



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:

QUEIROZ, R.S.; SANTOS JUNIOR, A.E.A.. Petrografia e análise de “espeleotemas” do testemunho de sondagem n4ws 1495, das Formações Ferríferas Bandadas, 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.581-591. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_581-591.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 ANÁLISE DE “ESPELEOTEMAS” DO TESTEMUNHO DE SONDAGEM N4WS 1495, DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS (PA)

PETROGRAPHY SURVEY AND ANALYSIS OF WITNESS SPELEOTEMS N4WS 1495, BANDED IRON FORMATIONS OF, CARAJÁS MINERAL PROVINCE (PA)

Renato da Silva QUEIROZ (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.

Contatos: renatowqueiroz@hotmail.com; emidiosantos@unifesspa.edu.br.

Resumo

Os depósitos de ferro de Carajás pertencem à Formação Carajás, um espesso (100-400m) depósito de formação ferrífera bandada e laminada (jaspelito), localizada no estado do Pará, norte do Brasil. Numerosos trabalhos já trataram da petrografia do jaspelito, destacando todas as suas características sedimentares primárias e diagenéticas. Entretanto, poucos trabalhos utilizaram a petrografia para discutir o paleoambiente e a origem do minério de ferro. Este trabalho possui o objetivo de estudar petrologicamente as rochas do testemunho de sondagem N4WS 1495 a fim de caracterizar os paleoambientes de sedimentação da FFB de Carajás, além de avaliar os processos diagenéticos que afetaram os jaspelitos após sua deposição. Para isto, foram analisadas 43 amostras do testemunho de sondagem da mina N4WS-1495, as quais foram estudadas nos levantamentos bibliográficos e análise laboratorial. Com ênfase, para a descrição microscópica, a fim de observar as feições que evidenciavam a preservação e alteração da rocha, como as texturas, estruturas, microcavidades de dissolução, substituição e neoformação de minerais, para diferenciar os processos sindeposicionais e pósdeposicionais. Com base na progressão do grau de alteração intempérica da rocha, foram individualizadas as seguintes categorias: Jaspelito não Alterado, Jaspelito Pouco Alterado, Jaspelito Alterado, Jaspelito Brechado, Jaspelito Hornfels e Basalto serpentizado. O início do processo de formação das cavidades ocorre através de processos físico-químicos por meio da percolação da água nessas rochas relativamente solúveis, provocando com isso, sucessivos eventos de dissolução e posterior precipitação de novos minerais. A partir destes processos, ocorre também uma sedimentação química que gera depósitos cristalinos no interior das mesocavidades denominados comumente de “espeleotemas”.

Palavras-Chave: Formação Ferrífera Bandada (FFB), Paleoambiente e Bacia Carajás.

Abstract

Carajás iron deposits belong to Carajás Formation, a thick (100-400m) banded iron formation and laminated (jaspelite), located in Pará State, northern Brazil. Numerous works have treated jaspelite petrography, highlighting all its primary and diagenetic sedimentary characteristics. However, few studies use petrography to discuss the paleoenvironment and iron ore origin. This work has objective to study petrologically the drill core rocks to characterize paleoenvironments sedimentation of FFB's Carajás, and to evaluate the diagenetic processes that affected jaspelite after its deposition. For this, we analyzed 43 samples Mine drill core N4WS 1495, which were studied in the literature surveys and laboratory analysis. With emphasis, for microscopic description in order to observe features that evidenced preservation and alteration of rock, such as textures, structures, dissolution cavities, substitution and formation of new minerals to differentiate sin depositional and post depositional processes. Based on the progression of rock alteration degree, following categories were individualized: jaspelite not changed, jaspelite little Changed, Changed jaspelite, jaspelite Breccia, mafic igneous rock with texture preserved, Mafic Rock Strongly Amended and jaspelite Hornfels. The formation of cavities occurs by physical-chemical processes from the water percolation relatively soluble in these rocks, causing successive events dissolution and subsequent precipitation of new minerals. From these processes, also occurs that generates a chemical sedimentation within these crystalline deposits denominated generically as speleotems caves.

Key-words: Banded Iron Formation (BIF), Paleoenvironments and Basin Carajás.

1. INTRODUÇÃO

Formações Ferríferas Bandadas (FFB), distribuídas mundialmente nas Bacias Sedimentares Pré-cambrianas, são depósitos sedimentares peculiares caracterizados por bandas de minerais opacos e transparentes/translúcidos representados por óxidos/hidróxidos de ferro e quartzo microcristalino, respectivamente (HOLLAND 1973, DREVER 1974; GROSS 1973; EICHLER 1976, TRENDALL et al. 1998 e MACAMBIRA 2003). No Brasil, depósitos de FFB pré-cambrianas ocorrem sobre os crátons São Francisco e Amazônico, sendo caracterizados por elevados teores de ferro. No Cráton Amazônico, área de estudo, estes depósitos são representados pela Formação Carajás, Bacia de Carajás, constituída por jaspelitos de idade entre 2.754 e 2.744 (MACAMBIRA 2003). Diversos trabalhos científicos realizados apresentam considerações sobre origem, evolução e ambientes deposicionais das FFB de Carajás, além do minério de ferro associado (BEUKES 1973, HOLLAND 1973, GOLE & KLEIN 1981, JAMES 1983, MAYNARD 1983, HOLLAND 1984, DYMEK & KLEIN 1988, ISLEY 1995, KLEIN 1992, ALIBERT & MCCULLOCH 1993, MANIKYAMBA et al. 1993, HORSTMANN & HÁLBICH 1995, SIMONSON & HASSLER 1996, BAU & DULSKI 1996, MACAMBIRA 2003, SOBRINHO 2012). Recentemente, estudos espeleológicos têm sido intensificados na Serra dos Carajás, principalmente nas FFB da Formação Carajás. Estes trabalhos demonstram que a formação das cavidades e depósitos químicos associados estão relacionados a processos de dissolução dos bandamentos composicionais de ferro e sílica, gerando assim as cavidades e espeleotemas. (ABREU 2014, CABRAL 2014, GOMES 2014, OLIVEIRA 2015, RIOS 2015, SILVA 2015 e PINHEIRO 2015).

O presente trabalho realiza uma caracterização petrográfica do testemunho de sondagem na mina N4WS, em formações ferríferas bandadas, com o objetivo de abordar a respeito das condições paleoambientais sindeposicionais e pósdeposicionais que influenciaram na formação e evolução das cavidades e espeleotemas.

Contexto geológico

O Cráton Amazônico localiza-se na porção norte da Plataforma Sul-Americana e recobre cerca de aproximadamente 4.500.000 km², norte do Brasil. Este Cráton representa grande parte da placa litosférica continental, composta por províncias

crustais arqueana a mesoproterozóica, estabilizada tectonicamente em torno de 1.0 Ga, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais brasileiras (BRITO NEVES & CORDANI 1991). A Bacia Carajás está inserida na Província Carajás (Figura 1), localizada na porção Sul-Oriental do Cráton Amazônico. Esta bacia originou-se através de movimentos extensionais, acompanhados por intenso magmatismo, cuja geometria é controlada por estruturas pré-existentes, (SANTOS et al. 2000). Sua estratigrafia é baseada em (MACAMBIRA 2003), (Quadro 1).

2. METODOLOGIA

Foram confeccionadas 43 seções polidas a partir de furo de sondagem N4WS 1495, com cerca de 560m de profundidade. Estas seções consistem de FFB e, subordinadamente, rochas ígneas (basaltos e diabásio). Analisou-se sob microscópio petrográfico de luz transmitida/refletida, onde a descrição das rochas consistiu na caracterização textura, estrutural e mineralógica dos jaspelitos. Estas análises foram realizadas no laboratório de mineralogia da Universidade do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), utilizando o microscópio ótico Zeiss (modelo Axioskop 40).

3. RESULTADOS

Petrografia

As FFB do furo de sondagem N4WS-1495 caracterizam-se pela alternância de bandas centimétricas irregulares, descontínuas e dobradas, de minerais opacos, compostas essencialmente por hematita, magnetita e maghemita; e bandas silicosas compostas por jaspe e chert.

Para a descrição petrográfica foi utilizada a classificação modificada de (SOBRINHO 2012), distinguindo fases mineralógicas e tipos de jaspelito quanto à alteração intempérica em: a) Jaspelito não alterado; b) Jaspelito pouco alterado; c) Jaspelito alterado e d) Minério de ferro. Neste trabalho, foram também definidos: e) Jaspelito brechado e f) Jaspelito hornfels. Duas fases mineralógicas principais foram descritas, hematita e quartzo. As hematitas são classificadas por três tipos: Hm 1, Hm 2 e Hm 3. Hem-1: é composta por uma massa criptocristalina, porosa, classificada como hematita primária; Hem-2: produto do processo de martitização da magnetita, substituindo parcialmente ou totalmente a massa de magnetita, bem como suas bordas de cristais euédricos. Hem-3 representada

por cristais com formato alongado, hábito placóide, podendo ocorrer interestratificados ou dispersos. Os quartzos são também subdivididos em 3 tipos: Qtz 1: quartzo criptocristalino ou chert (0,01mm), Qtz 2-

quartzo microcristalino ou chert (0,01 à 0,2mm) e Qtz 3- quartzo granular (acima de 0,2).

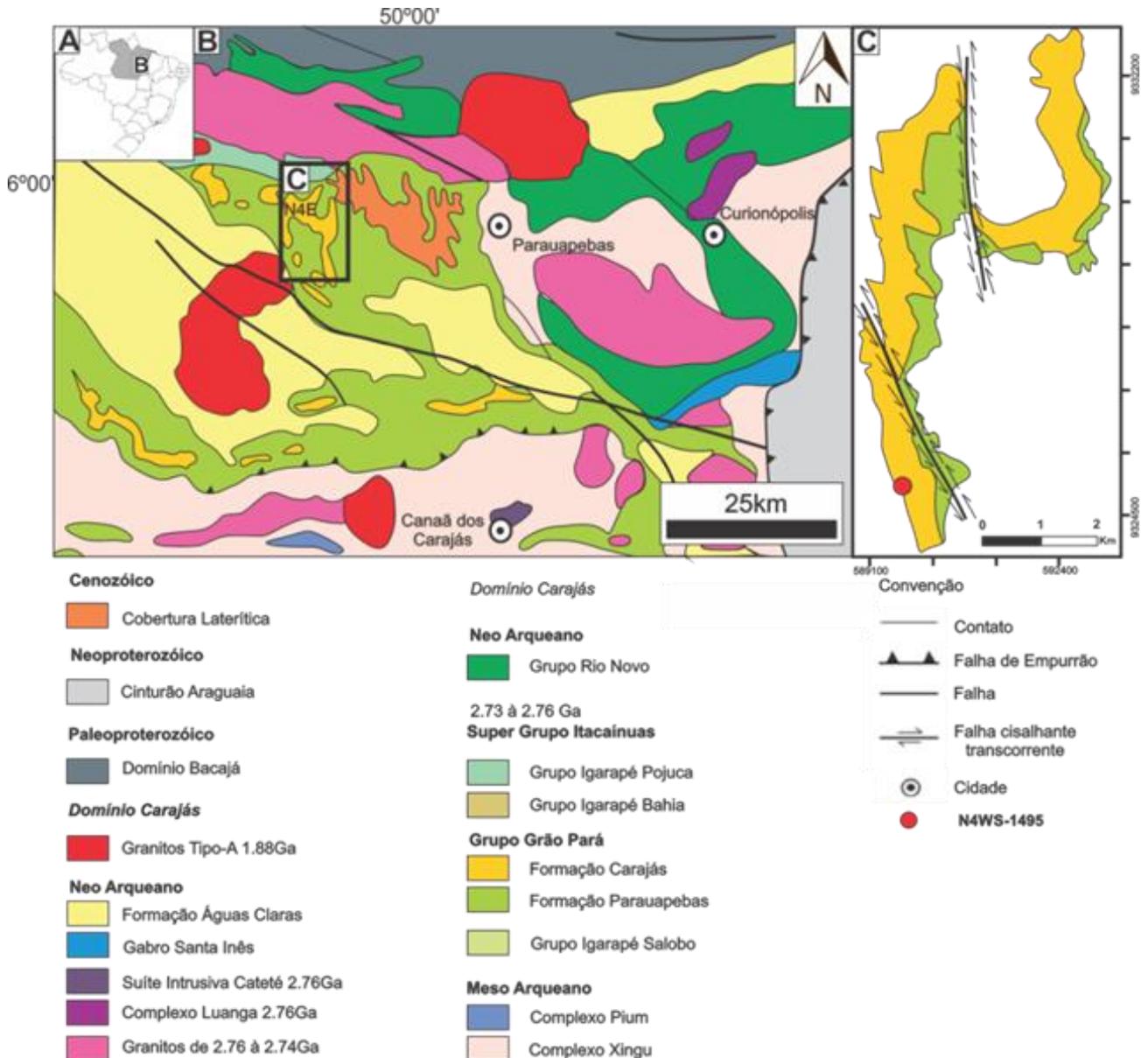


Figura 1. A_ Mapa do Brasil, B_ Mapa do Domínio Carajás (Modificado de VARQUEZ et al.2008). C_ Mapa Geológico do Platô N4 e a Localização do furo de sondagem N4WS-1495.

Jaspelito não alterado

Estas rochas não sofreram com processos intempéricos, preservando assim suas características originais de bandamento rítmico milimétrico-centimétrico composicional representado por bandas de minerais opacos intercalados com bandas de chert e jaspe, apresentando contato brusco, irregular ondulante e interpenetrativo (Figura 2 a, c).

A banda de minerais opacos possui coloração cinza escuro, composta mineralogicamente por magnetita, maghemita, Hm 1, 2 e 3; e goethita (Figura 2 e). A magnetita e maghemita ocorrem como cristais euédricos, bipiramidais com bordas alterando para Hm 2. Internamente, as bandas de opacos ocorrem laminações de jaspe e quartzo criptocristalino, além de estrutura em pente nas bordas das magnetitas (Figura 2 b).

Quadro 1: Litoestratigrafia da Serra Norte de Carajás.
Enfoque para a Formação Carajás, Grupo Grão Pará.

ÉON	ERA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
FANEROZÓICO	PALEOZÓICO	CORPOS MÁFICOS INTRUSIVOS	Diques e soleiras de diabásio
		GRANITO SERRA DOS CARAJÁS	Granitos a anfibólitos e/ ou Biotita
PROTEROZÓICO	INFERIOR	GABRO SANTA INÊS	Gabro Grosseiro hidrotermalizado
		FORMAÇÃO IGARAPÉ AZUL	Arenitos com níveis conglomeráticos e siltitos intercalado
		COMPLEXO XINGU	Gnaisse granodioríticos a tonalíticos, anfibólitos e trochmilitos
ARQUEANO	GRUPO GRÃO PARÁ	Formação Igarapé Boa Sorte	Siltitos e folhelhos carbonáticos, com arenitos subordinado
		Formação Igarapé Cigarra	Basaltos, tufos, BIF, chert Quartzo-wackes e quartzo arenito
		Formação Carajás	BIF's com soleiras de basalto
		Formação Parauapebas	Basaltos e riolitos
	GRUPO POJUÇA	Formação Gamaleira	Meta-wackes e meta-siltitos
		Formação Corpo 4	BIF's (sulfeto) e Xistos
		Formação Bueno	Anfibolitos e BIF's (óxido)
		COMPLEXO XINGU	Gnaisse granodioríticos a tonalíticos, anfibólitos e trochmilitos

A banda avermelhada de jaspe é composta mineralogicamente por Qtz 1 e 2 impregnado por Hm 1, com cristais dispersos de pirita. Internamente ocorrem laminações de chert e opacos. O chert é constituídos de Qtz tipo 2 e os opacos representados por minerais magnetita, maghemita, hematita e goethita (Figura 2 f).

Veios de quartzo, dobras e falhas são estruturas comuns ao longo destes jaspelitos, interrompendo perpendicularmente o seu bandamento composicional (Figura 2 d).

Jaspelito pouco alterado

O bandamento composicional deste jaspelito (Figura 3 a) é caracterizado por apresentar contato irregular e interpenetrativo, com sinais de alteração intempérica e hidrotermal, marcados por microcavidades e fendas de dissolução.

A banda de minerais opacos possui coloração cinza escuro, sendo composta mineralogicamente por Hm 1 e 2, magnetita, e goethita (Figura 3b). A Hm 1 é caracterizada por massa criptocristalina contendo estrutura de sobrecarga. A magnetita é representada por cristais euédricos com bordas

alteradas para hematita (Figura 3 c,d). A goethita de forma localizada com produto de intemperismo da hematita. Além disso, ocorrem ainda laminações de Qtz 2 e a presença dos minerais biotita, clorita e siderita.

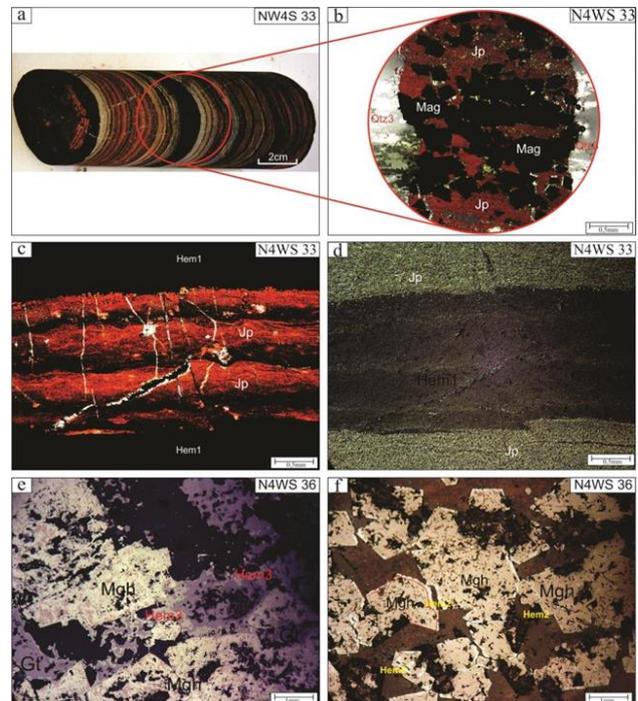


Figura 2. a) Jaspelito não intemperizado, contendo poucas fraturas preenchidas por Qtz3. b) (5x) Luz refletida em nicós X, cristais euédricos de magnetita com estruturas em pente, veios de Qtz3 e jaspe. c) (5x) Luz transmitida em luz natural, bandamento composicional de Hm1 e jaspes, com fraturas preenchidas por Qtz2 e falhas. d) (5x) Luz refletida em luz natural, detalhe entre as bandas de jaspes e Hm1. e) (10x) Luz refletida em luz natural, cristais de Hm3, Mgh, Gt, entre o jaspe. f) (20x) Luz refletida em luz natural, o detalhe da imagem anterior, cristais de Mgh denotando o processo de martitização, com as bordas desses cristais composta por Hm2.

A banda avermelhada de jaspe é composta mineralogicamente por Qtz 1 e 2, impregnada por Hm 1, lâminas de minerais opacos são representados por cristais euédricos a subédricos de magnetita, maghemita e hematita (Figura 3 e,f). Lateralmente estas bandas mostram um comportamento irregular, e em alguns locais são interrompidas e truncadas por minerais opacos.

Jaspelito alterado

As rochas deste grupo apresentam aspectos fortemente alterados, onde os bandamentos composicionais não estão nítidos. Há a presença de microcavidades de dissolução que ocorrem

predominantemente na banda jaspe/chert, seguindo uma direção preferencial, que relaciona-se ao acamamento do jaspelito (Figura 4 a,b). Feições deformacionais como: dobras, truncamentos, falhas, fraturas e veios (Figura 4 e), além de estruturas pods, deslocamento intrabandas, contatos interpenetrativos e laminação de chert, são comuns.

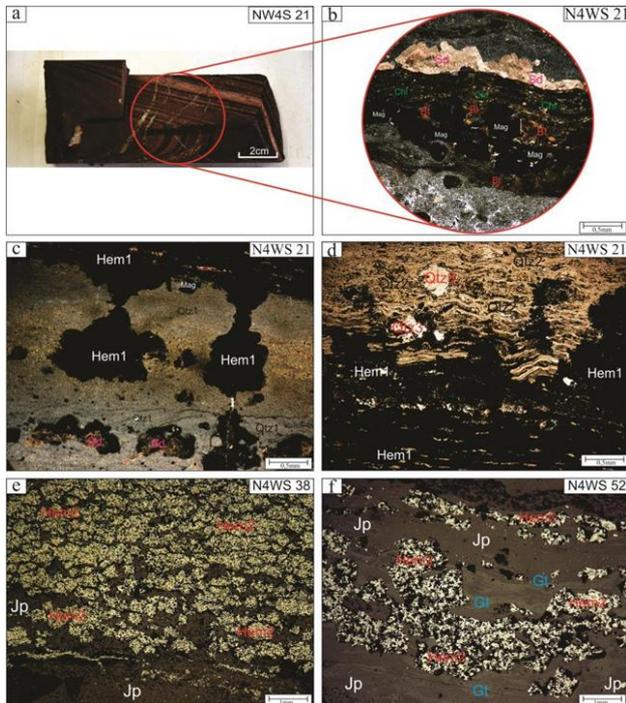


Figura 3: a) Fotografia de amostra de mão do jaspelito pouco alterado. b) (2,5x) Luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando cristais de clorita e biotita. c) (2,5x) Luz transmitida em luz natural, estrutura de sobrecarga de composição de Hm1 envolta por Qtz2 e siderita. d) (5x) Luz transmitida em luz natural, banda de Chert encontra-se ondulada, brechada e falhada; e a banda de Hm1 contendo laminações de jaspe. e) (10x) Luz refletida em luz natural, cristais de Hm2, intercalada entre jaspe. f) (20x) Luz refletida em luz natural, detalhe da imagem anterior, e notam-se cristais de Hm2 intercalado com jaspe, entretanto associado a goethita.

A banda de opacos mostra coloração cinza escuro e caracteriza-se por um adelgaçamento e rompimento regulares. Composta mineralogicamente por Hm 2, com cristais de magnetita (Figura 4 f), hematita, biotita e clorita (Figura 4 b;c). Ocorrem ainda, agregados de Qtz 1 e 3.

A banda de jaspe mostra coloração avermelhada e é composta mineralogicamente por biotita, clorita e quartzo impregnado por Hm1. Lateralmente esta banda possui comportamento irregular, interrompida e truncada.

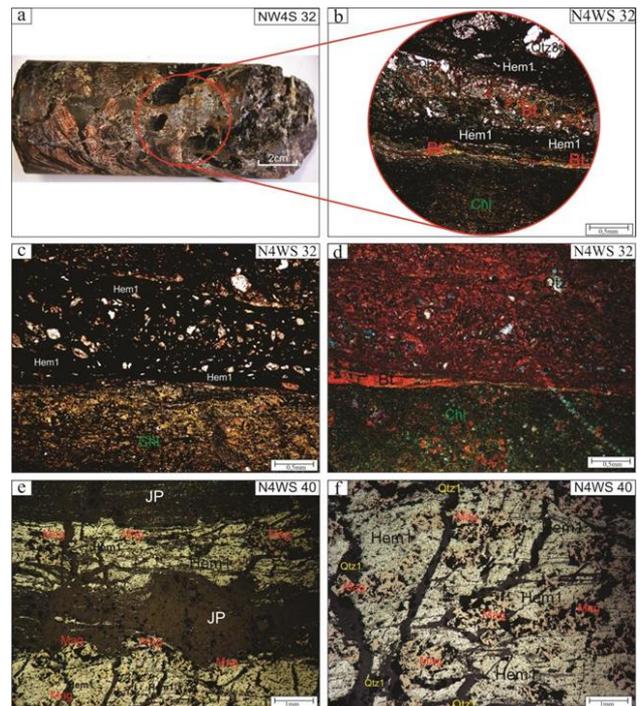


Figura 4: a) Fotografia de amostra de mão do jaspelito alterado, contendo microcavidades de dissolução. b) (2,5x) Luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando as modificações que ocorrem nos jaspelitos. Observa-se abundância de clorita e biotita oriundas do hidrotermalismo, nota-se também Hm1 e Qtz3. c) (2,5x) Luz transmitida em luz natural, contraste entre a banda de opacos com as modificações adjacentes. d) (5x) Luz refletida com nicós X, diferença de coloração entre uma banda rica em ferro e outra oriunda do processo de alteração da clorita, entre elas há a formação de biotita. e) (10x) Luz refletida em luz natural, cristais de magnetita imersos em uma massa de Hm1, intercalada entre jaspe. f) (20x) Luz refletida em luz natural, nota-se fraturas seccionando obliquamente a banda de minerais opacos.

Jaspelito brechado

Estas rochas são caracterizadas por conter fragmentos centímetros a decímetros com tamanhos variados, subangulosos a angulosos e mal selecionados. Apresentam aspecto brechado (Figura 5 a, b). Os clastos angulosos do jaspe estão imersos em uma massa composta por hematita e Qtz 1 e 2, impregnada por óxido de ferro. Fraturas, falhas, fendas e microcavidades de dissolução são comuns.

Notou-se a presença de lâminas de minerais opacos, euédricos a subédricos de magnetita, pseudomagnetita, hematita e esferulitos. Lateralmente os fragmentos de jaspe possuem comportamento bastante irregular, e localmente, as lâminas são interrompidas e truncadas por veios de quartzo granular e carbonato (Figura 5 c;d). Ocorrem ainda, estruturas como dobras, contatos intrapenetrativos, estruturas de escavação e

preenchimento; e laminação de chert, além da presença de escassos cristais de pirita nesta banda de jaspe.

A banda de minerais opacos possui coloração cinza escuro sendo caracterizada por adelgaçamento e rompimento da banda. Mostra contato irregular e interpenetrativo, sendo composta mineralogicamente por hematita criptocristalina e microcristalina, associados a cristais de magnetita, pseudomagnetita, carbonato e goethita. A magnetita e pseudomagnetita ocorrem preferencialmente em lentes ou lâminas envoltas por hematita, sendo que os cristais mostram-se euédricos a anédricos, alinhados ao bandamento (Figura 5 e). Além disso, ocorrem quartzo microcristalino e carbonato paralelos ao bandamento. A goethita ocorre localmente como produto de intemperismo da hematita. Estruturas em pente, dobras, deslocamento intrabandas e fraturas estão presentes.

A banda esbranquiçada possui espessura de 0,5 à 10 mm, apresentando contato brusco com minerais opacos e carbonatos (Figura 5 f). Esta banda é composta mineralogicamente por quartzo granular à criptocristalino. Na porção central há a predominância de quartzo cripto a microcristalino, e nas bordas dessas bandas e em preenchimento de fraturas ocorre o quartzo granular. Nesta banda, ocorre ainda um processo de dobramento que por condutos como veios, um material carbonático instalou-se e acompanhou o bandamento.

Esta rocha apresenta feições deformacionais como dobras, truncamentos, falhas, fraturas e veios atingindo todas as bandas, possuindo espessuras menores que 1 mm de composição silicosa e carbonática rica em ferro.

Jaspelito hornfels

Esta amostra possui coloração cinza escuro, é densa, e forma mosaicos de grânulos equidimensionais, sem orientação, apresentando textura hornfêlsica ou granoblástica, caracterizada por granulação fina e estrutura maciça (Figura 6 b). A mesma exibe feições composta por blastos irregulares de jaspe, sendo estes inclusos em uma massa de coloração avermelhada de composição não definida. Não foi possível a identificação mineralógica de uma grande parte da rocha, entretanto, há porções que ainda preservam laminações dobradas e truncadas, compostas mineralogicamente por Hm 1. A rocha passou fortemente por processos deformacionais, pois, foram observadas bastante falhas e fraturas, sendo a

última preenchida por quartzo microcristalino recrystalizado (Figura 6 c). Notam-se porções brechadas constituídas por hematita e quartzo microcristalino recrystalizado (Figura 6 d).

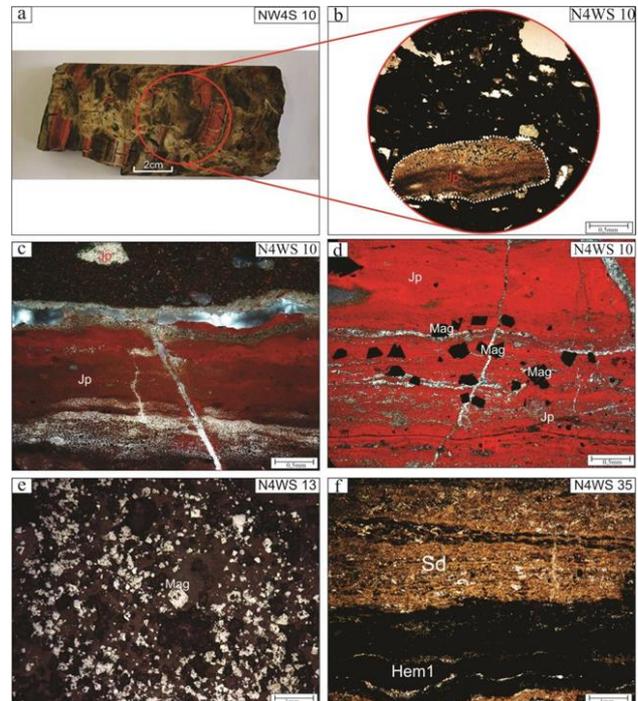


Figura 5. a) Amostra de mão do jaspelito brechado, contendo clastos visíveis de jaspe e chert, imersos em cimento de óxido de ferro. b) (5x) Luz transmitida, fragmentos de jaspe preservando a laminação plana paralela do acinacamento original. c) (2,5x) Luz refletida com nicós x, detalhe do contato entre o jaspelito brechado e o fragmento de jaspe. d) (10x) Luz refletida com nicós x, cristais de Hm 2 e laminações de Qtz 2; seccionadas por fraturas preenchidas por Qtz 2 e 3. e) (10x) Luz refletida em luz natural, cristais de Hm 2. f) (2,5) Luz natural, bandas de Hm1 preservando um aspecto ondulado intercalando com laminações milimétricas de Qtz1; outrora bandas de siderita intercaladas com laminações de Hm1 e Qtz 1.

Basalto serpentinizado

Estas rochas possuem coloração verde escuro, textura afanítica, holocristalina, equigranular fina, xenomórfica, isotrópica, melanocrática, há pouca preservação das texturas ígneas devido a forte alteração, mas em porções localizadas da lâmina, observou-se textura subofítica preservada, bem como esferulitos e amígdalas preenchidas por um material silicoso. Composta mineralogicamente por ortopiroxênio (10%), serpentina (25%), biotita (4%), clorita (24%), plagioclásio (25%), quartzo (4%), carbonato (1%), sericita (1%), zircão (0,6%), apatita (0,4%) e opacos (4%). Observou-se a presença de fraturas e micro veios de quartzo. A mesma é

marcada por um forte magnetismo. Esta rocha é caracterizada por ser originada em ambiente subvulcânico, sendo classificada como Clorita-serpentina basalto (Figura 9a).

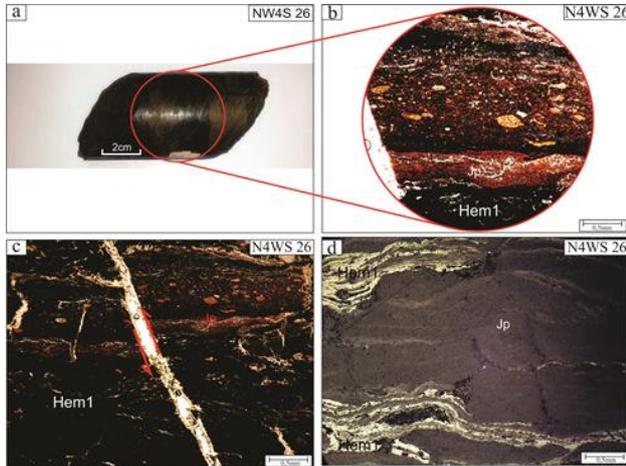


Figura 6. Fotografia de amostra de mão do jaspelito hornfels. b) (10x) Luz transmitida em nicós x, denotando o detalhe da amostra, o qual observa a textura hornfels caracterizado por granulação fina, com grânulos equidimensionais não orientados. c) (2,5x) Luz transmitida em nicós x, nota-se um aspecto brechado e observa-se falhamentos por toda rocha. (d) (10x) Luz refletida em luz natural, nota-se presença de concentrações irregulares de Hm 1.

Ortopiroxênio: possui dimensões cerca de 4mm. Corresponde a cristais subédricos, em sua grande maioria, com hábito prismático e irregular, apresentando contatos fortemente irregulares com clorita e plagioclásio (Figura 9b). Ocorrem inclusões de minerais opacos, como pirita e magnetita. Observa-se que este mineral está alterando-se para serpentina.

Serpentina: mostra dimensões cerca de 1,5 mm. São cristais subédricos com hábito fibroso, mostra contatos fortemente irregulares com clorita e plagioclásio. Este mineral é oriundo da alteração de olivinas e piroxênios, caracterizando-se a serpenitização (Figura 9c). Ocorrem inclusões de minerais opacos. Pontualmente observou-se ainda textura esferulítica.

Biotita: apresenta dimensões menores que 0,5 mm. São cristais anédricos com hábito placóide, apresenta contatos fortemente irregulares com clorita, plagioclásio e quartzo. Sua origem relaciona-se a alteração de olivinas e piroxênios, caracterizando a serpenitização, e/ou fluidos hidrotermais.

Clorita: exibiu dimensões inferiores a 1 mm, possui formas anédricas com contatos fortemente

irregulares, por vezes, côncavo-convexos com plagioclásio e serpentina. Este mineral é oriundo da alteração de anfibólio e biotita. Ocorrem inclusões de minerais opacos.

Plagioclásio: é marcado por uma forte alteração por isso não foi possível observar cristais preservando texturas características de rochas ígneas. Possui dimensões inferiores a 2 mm. Mostra contatos côncavo-convexos e irregulares com sericita e clorita, apresentam hábito tabular. Observa-se fortemente uma seritização dificultando assim a determinação da composição do plagioclásio. O pouco zoneamento encontrado foi do tipo normal, apresentando os núcleos mais cálcicos já alterados para sericita. O raro maclamento é do tipo albita. Nota-se o crescimento mimerquítico.

Quartzo: apresenta-se em 3 distintos, sendo eles:

- Qtz 1: cristais com dimensões de 1mm, xenomórficos com contatos irregulares entre silimanita e clorita.
- Qtz 2: cristais com até 2 mm, são xenomórficos e apresenta contatos côncavo-convexo, estes cristais estão preenchendo amígdalas (Figura 9d).
- Qtz 3: cristais com dimensões inferiores a 1,5 mm, são xenomórficos e apresentam contatos bastantes irregulares. Este tipo está bastante tipo está preenchendo fraturas e microveios.

Sericita: Apresenta-se em dimensões inferiores a 1 mm, os cristais são xenomórficos e resultam do processo de seritização que ocorre no plagioclásio.

Zircão: dimensões inferiores a 1 mm, os cristais são xenomórficos, caracterizam por serem oriundos de processos hidrotermais (Figura 10d). Ocorrem principalmente sob a forma de inclusões nas cloritas.

Apatita: possui dimensões inferiores a 1 mm, com hábito acicular (Figura 10c). Ocorre principalmente sob forma de inclusões no quartzo e plagioclásio.

Epidoto: possui dimensões inferiores a 1 mm, com hábito irregular. Ocorre principalmente sob forma de inclusões na biotita.

Carbonato: caracteriza-se por possuir dimensões menores que 2 mm, os cristais são xenomórficos, e neste caso, esta relacionado a processos hidrotermais, ocorrendo de forma associada ao quartzo e a clorita.

Minerais Opacos: ocorrem, em grande maioria, como inclusões em plagioclásio, clorita, serpentina e piroxênio. Mineralogicamente são representados por predominantemente pirita, magnetita e hematita com contatos bastantes irregulares.

solubilização e precipitação produtos hidrotermais e lixiviados. Isto seria o início do processo de formação de cavidades originadas a partir das condições redox existentes em diferentes profundidades. A banda de minerais opacos precipitou sob as condições mais oxidantes em profundidades superiores a 200m, enquanto a banda de sílica precipitou sob as condições redox intermediário. Isto influenciará diretamente para o sequenciamento da lixiviação. A ordem de dissolução desses minerais silicosos se dá da seguinte forma:

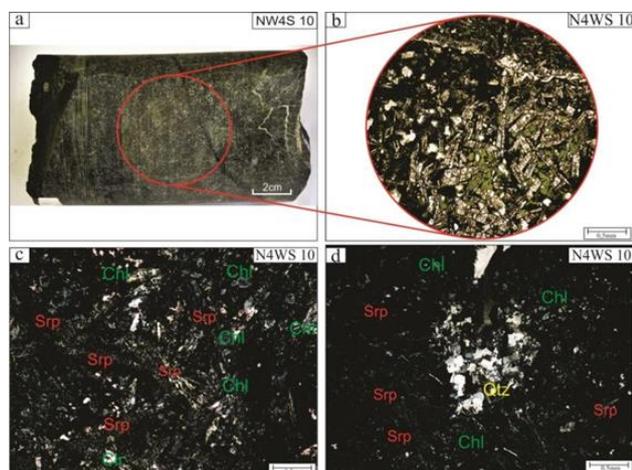


Figura 7. a) Fotografia de amostra de mão da rocha máfica pouco alterada, denotando-se a vênulação de Qtz3. b) (5x) Luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando a textura subofítica, compostas por plagioclásio, ortopiroxênio e clorita (Plg, Opx, Clr). c) (2,5x) Luz transmitida em nicós X, textura esferulítica composta por Srp e Clr. d) (2,5x) Luz transmitida em nicós X, amígdalas de Qtz 3 e em seu entorno Srp e Clr.

Chert _ quartzo granular _ jaspe

Sendo que o chert possui maior facilidade de alteração (Sobrinho, 2012). A diferença da resistência desses minerais à lixiviação pode ser explicada em relação ao chert e ao quartzo granular, que possuem diferença de tamanho. Dorr (1964) afirma que o fator textural que controla o processo de formação supergênica do minério é a solubilidade do quartzo em função do tamanho de seus grãos. Em relação a dissolução do jaspe é posterior à do chert e ao quartzo granular, pode ser explicado devido a impregnação do jaspe por hematita, tornando-o mais resistente e ao posicionamento do jaspe na banda de sílica, sendo mais próximo do contato com as bandas de opacos. Concomitante ao processo de dissolução para a formação do minério de ferro a partir da alteração do jaspelito, com a dissolução das camadas silicosas há a formação de cavidades de dissolução e concomitante a isso a geração de cavernas. O início do processo há a formação de microcavidades e mesocavidades, influenciada pela lixiviação supergênica e principalmente pela alteração hidrotermal.

4. DISCUSSÃO

As características petrográficas do testemunho de sondagem, N4WS 1405 ao longo da Formação Carajás, FFB e rochas associadas, podem estar relacionadas a bacias sedimentares hermeticamente fechadas e/ou semifechadas, o que poderia favorecer condições cíclicas na formação dos jaspelitos. O bandamento composicional indica um controle deposicional na precipitação química dos sedimentos, influenciadas por condições climáticas sazonais. Estas variações seriam responsáveis pelo bandamento composicional, bem como pela diferença de espessura entre as bandas e as variações mineralógicas.

A precipitação química continuada através do Cambriano proporcionou a geração de uma espessa unidade geológica de FFB ao longo do Cráton Amazônico. Entretanto, a exposição destes depósitos em condições intempéricas durante o Cenozoico, desestabilizou as bandas silicosas e férricas/ferrosas pré-cambrianas, gerando dissolução das bandas composicionais silicosas e ferrosas originando microcavidades nas FFB, possibilitando a precipitação dos “espeleotemas”, através da

Os processos de intrusões magmáticas subvulcânicas relacionados aos diabásios e basaltos da Formação Igarapé Cigarra, provavelmente forneceram líquidos hidrotermais que contribuíram na solubilização das bandas da FFB, também geraram microcavidades e mesocavidades de dissolução, onde ocorre a precipitação dos “espeleotemas”.

As rochas sub-vulcânicas analisadas foram imprescindíveis para o entendimento das alterações nas FFB. Podendo-se inferir que estas rochas foram submetida a alteração hidrotermal intensa e generalizada, que modificou profundamente a composição química e mineralógica das mesmas. Lindenmayer et al.1994a, propôs, através de modelagem de massa, que estas alterações aconteceram entre 650°-550°C, ele associou à

intrusão do granitoide anarogênico, pertencente próximo a área. Fluidos sub-saturados em Ca e saturados em Si, Na K e B, ocasionaram a lixiviação em Ca e Sr, provocando uma albitização do plagioclásio cálcico. A intensa concentração de serpentina, clorita, biotita e sericita se dá pelo fato dos minerais primários de rochas máficas apresentarem totalmente ou parcialmente alterados, respectivamente como: piroxênio, anfibólio e plagioclásio. As texturas ígneas, quando observadas, foram identificadas como: ofítica, esferulítica e amigdalas. Os minerais acessórios como: zircão, apatita e epidoto foram formados devido a processos hidrotermais, confirmando com isso, a formas dos zircões e epidotos que mostram-se bastantes deformadas.

As estruturas diagenéticas observadas nos jaspelitos ao longo do testemunho de sondagem N4WS-1495 permitem considerar a respeito da evolução do minério de ferro de Carajás. Um dos principais processos que determinaram esta evolução está relacionado a desidratação e a litificação dos sedimentos. Os bandamentos saturados em águas sofreram gradativamente desidratação de seus estratos através de processos de sobrecarga de forma que as águas intersticiais que foram expelidas do bandamento composicional geraram estruturas de sobrecarga. Contatos interpenetrativos e pods indicam pressão litostática exercida pelos sedimentos sobrepostos. Estas estruturas foram originadas na fase da diagênese, em estado hidroplástico, onde o pacote de sedimentos possivelmente sofria deformações por compactações e irregularidades no fundo da bacia, e as bandas de jaspe e opacos deslizavam umas sobre as outras, utilizando os planos de acamamento como superfície de deslocamento, deformando-se.

Processos tectônicos ocorridos na área podem ter afetado as estruturas sindeposicionais, guardando estruturas do tipo dobras, falhas e fraturas.

5. CONCLUSÕES

O estudo petrográfico dos jaspelitos ao longo do furo de sondagem N4WS 1495 permitiu concluir que:

Os espeleotemas analisados ocorriam predominantemente a profundidades acima de 440m ao longo de Jaspelitos não alterado e Jaspelitos pouco alterado. A formação desses “espeleotemas” foi ocasionada pela saturação de líquidos oriundos da superfície que adentraram em condutos através de falhas e fraturas. Os espeleotemas não se desenvolveram nas porções mais superficiais devido às intrusões ígneas das rochas máficas que provocaram transformações mineralógicas nos jaspelitos adjacentes, estando relacionados aos Jaspelitos Hornfels e Jaspelito Brechado.

As estruturas diagenéticas observadas nos Jaspelitos determinaram uma evolução relacionada a desidratação destas rochas, bem como sua litificação, gerando estruturas de sobrecarga, contatos interpenetrativos e estruturas pods durante estágio diagenético hidroplástico, bem como processos tectônicos gerando estruturas do tipo dobras, falhas e fraturas. Além disso, a intensa mobilização de fluidos, ricos principalmente em quartzo e, subordinadamente, em hematita e carbonato, cimentaram os fragmentos de jaspelitos, originando os Jaspelitos Brechados, estruturas estrutura tipo em pente, que participaram do processo de enriquecimento do jaspelitos em minério de ferro.

REFERÊNCIAS

- 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.
- Alibert C. & McCulloch M.T. 1993. **Rare earth element and neodymium isotopic compositions of the banded iron-formations and associated shales from Hamersley, western Australia.** *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 57:187-204
- Bau M. & Dulski P. 1996. **Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa.** *Precambrian Research*, 79:37-55.
- Beukes N.J. 1973. **Precambrian iron-formations of Southern África.** *Economia Geology*, 68:960-1004.
- BRITO NEVES, B. B. & CORDANI, U. G., 1991. **Tectonic Evolution of South America during the Late Proterozoic.** *Prec. Res.*, 53:23-40.

- CABRAL, E.S. **Petrografia de formações ferríferas (bif's) associadas a cavernas da Serra Sul (Serra dos Carajás – Pa)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Marabá, 2014.
- DREVER J.I. 1974. **Geochemical model for the origin of Precambrian banded iron formations**. *Geol. Soc. America Bull.* 85:1099-1106.
- Dymek R.F. & Klein, C. 1988. **Chemistry, Petrology and origin of banded iron formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland**. *Precambrian Research*, 39: 247-302.
- EICHLER, J. 1976. **Origin of the Precambrian banded iron formations**. In: K.H. Wolf (ed.) **Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. v. 7** Amsterdam, Elsevier, 157-201.
- Gole, M., and Klein, C., 1981, **High-grade metamorphic Archean banded iron-formations, Western Australia: Assemblages with coexisting pyroxenes-fayalite**: *American Mineralogist*, v. 66, p. 87-99.
- 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.
- GROSS G.A. 1973. **The depositional environment of principal types of Precambrian iron-formations**. In: **Genesis of Precambrian iron and manganese deposits**. Paris, Unesco Earth Sei. 9:15-21.
- HOLLAND H.D. 1973. **The oceans: A possible source of iron in iron-formations**. *Econ. Geol.*, 68:1169-1172.
- Horstmann U.E. & Hålbich I.W. 1995. **Chemical composition of banded iron-formations of the Griqualand West sequence, Northern Cape Province, South Africa**, in comparison with other Precambrian iron-formations. *Precambrian Research*, 72:109-145
- Isley A.E. 1995. **Hydrothermal Plumes and the Delivery of Iron to Banded Iron Formation**. *Jour. Geology*, 103:169-185.
- JAMES H.L. 1983. **Distribution of banded iron-formation in space and time**. In: A.F. Trendall & R. C. Morris (eds). **Iron-formations Facts and Problems**. Amsterdam, Elsevier, 471-490.
- Klein C. 1992. Introduction. In: J.W. Schopf & C. Klein (eds.) **The Proterozoic Biosphere: a multidisciplinary study**. Cambridge University Press.
- MACAMBIRA J.B. & SILVA V.F. 1995. **Estudo Petrológico, Mineralógico e Caracterização das Estruturas Sedimentares e Diagenéticas Preservadas na Formação Carajás, Estado do Pará**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 7:363-387.
- 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.
- Manikyamba C., Balaram V., Naqvi S.M. 1993. **Geochemical signatures of polygenetic origin of a banded iron formation (banded iron-formation) of the Archean Sandur greenstone belt (schist belt) Karnataka nucleus, Índia**. *Precambrian Research*, 61: 137-164.
- Maynard J.B. 1983. **Geochemistry of Sedimentary Ore Deposits**. New York. Springer-Verlag New York Inc. p. 9-37.
- OLIVEIRA, A.N. **Contribuição hidrogeológica na formação e evolução das cavidades da Serra Leste, Carajás-Pa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade do Sul e Sudeste do Pará, Centro de Geociências, Marabá, 2015.

- PINHEIRO, T.G.C. **Gênese e evolução de espeleotemas em formações ferríferas /laterítica das cavidades N4WS 067 e S11D 83 da região de Carajás.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade do Sul e Sudeste do Pará, Centro de Geociências, Marabá, 2015.
- RIOS, F.R. **Gênese e evolução de mesocavidades e espeleotemas em testemunho de sondagem N4WS-1495 ao longo de formações ferríferas bandadas, Serra Norte, Província Mineral de Carajás-Pa.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade do Sul e Sudeste do Pará, Centro de Geociências, Marabá, 2015.
- SANTOS J.O.S. Hartmann L. A., Gaudette H.E., GrovesD.I., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. **A new understanding of the provinces of thye Amazon Craton based on integration.**
- SILVA, I.C.R. **Gênese e evolução de espeleotemas em cavidade natural N4E-29 ao longo de formações ferríferas bandadas, Serra Norte de Carajás-Pa.**
- Simonson, B.M., and Hassler, S.W., 1996, **Was the deposition of large Precambrian iron formations linked to major marine transgressions?** The Journal of Geology, vol. 104, pp. 665–676.
- Trendall A.F., Basei M.A.S., Laeter J.R., Nelson D.R. 1998. **SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton.** Journal of South American Earth Science, 11: 265-277
- VASQUEZ, M.L. et al. 2008. **Geocronologia em zircão, monazita e granada e isótopos de Nd das associações Litológicas da porção oeste do Domínio Bacajá: Evolução crustal da porção Meridional da Província Maroni-Itacaiunas- Sudeste do Cráton Amazônico. 2008, 193p.** Tese de doutorado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.