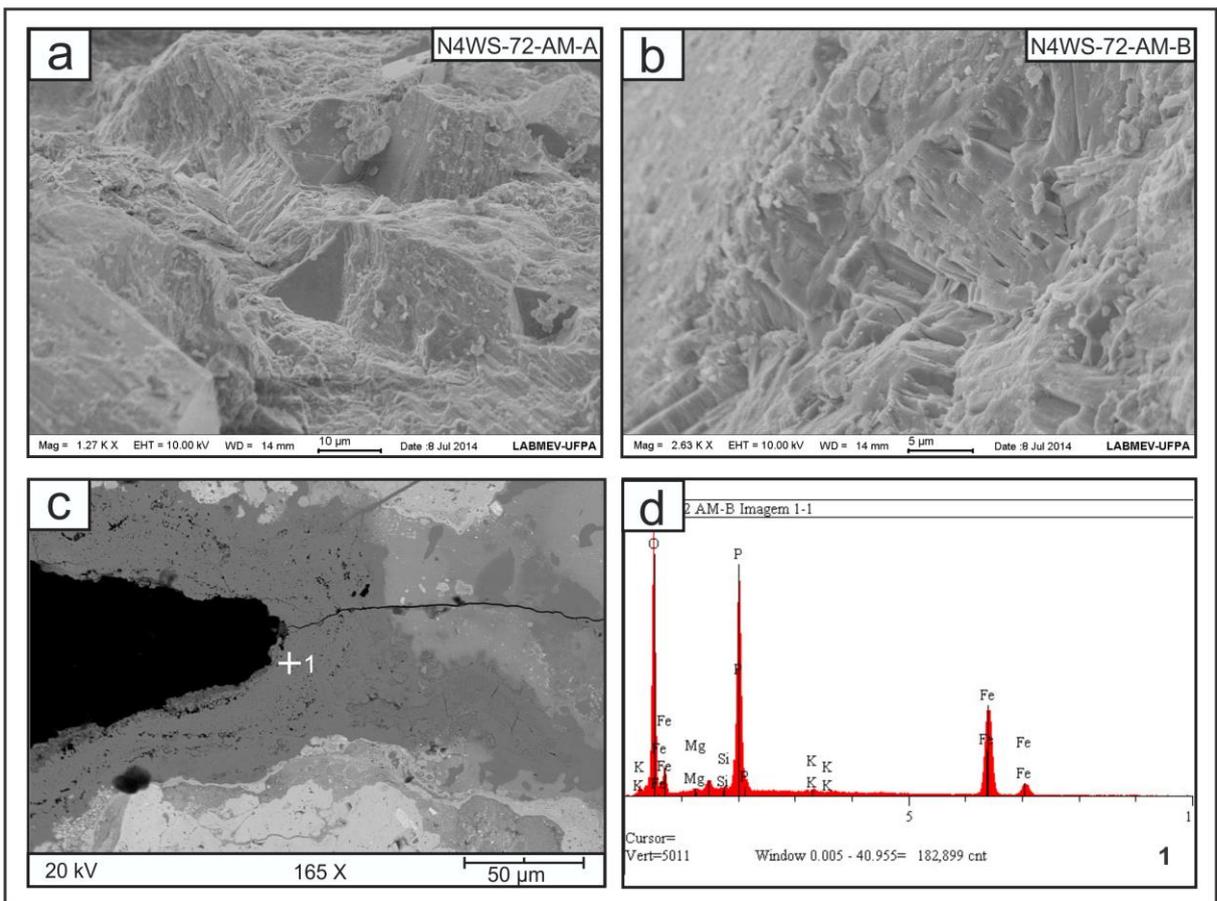


Figura 17: Imagens de MEV e EDS do espeleotema crosta branca; a) Espeleotema crosta branca com leucofosfita lamelar (em fragmento); b) Espeleotema crosta branca com leucofosfita lamelar a ligeiramente fibroso (em fragmento); c) MEV do espeleotema crosta branca com ponto quimicamente analisado (em lâmina polida); d) Composição química do espeleotema crosta branca de leucofosfita, representado pelo ponto 1.

4 DISCUSSÃO

Este trabalho possibilitou catalogar variados espeleotemas e fazer uma breve abordagem sobre sua geração.

Os espeleotemas aqui estudados, jaspilito espeleotema-coralóide e canga espeleotema-coloforme-crosta branca, ocorrem no jaspilito e na interface canga/jaspilito, nos quais surgiram zonas altamente porosas e permeáveis, resultantes da ação conjunta de soluções percolantes ricas em Fe, Si, Al e P, e fluxos laterais de águas subterrâneas. Os processos de dissolução seguida por precipitação geraram espeleotemas constituídos de óxido-hidróxidos de ferro, fosfatos e sulfatos de Fe e Al (MAURITY, 1995).

No caso do jaspilito espeleotema-coralóide, os planos de bandamento da formação ferrífera bandada (FFB), falhas e fraturas, ocasionaram a geração das microcavidades de dissolução, com efetivo acréscimo da porosidade e permeabilidade no pacote rochoso, o que promoveu a ação mecânica da água, com remoção e migração de finas partículas sólidas, como produto da progressiva dissolução dos principais constituintes minerais da formação ferrífera (AULER; ZOGBI, 2011; MAURITY, 1995). A alternância de períodos de saturação e de estagnação da água, com períodos de percolação livre, controlado por mudanças climáticas sazonais da dinâmica climática, desempenhou papel relevante na destruição dos minerais, sobretudo dos ferrosos, devido às variações nas condições de oxidação do meio laterítico (MAURITY, 1995).

Sendo assim, o espeleotema coralóide advém de material autogênico, representado por sílica amorfa, minerais de goethita, hematita e alunita, bem como fragmentos de jaspilito, os quais são gerados pela degradação da própria formação ferrífera. A fonte do enxofre dos sulfatos (alunita) pode estar atrelada aos sulfetos disseminados nas rochas encaixantes das cavidades, uma vez que os sulfetos ao sofrerem oxidação em condições intempéricas, o enxofre é liberado na forma de sulfatos a se combinar com outros elementos (MAURITY, 1995).

A canga espeleotema-coloforme-crosta branca são depósitos essencialmente alogênicos, admitindo-se origem coprogênica, como o principal fornecedor de fósforo para a formação de compostos químicos fosfáticos, haja vista que a crosta residual sobre a formação ferrífera e os xistos vulcânicos da Serra Norte apresenta teores de P_2O_5 que dificilmente ultrapassam 1% em peso (BEISIEGEL, 1982; COELHO, 1986; KRONBERG *et al.*, 1982; SOUZA; 1993). Ademais, a adsorção de fósforo iônico por goethita é igualmente possível, porém certamente

inexpressiva. Acredita-se que, embora apresente teores mensuráveis de fósforo, o meio laterítico dificilmente pode ser considerado como fonte de fosfatos dos espeleotemas. Deste modo os expressivos depósitos de guano de morcego no interior das cavidades, sugerem forte relação genética com os espeleotemas fosfáticos, que por meio da lixiviação do guano pela água de percolação, o nitrogênio é parcial ou inteiramente eliminado junto com os elementos mais solúveis, permanecendo apenas o fósforo, combinando-se em diversas proporções com íons hidroxila e outros elementos (HILL; FORTI, 1986).

Na Unidade Geomorfológica Serra Norte – Carajás, o processo de formação de espeleotemas depende da interação do fluxo de ar, soluções percolantes e incidência de luz, sendo os espeleotemas, aqui estudados, geralmente presentes na transição entre a zona externa e a zona interna, onde ainda há incidência indireta de luz e fluxo de ar (PILÓ; AULER, 2009).

A presença de oólitos nas rochas demonstra que as mesmas sofreram processos pedogenéticos, em decorrência da exposição subaérea da formação ferrífera, restrita às porções mais altas dos platôs (MAURITY, 1995).

Os dados petrográficos e de DRX e MEV/EDS demonstraram uma grande diversidade de minerais como componentes dos espeleotemas, tais como: óxido-hidróxidos de ferro do tipo hematita e goethita; fosfatos com presença de leucofosfita; e alunita como sulfato.

5 CONCLUSÃO

Os estudos dos espeleotemas jaspilítico espeleotema-coralóide e canga espeleotema-coloforme-crosta branca, por meio de análises de petrografia convencional, DRX e MEV/EDS, permitiram tecer considerações a cerca da gênese e evolução destes depósitos:

- ✓ No caso do jaspilítico espeleotema-coralóide, constituído por sílica amorfa, minerais de goethita, hematita e alunita, bem como fragmentos de jaspilítico, foi gerado pela degradação da própria formação ferrífera, por meio da ação química de soluções fluidas nos planos de bandamento do jaspilítico, falhas e fraturas;
- ✓ O espeleotema canga espeleotema coloforme-crosta branca é constituído por cristais de leucofosfita, admitindo-se origem coprogênica, com o guano de morcego, como a principal fonte de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU S. S. Petrografia de formações ferríferas associadas às cavernas da Serra Norte, na Unidade Espeleológica de Carajás PA. Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA, Marabá, 2014.

AULER, A.; ZOGBI, A. Espeleologia: noções básicas. 2ª ed. São Paulo, Redespeleo Brasil, 2011. p. 11-34.

AULER, A. S.; COELHO, A. Diagnóstico Geoespeleológico e Biológico e Análise de Relevância. Belo Horizonte, CARTE-VALE, 2012. p. 47-119.

AULER, A.S; PILÓ, L. B. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. O Carste. 2005. 17(3): 70-72.

ARAÚJO, O. J. B.; MAIA, R. G. N. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Serra dos Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Brasília, DNPM/CPRM, 1991.p.136.

BARBIERI, A. J. Depósitos Minerais Secundários das Cavernas Santana, Pérolas e Lage Branca, Município de Iporanga – São Paulo. Dissertação (Mestrado) São Paulo: IGC-USP, 1993.

BARBOSA, J. P. O. Petrologia e estrutura de rochas granitoides da região do Salobo, Serra dos Carajás, Estado do Pará, Brasil. Dissertação de Mestrado, UFPA, Belém, 2005. p. 98.

BARROS, C. E. M.; MACAMBIRA, M. J. B.; BARBEY, P.; SCHELLER, T. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações Petrológicas e Tectônicas. *Bol. Museu Paraense Emilio Goeldi*, 2004. p. 531-533.

BARROS, C. E. M. Evolução petrográfica e estrutural do gnaiss estrela, Curinópolis, Pará, Belém. Universidade Federal do Pará, (Tese de mestrado). Centro de Geociências, 1991. p. 134.

BEISIEGEL, V.R. Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA,1., Anais, Belém, SBG. 1982. p.21-46.

BOAVENTURA, R. S. “Geomorfologia da Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins”. In: Projeto RADAM (DNPM), vol. 4: “Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC. 22 Tocantins”. Rio de Janeiro, PIN. 1974.

CABRAL E. S. Petrografia de formações ferríferas (BIF's) associadas a cavernas da Serra Sul (Serra dos Carajás – PA). Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA, Marabá, 2014.

COELHO, C. E. S. Depósito de ferro da Serra dos Carajás. Brasília, DNPM. 1986. V.2, p.29-64.

CORDANI, U. G.; SATO K. *Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. Episodes*, v. 22, p. 167-173, 1999.

COSTA, J. B. S.; ARAUJO, O. J. B.; SANOS, A.; JORGE JOÃO, X. S.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi – Série Ciências da Terra*. 1995. 7: p.199-235.

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da província mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. *Anais*. Belém, SBG.p.11-56.

FERREIRA FILHO, C. F. Geologia e mineralizações sulfetadas do prospecto Bahia, Província Mineral de Carajás. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. 1985. p. 112.

GIBERT, J.; DANIELPOL, D.L.; STANFORD, J.A. *Groundwater Ecology*. New York: Academic Press, 1994. 571p.

GINÉS, A.; J. GINÉS. Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Apuntes históricos y espeleogenéticos*. Endins, 1992. 17/18, 5-20.

HILL, C.A., FORTI, P. *Cave Minerals of the World*, first edition: Huntsville, Ala., National Speleological Society, 1986. 238 p.

KOTSCHOUBEY, B.; LEMOS, V. P. considerações sobre a origem e gênese das bauxitas da Serra dos Carajás. In *Simp. Geol. Amaz.*, 1, Belém. 1995. *Anais*. Belém, SBG/NO. V. 3, 48-61.

KRONBERG, B. I.; FYFE, W. S.; McKINNON, B. J.; COUNSTON, J. F.; STILIANIDI FILHO, B.; NASH, R. A. Model for bauxite formation: Paragominas (Brazil). *Chem. Geol.* 1982. 35(3/4): 311-320.

LINDENMAYER, Z. G.; FYFE, W. S.; BOCALON, V. L. S. Nota Preliminar sobre as Intrusões Granitoides do Deposito de Cobre do Salobo, Carajás. *Acta Geol. Leopold.* 1994. 40(XVII):153-184.

MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1995. v. 7, p. 263-288.

MACAMBIRA J.B.; SCHRANK A. Químio-estratigrafia e Evolução dos Jaspilitos da Formação Carajás (Pa). *Revista Brasileira de Geociências*, 2002. 32(4):567-578.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.; KROGH, T. E.; LINDENMAYER, D. U-Pb geochronology of Archaean magmatism and basement reactivation in the Carajas area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 1991. v. 49, p. 329-354.

MAURITY, C. W. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 Serra dos Carajás. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1995. 95p. Tese mestrado em geoquímica.UFPA. 1995.

MAURITY, C. W.; KOTSCHOUBEY, B. Evolução Recente da Cobertura de Alteração no Platô NI – Serra dos Carajás – PA. Belém: Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi, série ciências da Terra, 1995. P. 331-362.

NOGUEIRA, A. C. R.; TRUNCKENBRODT, W.; PINHEIRO, R. V. L. Formação Águas Claras, Pré-cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1995. v. 7, p. 177-197.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. 2007. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633–1644. ISSN.

PIDGEON, R. T.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajas Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, 2000. v. 166, p. 159-171.

PILÓ, L. B.; AULER, A. Geoespeleologia das cavernas em rochas ferríferas da Região de Carajás, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30, 2009, Montes Claros. Anais... Montes Claros, MG: SBE/Grucav/Unimontes, 2009.

PINHEIRO, R. V. L.; HOLDSWORTH, R. E. Significado Tectônico da Clivagem Transversa (*Transecting Cleavage*) em Dobras na Mina de Serra Pelada, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7:289-308. Meirelles, M.R. & Dardenne, M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás-Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 1997. 21:41-50.

SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A. "A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology." *Gondwana Research*. (2000). 2000. 3(4): 453-488.

SARDINHA, A.S., BARROS, C.E.M., KRYMSKY, R. Geology, Geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajas Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 2006. 20, 327-339.

SCHWARS, M. R. Depósito de cobre e zinco do Pojuca Corpo Quatro, mineralização do tipo VMS na Província Mineral de Carajás. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. p. 6 – 36.

SILVA, M. F. F.; MENEZES, N. L.; CAVALCANTE, P. B.; JOLY, C. Estudos botânicos: histórico, atualidade e perspectivas. In: Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense; Brasília: CNPq. 1986. p. 184-207.

SOUZA, C. I. J. Estudo da cobertura laterítica ferro-aluminosa da aba norte da Serra dos Carajás (Pará). Belém, Universidade Federal do Pará. Tese (Mestrado em Geociências) Centro de Geociências. 1993. 152 p.

SOUZA, Z. S.; PROTEL, A.; LAFON, J. M.; ALTHOFF, F. J.; PIMENTEL, M. M.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, C. G. Nd, Pb and isotopes in the Identidade Belt, na Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajas Province, Brazil): implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precam. Res.*, 2001. 109:293-315.

TASSINARI, C. C. B; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 1999. v.22, p. 174-182.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida*. V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro and B. B. d. Brito Neves. São Paulo, BECA: 2004. P.471-486.

TEIXEIRA, W., TASSINARI, C. C. G. "A Review of the Geochronology of the Amazonian Craton - Tectonic Implications." *Precambrian Research*. 1989. 42(3-4): 213-227.

WHITE, W. B. Cave minerals and speleotems. In: FORD, T. D.; CULLINFOR, C. H. D. (eds). *The science of Speleology*. London, Academic Press, 1976. cap. 8. p.

WHITE, W.B.; CULVER, D.C. *Encyclopedia of caves*: San Diego, Elsevier/Academic Press, 2005. p. 696.

WINTER, C. Geology and base-metal mineralization associated with Archaean ironformation in the Pojuca Corpo Quatro Deposit, Carajas, Brazil. Tese de Doutorado, University of Southampton, 1994. p.300.