



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

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

RIOS, F.R.; SANTOS JÚNIOR, A.E.A.. Petrografia e caracterização de espeleotemas no testemunho de sondagem N4WS-1495 em Formações Ferríferas Bandadas, Serra Norte, província mineral de Carajás-PA. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. *Anais...* Campinas: SBE, 2015. p.603-614. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_603-614.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

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

PETROGRAFIA E CARACTERIZAÇÃO DE ESPELEOTEMAS NO TESTEMUNHO DE SONDAGEM N4WS-1495 EM FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS, SERRA NORTE, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS-PA

PETROGRAPHY AND CHARACTERIZATION OF SPELEOTHEMS IN N4WS-1495 DRILL CORE
TROUGH BANDED IRON FORMATIONS, SERRA NORTE, CARAJÁS MINERAL PROVINCE-PA

Fernando Rodrigues RIOS (1); Antônio Emídio de Araújo SANTOS JÚNIOR (2)

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

(2) Geólogo, Professor Dr. Adjunto da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá/PA P.

Contatos: fernandor.rios@hotmail.com; emidiosantos@unifesspa.edu.br.

Resumo

A Província Mineral de Carajás contém cavidades geradas sobre jaspilito, canga laterítica e rochas associadas, iniciando-se em escala microscópica devido às condições físico-químicas impostas ao ambiente, gerando assim mesocavidades interconectadas que posteriormente passam por desabamentos e precipitações químicas, originando formas cristalinas complexas denominadas espeleotemas. Estudos de mesocavidades e espeleotemas em testemunho de sondagem sobre condições de subsuperfície são inexistentes, o que tem impedido uma abordagem mais ampla no entendimento de cavidades e espeleotemas nestas condições. Deste modo, este trabalho enfocou a caracterização e o estudo petrográfico de espeleotemas ao longo de mesocavidades formadas em subsuperfície, de 440 m até 600 m, levando-se em consideração parâmetros: geológicos, mineralógicos e petrográficos. Os métodos utilizados foram essencialmente a Microscopia Óptica e Difração de Raios-X (DRX) visando o levantamento de subsídios para uma melhor compreensão sobre a mineralogia e aspectos texturais dos coraloídes existentes no furo de sondagem N4WS-1495.

Palavras-Chave: Espeleotema coraloide; Carajás; mesocavidades.

Abstract

Carajás Mineral Province contains caves generated on jaspilite lateritic yoke and associated rocks, beginning on a microscopic scale by successive physicochemical conditions generating interconnected meso-caves subsequently suffer landslides and chemical precipitation, resulting in complex crystal forms called speleothems. Meso-caves studies and speleothems in drill core on subsurface conditions are scarce, which has prevented a broader approach to understanding of caves and speleothems in these conditions. Thus, this work focuses on the characterization and petrographic study of speleothems along meso-caves formed in the subsurface, 440 m to 600 m, taking into account parameters: geological, mineralogical and petrographic by Optical Microscopy and Diffraction rays -X (XRD) in order to provide a better understanding of the mineralogy and textural aspects of coralloides in N4WS-1495 borehole.

Key-words: *Speleothem coralloid; Carajás; meso-caves.*

1. INTRODUÇÃO

Estudos de cavidades e espeleotemas em Formações Ferríferas Bandadas (FFB) têm sido alvo de intensas investigações científicas visando a definição de seus processos de origem e evolução (LINO & ALLIEVI, 1980; LINO, 1989; SBE, 1989; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995; AULER, 1997; PILÓ, 1999; AULER & PILÓ, 2005; PILÓ & AULER, 2005; AULER *et al.*, 2011). As FFB da Província Mineral de Carajás detêm milhares de cavidades e variados espeleotemas (MACAMBIRA

et al., 1990). Recentemente, diversos trabalhos foram realizados em cavidades que afloram ao longo de jaspilitos e canga laterítica da Serra Norte de Carajás. A origem e evolução destas formações têm sido atribuídas a processos intempéricos de dissolução dos bandamentos composicionais de ferro e sílica, gerando microcavidades/mesocavidades, que interconectam-se e, que por colapso desabam, dando origem a cavidades que permitem a percolação de fluidos responsáveis pela formação dos espeleotemas (ABREU, 2014; GOMES, 2014; ROSA, 2014).

O registro de mesocavidades e espeleotemas no furo de sondagem N4WS-1495, levaram a hipótese de que parâmetros geológicos endógenos poderiam ter influenciado na formação destas feições cavernosas. Deste modo, este trabalho consistiu na caracterização dos espeleotemas utilizando as análises petrográficas, mineralógicas e texturais destas feições e da rocha em que se desenvolveram, no caso os jaspilitos, em mesocavidades que ocorrem em profundidades superiores a 440 metros.

1.1 Contexto geológico

A área em que encontra-se o furo de sondagem N4WS-1495, localiza-se no município de Parauapebas, Estado do Pará. Situa-se na região de Carajás, Serra Norte, corpo N4, precisamente na porção sul do Platô N4W, e insere-se no contexto da Bacia Carajás (Figura 1).

A Bacia Carajás, de idade Arqueana, apresenta como embasamento as rochas dos Complexos Pium e Xingu, as quais são sobrepostas pelas formações Parauapebas, Carajás, Igarapé Cigarra, Igarapé Boa Sorte, pertencentes ao Grupo Grão Pará (MACAMBIRA, 2003).

A Formação Carajás (2740 ± 8 e 2757 ± 18 Ma), objeto de estudo, corresponde aos depósitos de jaspilitos e minério de ferro associados, interceptados por diques e *sills* de rocha básica. Os jaspilitos são caracterizados por bandamento composicional alternado de lâminas milimétricas a centimétricas de óxidos de ferro e jaspe e/ou *chert*, com carbonatos subordinados, além do minério de ferro associado (ARAUJO & MAIA, 1991; TRENDALL *et al.*, 1998; MACAMBIRA *et al.*, 1996; KRYMSKY *et al.*, 2002). O topo da Formação Carajás é marcado por cobertura laterítica ou canga laterítica oriunda de processos de alteração *in situ* exibindo feições pseudocársticas relacionadas a formação de cavidades e espeleotemas (KOTSCHOUBEY & LEMOS, 1985; SOUZA & KOTSCHOUBEY, 1991; SOUZA, 1993; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995).

2. METODOLOGIA

Este trabalho consistiu na análise petrográfica de catorze amostras do testemunho de sondagem N4WS-1495 no intervalo de 440 a 559,4m, este, possui em sua totalidade, 563,9 metros de profundidade. Estas amostras foram submetidas a

análises petrográficas de Microscópio Convencional e análises de Difrações de Raios-X (DRX).

Previamente, as amostras de jaspilitos e espeleotemas foram analisadas macroscopicamente verificando os aspectos texturais e suas relações cogenéticas (Quadro 1).

A análise microscópica foi realizada com auxílio do microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida em seções polidas, no Laboratório de Petrografia do Instituto de Geologia e Engenharias da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (IGE-UNIFESSPA). Seções polidas permitiram a caracterização de feições texturais/estruturais de mesocavidades de dissolução contendo substituição e neoformações mineralógicas.

As análises por Difratomia de Raios-X (DR-X) foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios-X do IG-UFGA e consistiram em análises de amostras totais através do método do pó, pulverizando as amostras em gral de ágata até atingir a granulometria argila. As análises foram obtidas em um difratômetro de modelo X'PERT PROMPD (PW 3040/60) PANalytical, com Goniômetro PW3050/60(θ - θ), e tubo de raios-X cerâmico de ânodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00, foco fino longo, filtro $K\beta$ de Ni, detector do tipo RTMS *X'Cellerator (Real Time Multiple Scanning)*, modo *scanning* e com *activelength 2,122°*. A interpretação de dados foi feita com o *software X'Pert Data Collector*, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o *software X'Pert High Score* versão 2.1b, também da PANalytical. A preparação deste procedimento auxiliou na comprovação e determinação das fases mineralógicas constituintes dos espeleotemas e jaspilito.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização do testemunho de sondagem N4WS-1495

O testemunho de sondagem N4WS-1495 compreende 563,9 metros de profundidade e constitui-se, principalmente, por jaspilitos, ocorrendo rochas ígneas máficas seccionando as BIF's. As correlações entre os litotipos distintos e a posição no perfil da ocorrência de espeleotemas podem ser visualizadas na figura a seguir. (Figura 2).

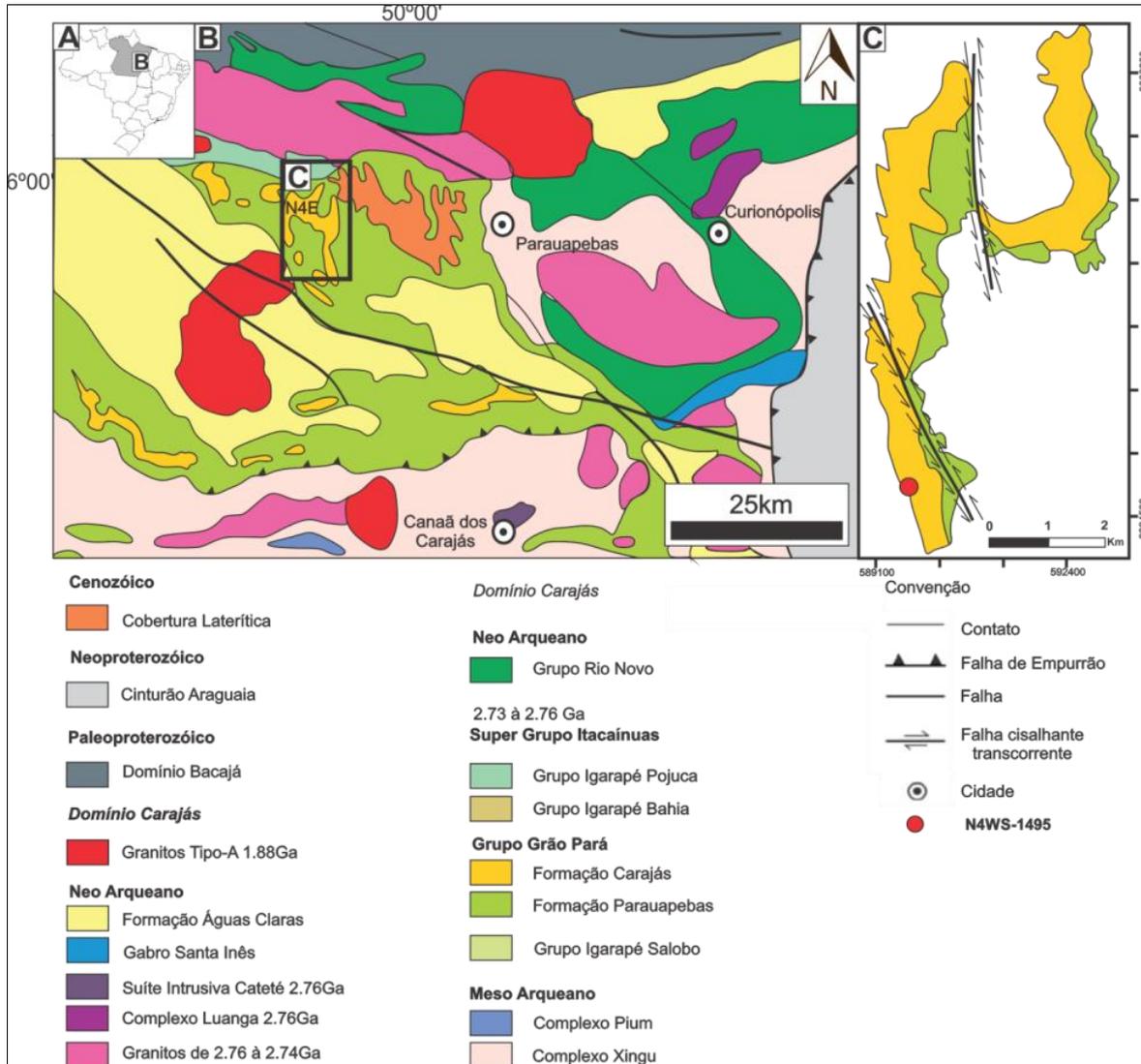


Figura 1 – A - Mapa do Brasil; B – Mapa geológico do Domínio Carajás (Modificado de Vasquez et al.,2008). C – Mapa Geológico do Platô N4 e a localização do furo de sondagem N4WS-1495.

Quadro 1 - Identificação, profundidade, aspectos litológicos e métodos utilizados nas respectivas amostras

Nome da Amostra	Profundidade (m)	Litotipo/Espeleotema	Método utilizado
N4WS-36	440	Jaspilito /Coralóide	Lâmina polida /DRX
N4WS-41	490,1		
N4WS-42	493,2		
N4WS-43	497		
N4WS-44	498,1		
N4WS-45	502,3		
N4WS-46	506,6		
N4WS-47	511,5		
N4WS-48	519,8		
N4WS-49	529,9		
N4WS-50	537		
N4WS-51	545,2		
N4WS-52	550,6		
N4WS-53	559,4		

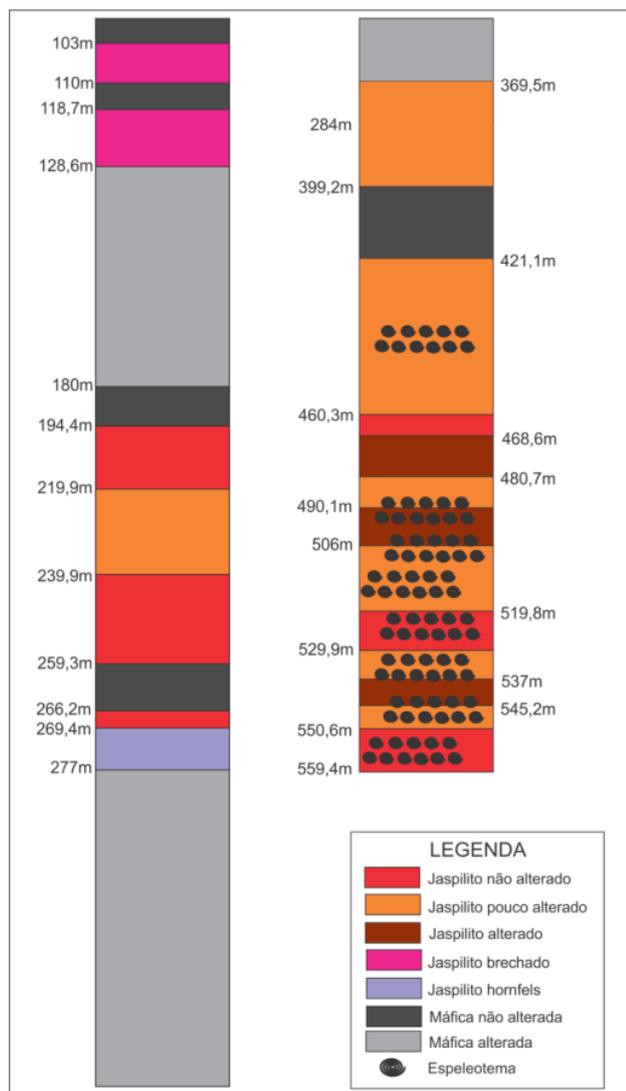


Figura 2 – Perfil litoestratigráfico do furo de sondagem N4WS-1495.

3.2 Petrografia

Em nível de amostra de mão foi permitida a caracterização principalmente dos processos intempéricos e das feições rúpteis que atuaram no jaspilito e a distinção dos espeleotemas tipo coraloide. Observaram-se sinais de formação de novos minerais e pequenas cavidades de dissolução desenvolvidas principalmente nas bandas de minerais silicosos. Foi notado que os espeleotemas tipo coraloide se desenvolveram tanto em cavidades de dissolução quanto ao longo fraturas e falhas de dissolução.

Foi possível analisar fatores intrínsecos à ação do intemperismo em profundidade, como as diversas feições rúpteis, falhas e fraturas, existentes. O acamamento primário do jaspilito independente do estágio de alteração permaneceu “preservado”, no entanto, algumas amostras apresentam aspecto brechado.

Os espeleotemas tipo coraloide são originados tanto em fraturas/ falhas de dissolução (Figura 3a) quanto em cavidades de dissolução (Figura 3b), são caracterizados em duas porções: base e espeleotema, no qual, o contato entre estas feições é abrupto e irregular. A base compreende jaspilitos pouco alterados a alterados. Sobreposto ocorre o espeleotema, cinza escuro a marrom acinzentado, brilho metálico, hábito botrioidal, por vezes alongado e com espessura média de aproximadamente 0,5 cm.

As bandas de minerais opacos são constituídas de hematita, magnetita e maghemita. Três tipos de hematitas foram identificadas: Hematita 1-3. A Hematita 1 é caracterizada por massa criptocristalina, coloração branca acinzentada, bi-reflectância fraca e anisotropia cinza-azulado a branco acinzentado, sendo a forma mais comum nas bandas de óxidos de ferro, podendo ocorrer como finas lâminas e lentes na banda silicosa (Figura 4a e 4b). A Hematita 2 é caracterizada por cristais prismáticos, coloração branca acinzentada, bi-reflectância fraca e anisotropia cinza-azulado a branco acinzentado. Este mineral ocorre substituindo a magnetita nas bordas ou completamente (Figura 4b). A hematita 3 representa cristais alongados, hábito placóide, ocorrendo preferencialmente em mesocavidades, fraturas de dissolução ou substituindo a goethita em suas bordas (Figura 4d). A magnetita é caracterizada por coloração marrom rosado, sem bi-reflectância e isotrópica, ocorre preferencialmente como cristais eudrais de forma isolada e/ou paralela ao bandamento, formando lentes, lâminas ou aglomerados imersos nas bandas de hematita (Figura 4c). Os cristais de magnetita são frequentemente substituídos por maghemita no centro e/ou hematita 2 nas bordas. Internamente as magnetitas podem conter inclusões de *chert*, por vezes dissolvidos, gerando microcavidades (Figura 4b). Finos cristais de sílica em *pent* podem ocorrer coroados a magnetita (Figura 4c). Cristais isolados de pirita ocorrem nas bandas silicosas, opacos e disseminadas em fraturas (Figura 4d).

As bandas silicosas são constituídas principalmente por jaspe e, subordinadamente, *chert*, onde comumente são observadas estruturas microesféricas, denominadas esferulitos (Figura 5a). O Jaspe é caracterizado por coloração marrom claro avermelhada, ocorrendo como lâminas e lentes na banda de opaco. O *chert*, sílica criptocristalina, apresenta coloração marrom claro a escuro, ocorrendo geralmente no centro da banda silicosa na forma de lentes com ou sem continuidade lateral

(Figura 5a). Observa-se a presença marcante de cavidades, anteriormente classificadas como arredondadas (Figura 5a) e alinhadas (Figura 5b) (ABREU, 2014).

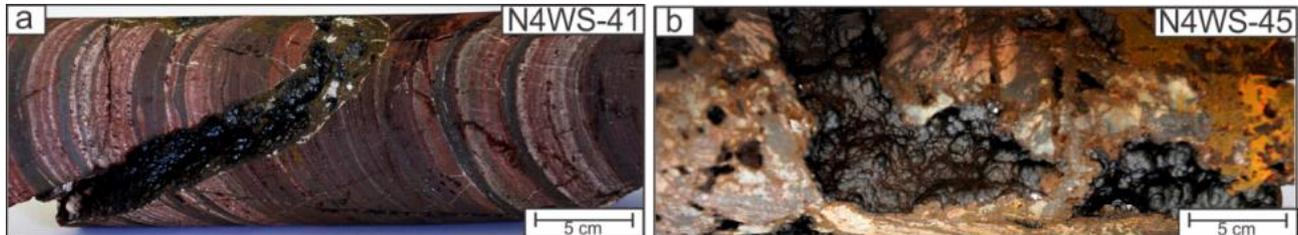


Figura 3 - Feições macroscópicas do espeleotema coraloide: base e espeleotema. **a)** Coraloide em falha/fratura de dissolução, contato abrupto com a base. **b)** Espeleotemas em cavidades de dissolução, contato irregular com a base.

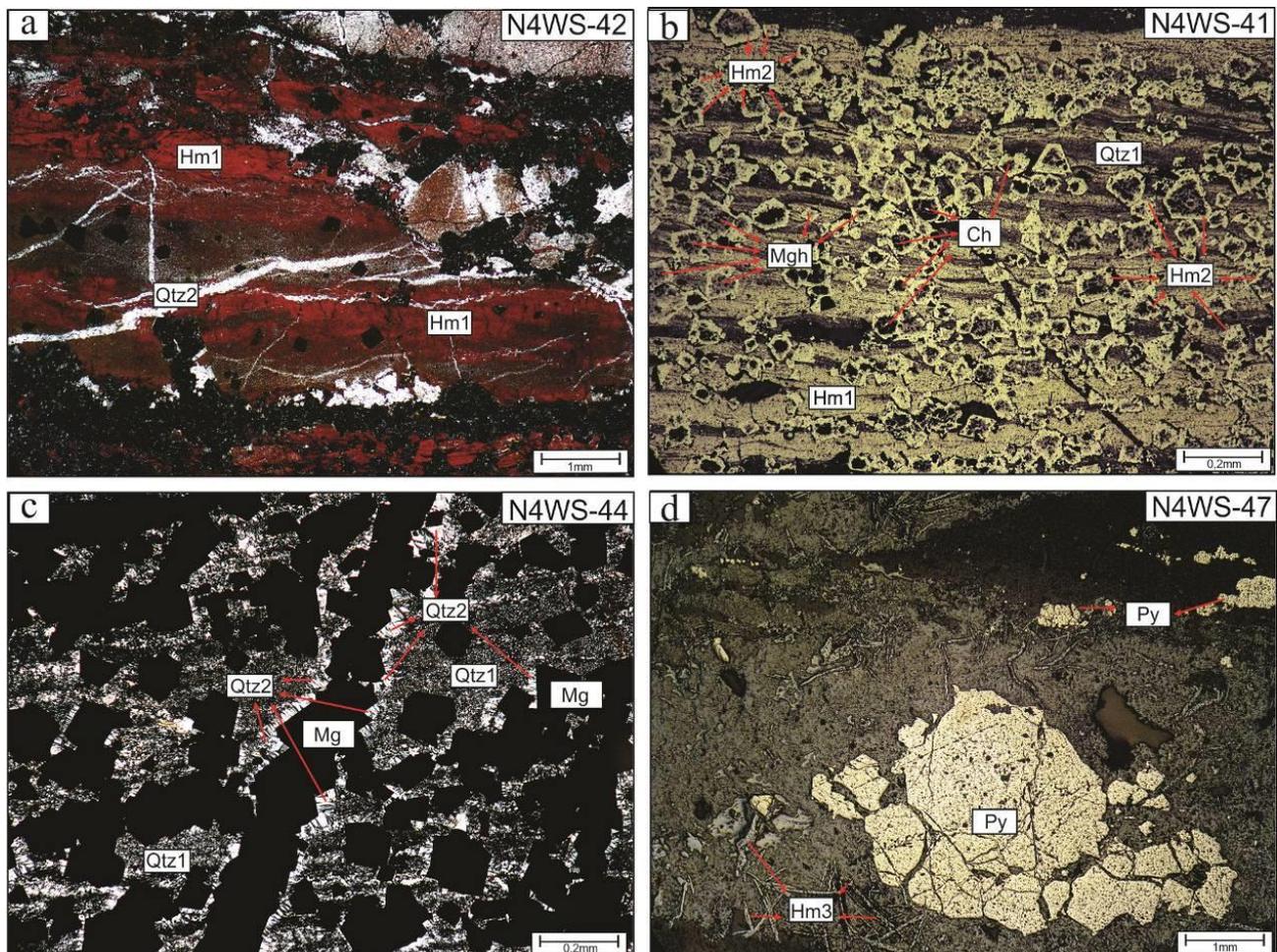


Figura 4 - Aspectos microscópicos representativos dos jaspilites. **a)** (5x) Sob luz refletida e nicóis cruzados - falhas e fraturas, seccionando o bandamento original, preenchidas por quartzo microcristalino (Qtz2), a hematita 1 (Hm1) corresponde a uma massa criptocristalina de cor avermelhada, mineral mais abundante nas bandas de opacos; **b)** (20x) Sob luz refletida e natural - hematita 2 (Hm2) e a maghemita (Mgh) no centro. Inclusões de chert (Ch) nos cristais de magnetita, quartzo criptocristalino (Qtz1). **c)** (20x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados - estrutura em pente ao redor dos cristais de magnetita (Mg). **d)** (5x) Sob luz refletida e natural - Pirita (Py) e hematita 3 (Hm3).

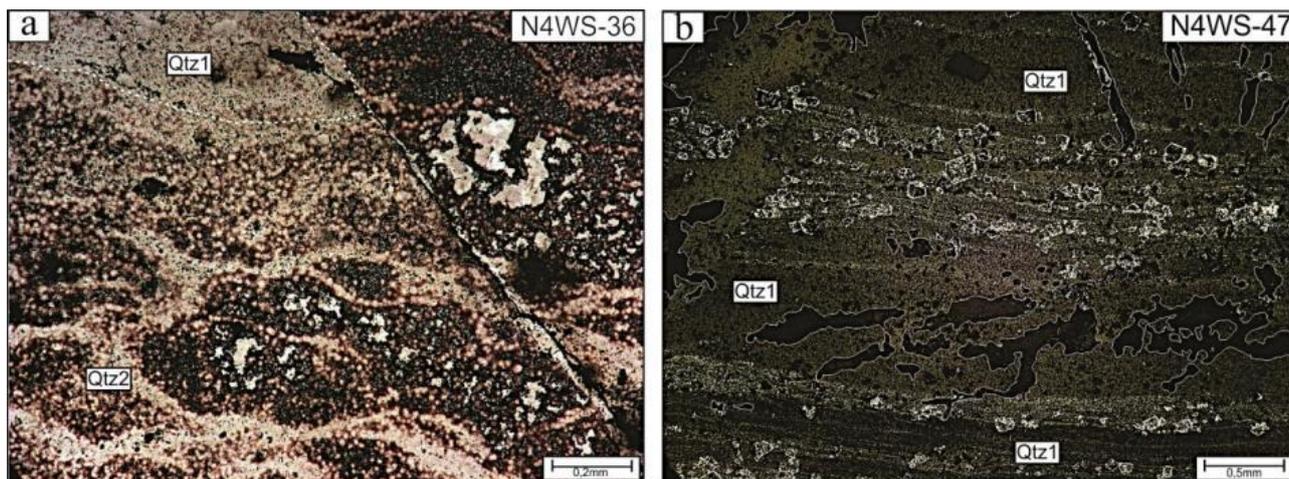


Figura 5 - Aspectos microscópicos representativos dos jaspilites. **a)** (20x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados - Esferulitos formados em banda de jaspe (Qtz2), acima o contato com o chert (Qtz1). Notar a presença de cavidades de aspecto arredondado. **b)** (10x) Sob luz refletida e natural – Cavidades alongadas originadas em bandas de chert (Qtz1).

3.3 Análise microscópica dos espeleotemas

Os espeleotemas tipo coraloide são constituídos de goethita, ocorrem preenchendo microcavidades e fendas de dissolução parcialmente ou totalmente. Demonstram hábito coliforme, coloração alaranjada a avermelhada, sob luz natural e nicóis cruzados (Figuras 6c e 6e). Sob luz refletida e natural a goethita possui coloração cinza-azulado, anisotropia cinza-azulada a cinza esbranquiçada (Figuras 6b e 6d). Por vezes ocorre substituição da goethita pela hematita (Figura 6b).

As microfraturas e falhas se dispõem em diversas direções e sentidos, perpendiculares a subparalelas às laminações das BIF. Estas feições rúpteis proporcionam também o desenvolvimento de microcavidades e seu posterior preenchimento por estas (Figuras 6a e 6b). O crescimento dos espeleotemas pode se dá, em relação a sua base - jaspilito - através das mais variadas formas: paralelo a laminação (Figura 7b), perpendicular a laminação e oblíqua a laminação da rocha (Figura 7a).

As microcavidades exibem aspecto cavernoso a irregular ao longo de falhas e fraturas. Os

espeleotemas podem se desenvolver ao longo das laminações da rocha e apresentarem-se interconectados por microcanalículos. Em porções de aspecto brechado podem ocorrer a formação de espeleotemas (Figuras 7e e 7f).

O coraloide, sob luz natural e nicóis cruzados, exibe um padrão concêntrico (Figuras 6c, 6e, 7e e 7f), dado pela alternância na concentração de ferro e sílica. Sob luz refletida e nicóis cruzados, esse espeleotema abrange colorações azuladas a amareladas (Figuras 6f e 7a).

A presença de hematita 3 ocorre pontualmente. O Coraloide constitui-se essencialmente por goethita, contudo, cristais bem formados de hematita 3, de granulometria fina a muito fina com forma de cristais alongados de hábito placóide (Figuras 7c e 7d).

A análise do material por DRX indicou a presença de goethita, sem alumínio em sua estrutura, e quartzo em proporções aparentemente semelhantes (Figura 8). Além de goethita, hematita e quartzo em proporções variáveis (Figura 9).

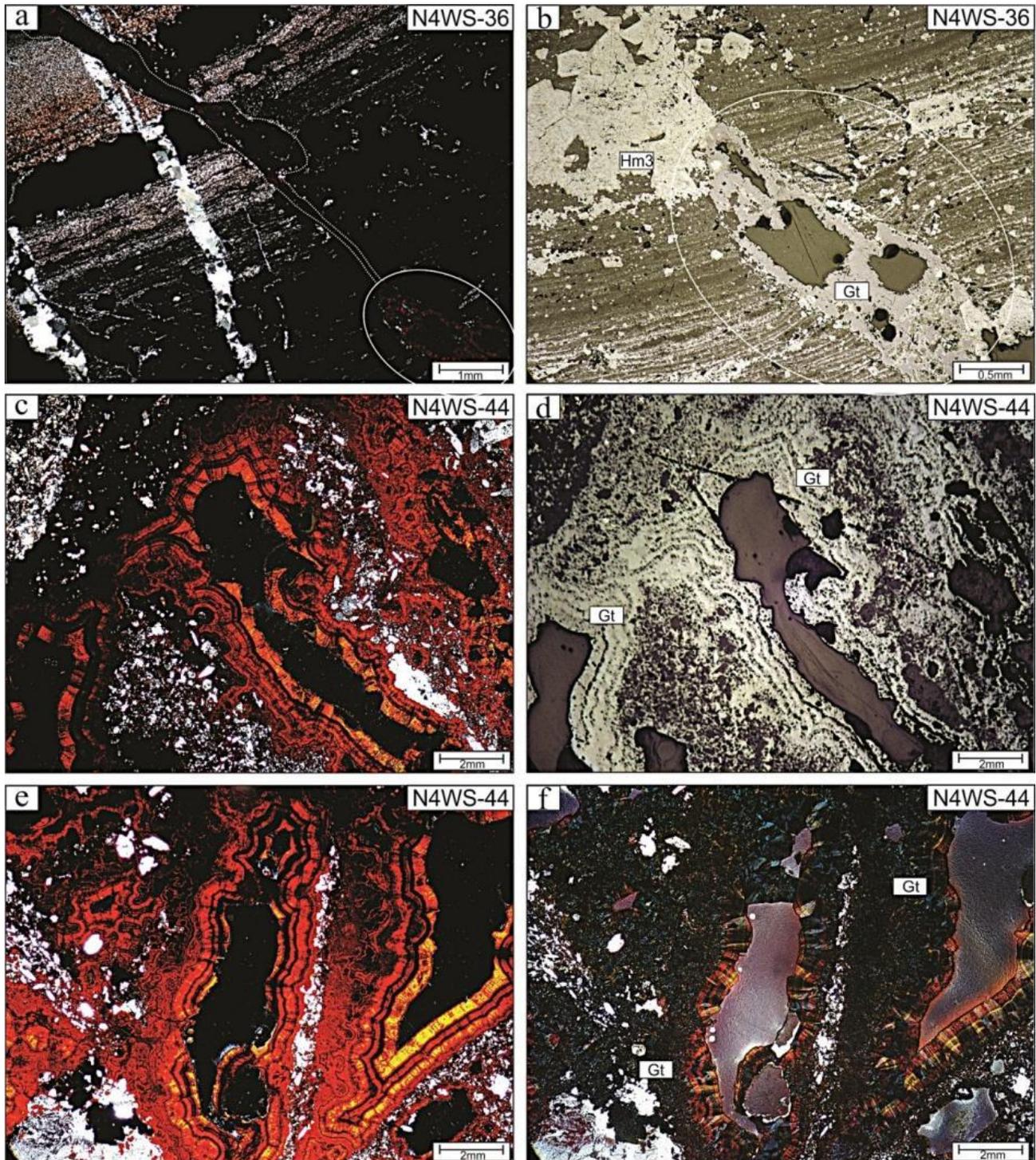


Figura 6 - Feições representativas dos espeleotemas tipo Coraloide. **a)** (5x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados – falhas e fraturas atuam como meio transportador de fluidos aquosos para a geração de espeleotemas. **b)** (10x) Sob luz refletida e natural – coraloide composto por goethita (Gt) originado em microcavidade após o preenchimento parcial a partir de fraturas. Notar a hematita substituindo a goethita (Gt). **c)** (2,5x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados – aspecto concêntrico do coraloide. **d)** (2,5x) Sob luz refletida e natural - a goethita (Gt) possui coloração cinza-azulado, anisotropia cinza-azulada a cinza esbranquiçada. **e)** (2,5x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados – aspecto concêntrico do coraloide. **f)** (2,5x) Sob luz refletida e nicóis cruzados – coraloide exibindo coloração azulada a amarelada, o que contribui para a observação de seu padrão concêntrico.

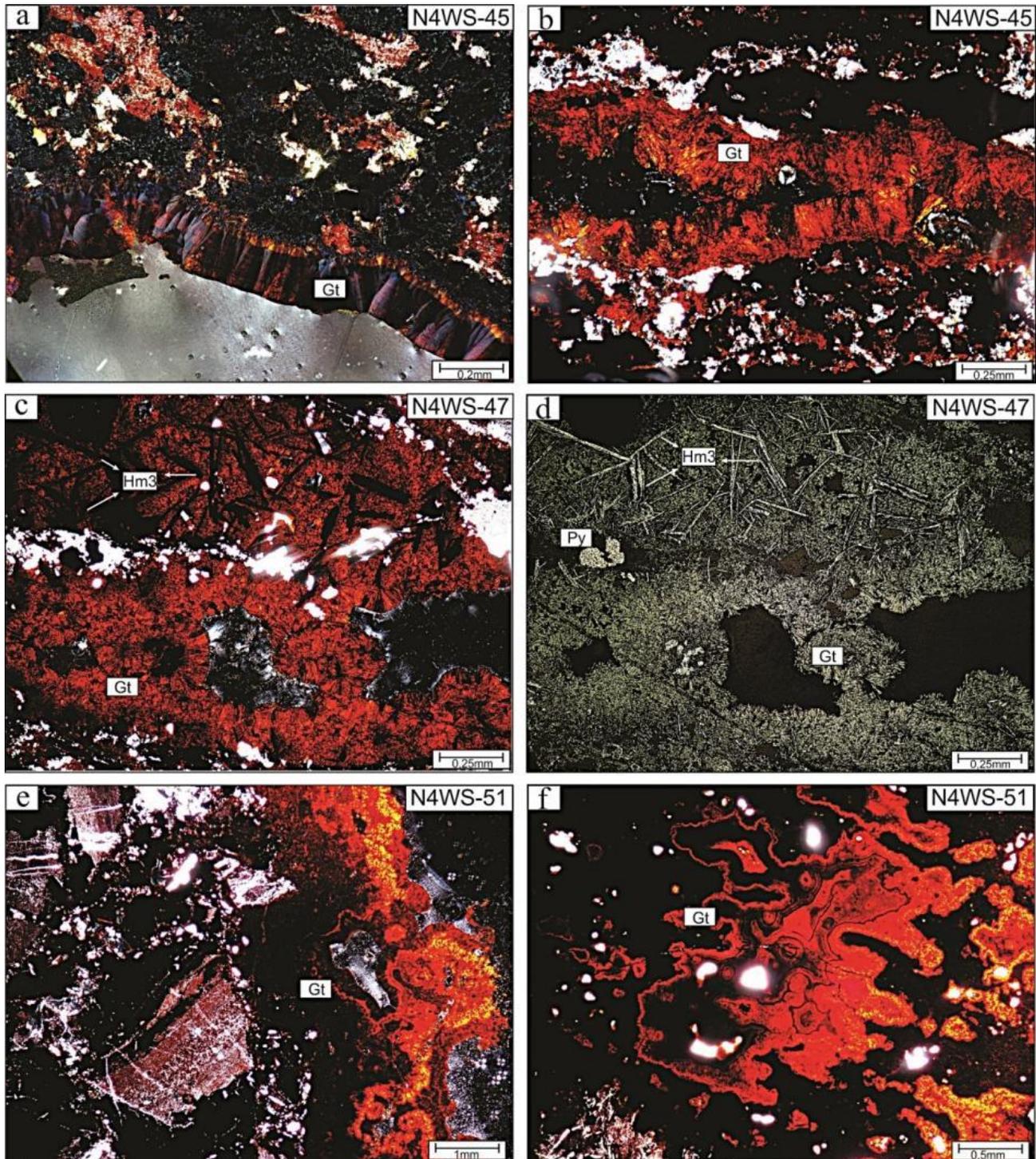


Figura 7 - Feições representativas dos espeleotemas tipo Coraloide. **a)** (20x) Sob luz refletida e nicóis cruzados – Notar padrão concêntrico do coraloide e sua formação oblíqua, em relação a rocha base. **b)** (20x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados – Coraloide formado paralelo ao bandamento do jaspilite. **c)** e **d)** (20x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados e (20x) sob luz refletida e natural, respectivamente. Presença de hematita 3placóide (Hm3) substituindo a goethita (Gt) nas bordas do coraloide. **e)** e **f)** (5x) Sob luz transmitida e nicóis cruzados e (10x) sob luz transmitida e nicóis cruzados, respectivamente. Correspondem a espeleotemas tipo coraloide originados em porções brechadas do jaspilite.

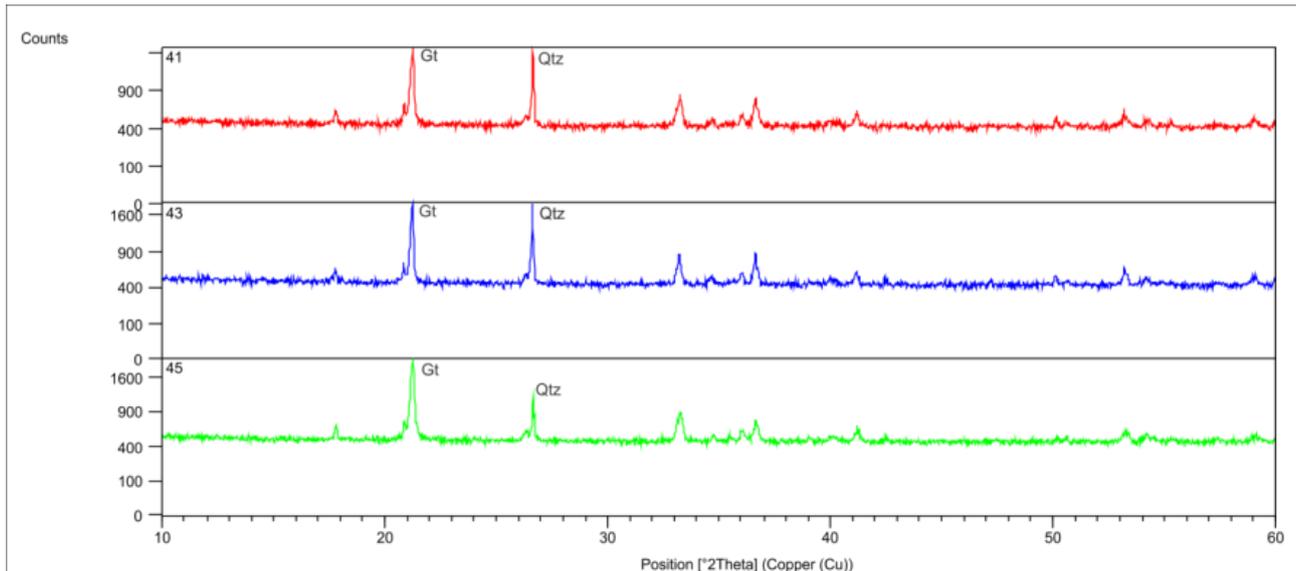


Figura 8 – Difratomogramas referente as amostras N4WS-41, 43 e 45.

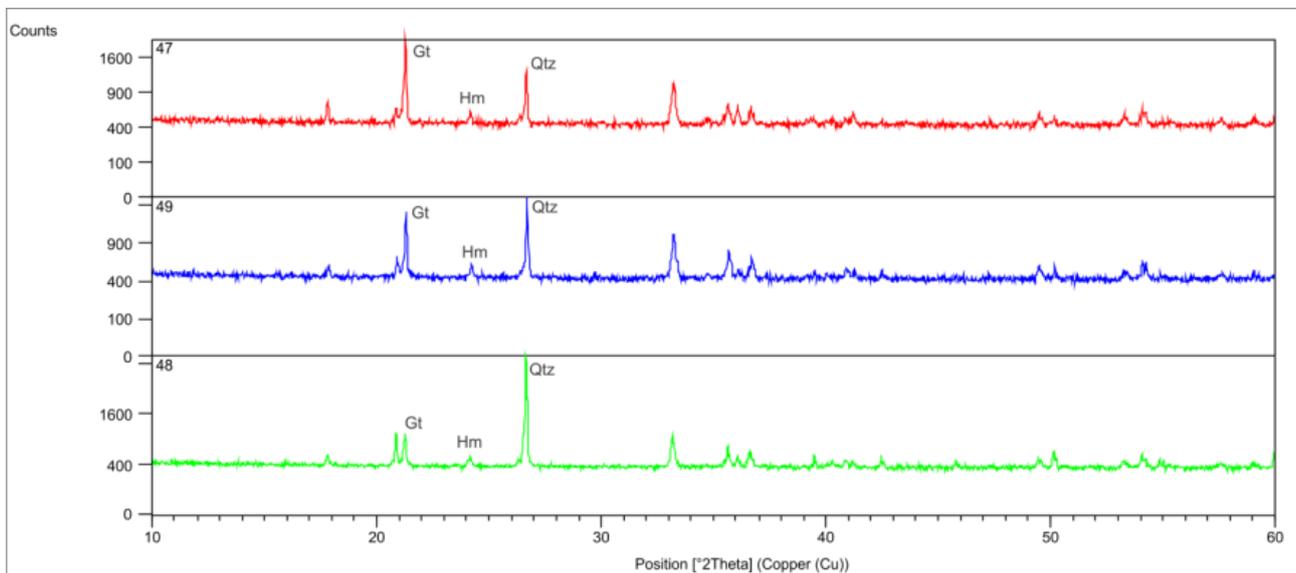


Figura 9 - Difratomogramas referente as amostras N4WS-47, 49 e 48.

4. DISCUSSÃO

Espeleotema tipo coraloide representa um termo geral para designar feições químicas de dissolução, seguida de precipitação, que apresenta morfologia nodular, globular, botrioidal, ou similares a corais (HILL & FORTI, 1997). Estes espeleotemas se desenvolvem ao longo das mesocavidades dos jaspilitos, variedade observada no determinado intervalo do testemunho de sondagem estudado.

Análises petrográficas realizadas nos jaspilitos permitiram constatar que as micro/mesocavidades de dissolução se concentram preferencialmente nas bandas silicosas. Tal fato pode indicar que a sílica é a primeira a ser dissolvida. Mesmo entre as variedades de quartzo, *chert* e jaspe, presentes no jaspilito foi comprovada

uma diferença de resistência à lixiviação, mostrando que as bandas de *chert* são dissolvidas com uma maior facilidade quando comparadas as de jaspe. Porém, em menor proporção, micro/mesocavidades também foram encontradas nas bandas de opacos. Notou-se ainda a presença marcante de cavidades arredondadas e alinhadas. Cavidades arredondadas originam-se por meio da dissolução da sílica nas bandas originais, ao passo que, cavidades alinhadas possuem gênese relacionada a dissolução da sílica sendo facilitada por meio de feições estruturais, falhas e fraturas (SOBRINHO, 2012; ABREU, 2014).

O processo de dissolução das bandas silicosas, proporcionou a geração de microcavidades ao longo dos planos dos acamamentos das FFB interconectando, seja por solubilização e/ou por

feições rúpteis, e passam a abrigar verdadeiros depósitos químicos – espeleotemas. Em minério de ferro, espeleotemas compreendem feições de pequeno porte e com mineralogia limitada a óxidos/hidróxidos de ferro, sulfatos, fosfatos e silicatos. A variedade tipológica não é extensa, estando em geral limitada a alguns poucos tipos (AULER *et al.*, 2011).

Os coraloides estudados neste trabalho são constituídos principalmente por goethita seguido de sílica e hematita. Apresentam hábito botrioidal e estruturas radiais. São caracterizados por estruturas concêntricas marcadas pela alternância de cores e, possivelmente, concentração de ferro e silício. O espeleotema constituído por hematita, de hábito botrioidal, pode estar relacionado à alteração da goethita.

Por se tratarem de espeleotemas originados a profundidades maiores do que 440 metros não há incidência solar e percolação de ar, ausentando o material biológico, ocorrendo apenas precipitação química de material ferruginoso, logo, estes depósitos químicos são característicos de ambiente afótico (AULER *et al.*, 2011).

5. CONCLUSÃO

Ω A interconexão das cavidades ocorre por solubilização e/ou por feições rúpteis, e passam a abrigar espeleotemas em profundidades superiores a 440 metros.

Ω Os coraloides constituem-se principalmente por goethita seguido de sílica e hematita, com hábito botrioidal, estruturas radiais e são caracterizados por estruturas concêntricas marcadas pela alternância de cores e, possivelmente, concentração de ferro e silício. O espeleotema constituído por hematita, de hábito botrioidal, possivelmente relaciona-se com a alteração da goethita.

Ω Os coraloides estão relacionados à passagem de um líquido supersaturado em hidróxido de ferro que permeou através de fraturas, falhas e cavidades interconectadas por microcanalículos, precipitando posteriormente.

Ω Os espeleotemas estudados neste trabalho ocorrem a profundidades superiores a 440m, o que permite a inclusão destes no grupo dos afóticos (AULER *et al.*, 2011).

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Antônio Emídio (UNIFESSPA) e a geóloga Daniele Gonçalves (Vale S.A.) pela oportunidade de desenvolver este trabalho. A todos os estudantes, professores, consultores e colaboradores do projeto PROCAV. A Vale S.A, financiadora deste projeto (PROCAV), a UNIFESSPA e a UFPA por cederem seus laboratórios para as análises e descrições.

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 (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Marabá, 2014.
- ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N. 1991. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos. Programa Grande Carajás. Serra dos Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará.** Texto Explicativo. DNPM/ CPRM, Brasília, 136p.
- AULER, A & PILÓ, L. 2005. **II Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV).**
- AULER, A. **Espeleologia no Brasil: Uma abordagem histórica.** Espeleo-Tema, V.18, p.23-30, 1997.
- 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.

- GOMES, A. M. **Aspectos morfológicos e mineralógicos de espeleotemas em cavidades em formações ferríferas/lateríticas da região de Carajás – PA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Marabá. 2014.
- HILL, C.; FORTI, P. **Cave Minerals of the World Second Edition.** National Speleological Society Inc. Huntsville, Alabama 35810, U.S.A. 1997.
- KOTSCHOUBEY, B. & LEMOS, V. P. 1985. **Considerações sobre a origem e gênese das bauxitas da Serra dos Carajás.** Simpósio Geologia Amazônia, 2. Anais. Belém, SBG/NN, 3: 48-61.
- KRYMSKY, R.Sh, MACAMBIRA, J.B., MACAMBIRA, M.B.J., 2002. **Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará.** In: Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 2, Belém, Anais..., SBG-NO p.41.
- LINO, C. F. & ALLIEVI, J. **Cavernas Brasileiras.** Ed. Melhoramentos. São Paulo– SP, 168p. 1980.
- LINO, C. F. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo.** Ed. Rios. São Paulo – SP, 279p. 1989.
- MACAMBIRA J.B. 2003. **O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará.** 217 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- MACAMBIRA J.B.; RAMOS J.F.F.; ASSIS J.F.P.; FIGUEIRAS A.J.M.1990. **Projeto Serra Norte, Projeto Pojuca: relatório final.** Belém, UFPA, DOCEGEO, SEPLAN, DNPM. 150p. Inédito.
- 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.
- 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 Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra 7: 331-362.
- PILÓ, L. B., AULER, A.. **Cavernas em minério de ferro e canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG.** O Carste, v. 17, n. 3, p. 92-105, 2005.
- PILÓ, L.B. **Ambientes Cársticos de Minas Gerais: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana.** O Carste, V.11, n.3, p.50-58, 1999.
- ROSA, R. R. **Fácies, estratigrafia e petrografia das cavidades N4WS-15 e N4WS-23 na unidade espeleológica de Carajás-Pa, Serra Norte.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Marabá. 2014.
- SBE (SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA) – 1989 – **Cadastro Nacional de Cavidades Naturais / Índice de Dados sobre as Cavernas do Brasil – Unicop,** São Paulo, 222p.
- SOBRINHO, F. C. **Contribuição ao estudo da gênese de minério de ferro na mina N4E, Carajás.** 2012. 95p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Marabá. 2012.
- SOUZA, C. I. J. & KOTSCHOUBEY, B. 1991. **Alguns aspectos micromorfológicos e gênese da cobertura residual sobre as rochas sedimentares da Serra dos Carajás-PA.** Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Anais. Belém, SBG/NN. 1: 569-583.
- SOUZA, C. I. J. 1993. **Estudo da cobertura laterítica ferro-aluminosa da aba norte da Serra dos Carajás (PA).** Universidade Federal do Pará, Tese de mestrado.

- TRENDALL, A. F., BASEI M.A.S., LAETER J.R., NELSON D.R. 1998. **Ion microprobe zircon U-Pb results from the Carajásárea of the Amazon Craton.** Journal of South American Earth Sciences, 11: 265-277.
- VASQUEZ, L.V., ROSA-COSTA, L.R., SILVA, C.G., RICCI, P.F., BARBOSA, J.O., KLEIN, E.L., LOPES, E.S., MACAMBIRA, E.B., CHAVES, C.L., CARVALHO, J.M., OLIVEIRA, J.G., ANJOS, G.C., SILVA, H.R. 2008. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG:** texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, 328p (in Portuguese).