



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

RENATO DA SILVA QUEIROZ

**PETROGRAFIA DO TESTEMUNHO DE SONDAGEM N4WS 1495, DAS
FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS, SERRA NORTE, CARAJÁS-PA.**

MARABÁ-PA
2015

RENATO DA SILVA QUEIROZ

**PETROGRAFIA DO TESTEMUNHO DE SONDAGEM N4WS 1495, DAS
FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS, SERRA NORTE, CARAJÁS-PA.**

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

Orientador: Prof. Dr. Antônio Emídio de
Araújo dos Santos Júnior
Co-orientador: Prof. Dr. José de Arimatéia
Costa de Almeida

MARABÁ-PA
2015

RENATO DA SILVA QUEIROZ

**PETROGRAFIA DO TESTEMUNHO DE SONDAGEM N4WS 1495, DAS
FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS, SERRA NORTE, CARAJÁS-PA.**

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

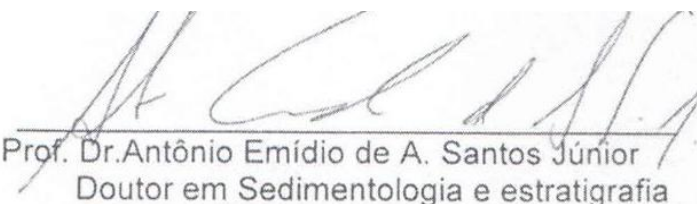
Orientador: Prof. Dr. Antônio Emídio de Araújo dos Santos Júnior

Co-orientador: Prof. Dr. José de Arimatéia Costa de Almeida

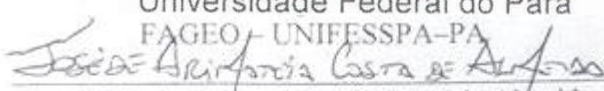
Data da aprovação: 25/02/2015

Conceito: BOM

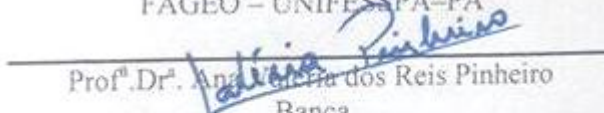
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Antônio Emídio de A. Santos Júnior
Doutor em Sedimentologia e estratigrafia
Universidade Federal do Pará
FAGEO – UNIFESSPA-PA



Prof. Dr. José de Arimatéia Costa de Almeida
Banca
Doutor em Geoquímica e Petrologia
FAGEO – UNIFESSPA-PA



Prof. Dr. Angélica dos Reis Pinheiro
Banca
Doutora em Geologia
FAGEO – UNIFESSPA-PA

“Aprender sem pensar é tempo perdido”. (Confúcio)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho, meu deu força e coragem durante toda esta caminhada.

Aos meus pais e irmãos, por depositarem total confiança no meu potencial e por darem conselhos fundamentais para a vida acadêmica.

À minha namorada, Marcela Santos, que sempre me incentivou a realizar um trabalho da melhor forma possível, e também pelas diversas contribuições que ela realizou em minha vida. Nos momentos mais difíceis do meu curso ela sempre estava ao meu lado me dando forças. Obrigado meu amor, te amo!

Aos meus amigos Caio Mesquita e Fernando Rios pela convivência que obtivemos durante esses cinco anos, morar com vocês foi uma grande aprendizagem.

A meu orientador Prof. Emídio, por me instigar nas pesquisas, no desenrolar das ideias; por sua paciência; pelo tempo dedicado nesta pesquisa, por estar sempre disposto a nos ouvir, dirimir dúvida e solucionar problemas. E aos demais professores que nos subsidiaram com esforços ingentes em toda a caminhada acadêmica.

RESUMO

Os depósitos de ferro de Carajás pertencem à Formação Carajás, uma espessa (100-400m) formação ferrífera bandada e laminada (jaspilito), localizada no estado do Pará, norte do Brasil. Esta formação aflora quase continuamente por, pelo menos, 260 km, em 60 depósitos, distribuídos em três serras principais, São Félix, Leste e Carajás. A última é uma estrutura sinformal sub-dividida em serra Sul e Norte. Numerosos trabalhos já trataram da petrografia do jaspilito, destacando todas as suas características sedimentares primárias e diagenéticas. No entanto, poucos trabalhos utilizam a petrografia para discutir o paleoambiente e a origem do minério de ferro. Entre as correntes de pensamentos que mais discutem sobre o paleoambiente referem-se sobre a formação de rochas ferríferas bandadas em ambiente de Plataforma Rasa, devido à homogeneidade geoquímica da água do mar que prevaleceria às condições cíclicas de formação dos jaspelitos. E a corrente de pensamentos sobre a gênese do minério de ferro seria por alteração hipogênica e alteração supergênica, que apesar de defender origens distintas assumem que dissolução da sílica foi um agente atuante durante a formação do depósito. Este trabalho possui o objetivo de estudar petrologicamente as rochas do testemunho de sondagem a fim de caracterizar os paleoambientes de sedimentação da FFB's de Carajás, além de avaliar os processos diagenéticos que afetaram os jaspilitos após sua deposição. Para isto, analisou-se 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 e análise no Microscópio eletrônico de Varredura (MEV), a fim de observar as feições que evidenciavam a preservação e alteração da rocha, como as texturas, estruturas, cavidades de dissolução, substituição e neoformação de minerais, para diferenciar os processos sindeposicionais e pósdeposicionais. Com base na progressão do grau de alteração da rocha, foram individualizadas as seguintes categorias: Jaspilito não Alterado, Jaspilito Pouco Alterado, Jaspilito Alterado, Jaspilito Brechado, Rocha máfica com Textura Ígnea Preservada, Rocha Máfica Fortemente Alterada e Jaspilito Hornfels.

As estruturas diagenéticas observadas são caracterizadas por feições atribuídas à diferença de composição das bandas e a pressão litostática, que causa a compactação, desidratação e a litificação dos sedimentos. Essas bandas, saturados de água teriam densidades e comportamentos mecânicos distintos, provocando deformações de diversas intensidades.

As rochas da Formação Carajás apresentam feições como bandamento composicional; deslocamento intrabandas; dobras; adelgaçamento e rompimento; contatos interpenetrativos; *pods*; escavação e preenchimento; *pent* e a extrema homogeneidade mineralógica composta principalmente por hematita (1,2 e 3), magnetita, maghemita e goetita indicam um controle deposicional na precipitação química dos sedimentos que deram origem à BIF de Carajás. A sílica estaria em níveis próximos da saturação na água do mar, precipitando-se como gel, influenciadas por condições climáticas sazonais. O ferro seria derivado da lixiviação hidrotermal da pilha de derrames basálticos da Formação Parauapebas. O oxigênio na atmosfera, no arqueano, estaria em níveis tal que haveria um grande reservatório de ferro solúvel na parte profunda do mar. A ressurgência dessas águas em porções profundas do oceano primitivo, distantes da costa e na ausência de sedimentos clásticos, levaria a deposição do ferro por oxidação como oxi-hidróxido. Apesar de ocorrerem no mesmo sítio deposicional e serem precipitados químicos, ferro e silício teriam controles distintos. Para o ferro o Eh seria oxidante e para o silício, a supersaturação que contribuiria para a precipitação. Esses controles não interferiam entre si, tais como aporte do ferro, lixiviação hidrotermal, variação na taxa de evaporação ou na taxa de fornecimento de água pobre em sílica. Essas variações seriam responsáveis, tanto pelo bandamento como pela diferença de espessura entre as bandas, assim como pelas pequenas variações na mineralogia.

Palavras Chaves: 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 (jaspilite), located in Pará State, northern Brazil. This almost continuous formation, outcrops for at least 260km in 60 deposits, along three main ridges, São Félix, East and Carajás. Latter is a sinformal structure sub-divided into Serra Norte and Serra Sul. Numerous works have treated jaspilite petrography, highlighting all its primary and diagenetic sedimentary characteristics. However, few studies use petrography to discuss the paleoenvironment and iron ore origin. Among point of thought that more discuss paleoenvironment concern about formation of banded iron rocks in Shallow Platform environment, due to geochemical homogeneity of seawater that would prevail cyclical conditions of jaspelites formation. And the point of thoughts on the genesis of iron ore would be by hipogenic changing and supergene alteration, despite advocate different origins assume that dissolution of silica was an active agent during the formation of deposit. 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 jaspilites 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 and analysis in electron microscope (SEM) 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: jaspilite not changed, jaspilite little Changed, Changed jaspilite, jaspilite Breccia, mafic igneous rock with texture preserved, Mafic Rock Strongly Amended and jaspilite Hornfels.

Observed structures are characterized by diagenetic features attributed to difference in composition of webs and lithostatic pressure which causes compression, dehydration and lithification sediment. These bands, saturated with water have different densities and mechanical behavior, causing various deformations intensities.

Carajás rocks of formation have features as compositional banding; intrabands displacement; folds; thinning and breakup; interpenetrative contacts; pods; excavation and filling; pent and extreme homogeneity mineralogical composed mainly of hematite (1, 2 and 3), magnetite, maghemite and goethite indicate depositional control in the chemical precipitation of sediments that originated Carajás BIF. Silica would be close to saturation levels in seawater, rushing as gel, influenced by seasonal weather conditions. Iron would be derived from hydrothermal leaching pile of basaltic Parauapebas formation. Oxygen in the atmosphere, in the Archean, would be at levels such that there would be a large reservoir of soluble iron in the deep part of sea. Upwelling of groundwater in deep portions of the primitive ocean, far from the coast and in the absence of clastic sediments would lead to deposition of iron by oxidation as oxy-hydroxide. Despite occur in the same place and depositional be precipitated chemicals, iron and silicon have different controls. For iron Eh would oxidant and for silicon, the supersaturation would contribute to the precipitation. These controls do not interfered each other, such as iron intake, hydrothermal leaching, variation in evaporation rate or the rate of supply of water poor in silica. These variations would be responsible both for banding as the difference between the thickness of the bands, as well as by small variations in mineralogy.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da localização e acesso da mina de N4.....	14
Figura 2: Mapa das Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico: A- Tassinari & Macambira 2004, B- Santos <i>et al.</i> , 2006.	16
Figura 3: Mapa geológico da Província Carajás (OLIVEIRA <i>et al.</i> 2014).....	17
Figura 4: Perfil estratigráfico referente ao testemunho de sondagem N4WS-1495.....	25
Figura 5: a) Jaspilito não alterado. b) Cristais euédricos de magnetita com estruturas em <i>pent.</i> c) Bandamento de Hm1. d) Banda de jaspe com a de Hm1. e) Cristais de Hem3, Mgh, Gt, entre o jaspe. f) Cristais de Mgh envolto por Hem1.....	27
Figura 6: (a) Cristais de magnetita com forma octaédrica. (b) Cristais de Hem3 com hábito globular. (c) Cristais de Hem 3, entretanto, com hábito alongado e placoide. (d) Cristais de Hem3 placóide, e secundariamente Hem2 nas bordas.	28
Figura 7: a) Jaspilito pouco alterado. b) Alteração que ocorre nos jaspilitos. c) Estrutura de sobre carga de composição de Hem1. d) Banda de <i>Chert</i> onulada, brechada e falhada. e) Cristais de Hem2, intercalada entre jaspe. f) Cristais de Hem2 intercalado com jaspe.	30
Figura 8: (a) Trama de minerais alongados, caracterizado por Hem. (b) Minerais placóides definidos como Hem 3. (c) Cristais de magnetita e goetita forma radial. (d) Cristais euédrico de magnetita e nas suas adjacências cristais de Hem 1 e 2.....	31
Figura 9: a) Jaspilito alterado. b) Alteração que ocorre nos jaspilitos. c) Contraste entre a banda de opaco com as alterações adjacentes. d) Diferença de coloração da banda de ferro e outra oriunda do processo de alteração da clorita. e) Cristais de magnetita imersos em uma massa de Hem1. f) fraturas seccionando obliquamente a banda de minerais opacos.	33
Figura 10: (a) Cristais de magnetita. (b) Cristais de goetita com aspecto alongado. (c) Cristais que possuem a aparência de esferas. (d) Cristais euédricos de magnetita, empregnados por Hem1.	34
Figura 11: a) Jaspilito brechado. b) Fragmentos de jaspe preservando a laminação plana paralela. c) Contato entre o jaspilito brechado e o jaspe. d) Cristais de Hem2 e laminações de qtz 2. e) Cristais de Hem2. f) Bandas de Hem1 e bandas de siderita.	37
Figura 12: (a) Fragmentos de magnetita, hematita 2 e 3. (b) Cristal de maghemita caracterizado por conter nas bordas Hem2. (c) Cristais de magnetita envolto por Hem3 e clorita. (d) Quartzo, entretanto os cristais menores esbranquiçados são Hem 1 e 2.	38
Figura 13: a) Fotografia de amostra de mão da rocha máfica pouco alterado, denotando-se a presença de vênulas de quartzo. b) Textura subofítica, compostas por Pl, Opx e Chl. c) Textura esferulítica composta por silimanita. d) Amígdalas de Qtz. e) Carbonato, Chl e Bt. f) Minerais opacos, definidos como hematita 2.	41
Figura 14: (a) Cristais de serpentina. (b) Cloritas que possuem um aspecto fibroso e a biotita com habito placoide. (c) Cristais de ortopiroxênio. (d) Cristais de clorita com aspecto fibroso e cristais fosco de quartzo.....	42
Figura 15: a) rocha máfica fortemente alterada. b) Cristais xenomórfico de Pl e Bt. c) Cristais de apatita inclusos em Pl. d) Cristais de zircão hidrotermal, plagioclásio e quartzo. e) Cristais de Hm2, no qual, se da pela alteração da magnetita. f) Pirita.	45
Figura 16: (a) Cristais de carbonato de alumínio. (b) Minerais como clorita, apatita e biotita com formas de placas. c) Aspecto da biotita. (d) Clorita.	46
Figura 17: Jaspilito hornfels. b) Textura hornfels. c) Aspecto brechado e falhamentos. (d) Concentrações irregulares de hematita 1.	47
Figura 18: Ambiente deposicional esquemático para deposição de formações ferríferas e litofácies associadas em um sistema marinho com uma coluna de água estratificada em (a) estágio regressivo e (b) transgressivo.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro Litoestratigráfico de parte da Serra Norte.	18
Tabela 2: Amostras coletadas no testemunho de sondagem N4WS-1495, com o litotipo e suas respectivas profundidades.....	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO	13
1.2 GEOLOGIA REGIONAL	14
1.2.1 Cráton Amazônico	14
1.2.1.1 Bacia Carajás	16
1.2.2 Litoestratigrafia	17
1.2.3 Hidrotermalismo	19
1.3 JUSTIFICATIVA	19
1.4 OBJETIVOS	20
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	20
1.5.1 Levantamento Bibliográfico	20
1.5.2 Análise Laboratorial	21
2 GEOLOGIA LOCAL	24
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO FURO N4WS-1495	24
3 PETROGRAFIA	26
3.1 JASPILITO NÃO ALTERADO	26
3.2 JASPILITO POUCO ALTERADO	28
3.3 JASPILITO ALTERADO	31
3.4 JASPILITO BRECHADO	34
3.5 ROCHA MÁFICA COM TEXTURA IGNEA PRESERVADA	39
3.6 ROCHA MÁFICA FORTEMENTE ALTERADA	42
3.7 JASPILITO HORNFELS	46
4 DISCUSSÃO	48
5 CONCLUSÃO	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

As Formações Ferríferas Bandadas (FFB) têm atraído atenção dos pesquisadores e atualmente vem desempenhando um papel importante na economia nacional por conter grande quantidade de minério de ferro associado. Além de sua importância econômica, os depósitos de FFB são objeto de estudos e controvérsia na comunidade científica, as quais são relacionadas principalmente a sua origem, evolução e modelo paleoambiental, enfocando fatores como: atmosfera, biosfera, água, tipo de bacia, fonte do ferro e do silício e, sobretudo, seu bandamento composicional peculiar (EICHLER 1976, HOLLAND 1973, DREVER 1974 E MACAMBIRA 2003).

As FFB, restritas ao intervalo da história da Terra (3,8 - 1,9 Ga), são constituídas quase que exclusivamente por Fe, Si e oxigênio, ocorrendo como precipitados em grandes bacias sedimentares, sendo caracterizadas por bandamentos composicionais de minerais opacos e transparentes/translúcidos representados por uma variedade de óxidos/hidróxidos de ferro e quartzo microcristalino ou jaspe, respectivamente (GROSS, 1973; EICHLER, 1976).

As FFB da região de Carajás, área do estudo, são interpretadas acerca do paleoambiente e da formação do minério de ferro. O qual é interpretado como oriundo da sedimentação química do ambiente Plataforma Rasa, favorecido pela homogeneidade geoquímica da água do mar e das condições cíclicas específica do mesmo. A sílica estaria em níveis próximos da saturação na água, precipitando-se como gel. Já o ferro seria derivado da lixiviação hidrotermal dos derrames basálticos da Formação Parauapebas. O mesmo teriam controles distintos, o silício, a supersaturação que contribuiria para a precipitação da sílica já ferro o fator Eh seria oxidante, contribuindo assim para a mudança de Fe^{+2} para Fe^{+3} . Essas variações seriam responsáveis, tanto pelo bandamento como pela diferença de espessura entre as bandas, assim como pelas pequenas variações na mineralogia, (EICHLER 1976). Relacionado ao processo de formação do minério de ferro, há duas hipótese: a) origem supergênica e b) origem hidrotermal. A origem supergênica provém da alteração laterítica que provoca a lixiviação supergênica da sílica dos jaspilitos e uma concentração residual em hematita, defendida por muitos pesquisadores (DARDENNE & SCHOBENHAUS, 2001 ; TOLBERT *et al.*, 1971; BEISIEGEL, 1982). A origem da alteração hidrotermal evidencia a mudança da composição química e mineralógica das rochas. E esta associado à intrusão de granitoide anorogênico do salobo e intrusões máficas ígneas recorrentes na área (LINDENMAYER *et al.* 1994).

Portanto, o presente trabalho realiza uma caracterização petrográfica sistemática em formações ferríferas bandadas (BIF's), com o objetivo obter implicações a respeito das condições paleoambientais e evolução do minério de ferro de Carajás.

1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

O furo de sondagem situa-se na mina N4WS, a área de estudo esta localizada no município de Parauapebas sudeste do Estado do Pará, inserida no Platô N4, Serra Norte de Carajás (Figura 1). O objeto de estudo desse trabalho corresponde à mina N4WS, o qual corresponde a Formação Carajás, Grupo Grão Pará, constituído essencialmente por Jaspilitos.

O acesso pode ser feito por via aérea até o Aeroporto do Núcleo Urbano de Carajás, por trem, pela ferrovia Carajás até Parauapebas, ou saindo de Marabá pela rodovia pavimentada PA 150 até a cidade de Eldorado dos Carajás, de lá segue pela PA 275 para Parauapebas, em seguida para o núcleo urbano até as Minas de Ferro da VALE, o acesso às minas pode ser feito através de vias pavimentadas ou não. Tanto a cidade de Parauapebas quanto o Núcleo Urbano de Carajás contam com hotéis, hospitais, banco, telefonia celular, internet etc.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO

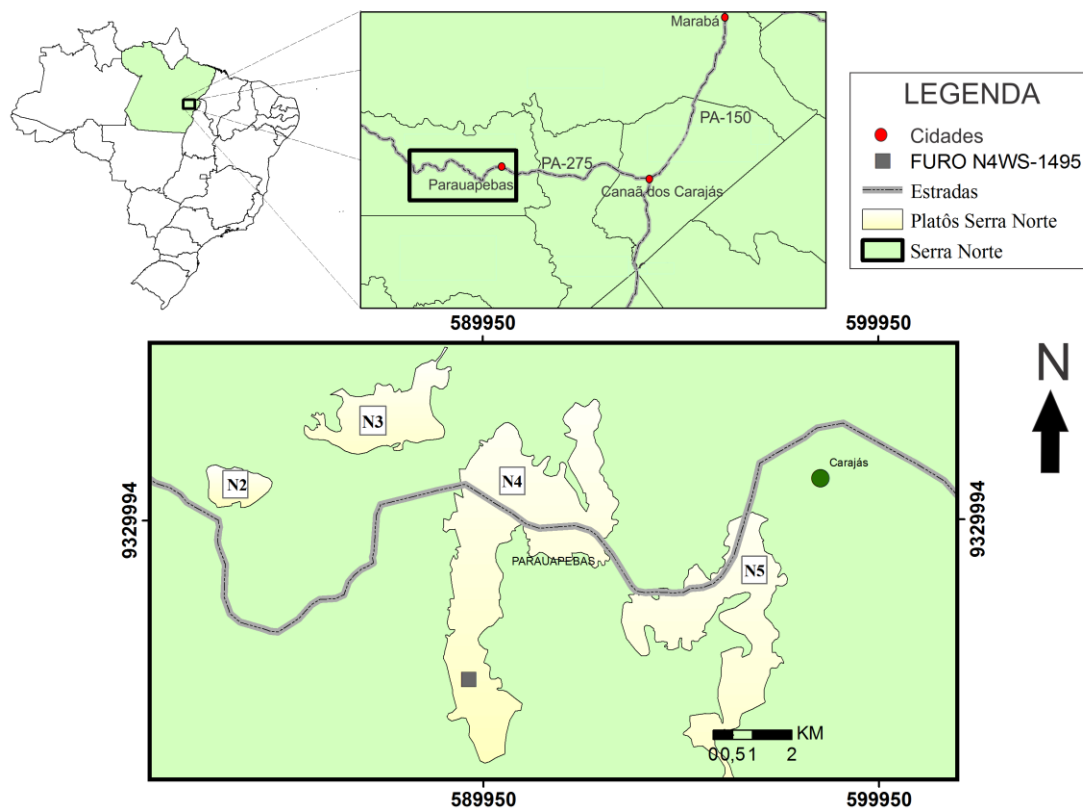


Figura 1: Mapa com a localização e acesso à mina de N4 com as principais vias terrestres.

1.2 GEOLOGIA REGIONAL

1.2.1 Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico localiza-se na porção norte da Plataforma Sul-Americana, recobre cerca de aproximadamente $4.500.000 \text{ km}^2$, incluindo a parte norte do Brasil. Ele representa uma grande placa litosférica continental, composta por várias províncias crustais de idades arqueana a mesoproterozóica, estabilizada tectonicamente em torno de 1.0 Ga, comportando-se como placa estável neoproterozóica, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais brasileiras Brito Neves & Cordani (1991). Vários modelos de compartimentação tectônica têm sido propostos para o Cráton Amazônico (CORDANI *et al.* 1979, TEIXEIRA *et al.* 1989, TASSINARI 1996, SANTOS *et al.* 2000, TASSINARI *et al.* 2000, AMARAL 1974). Dentre as propostas mais discutidas na literatura recente, destacam-se a de Tassinari &

Macambira (2004) e Santos *et al.* (2006), de acordo com a figura 2, que em linhas gerais, são similares, com algumas discordâncias sobretudo em relação aos limites de províncias tectônicas, mas que admitem que a evolução do Cráton Amazônico é resultante de sucessivos episódios de acreção crustal durante o Paleoproterozóico e o Mesoproterozóico, em volta de um núcleo mais antigo, estabilizado no final do Arqueano, Província Carajás, Santos *et al.* (2006) ou porção sudeste da Província Amazônia Central, Tassinari & Macambira (2004). Os diversos trabalhos publicados sobre o Cráton Amazônico reconheceram a existência de sete províncias tectônicas, com idades entre 3,1 e 0,99 Ga, assim denominadas: Carajás-Imataca (3,10–2,53 Ga), Transamazônica (2,25 - 2,00 Ga), Tapajós-Parima (2,10 - 1,87 Ga), Amazônia Central (1,88 - 1,77 Ga), Rondônia-Juruena (1,75 - 1,47 Ga), Rio Negro (1,86 - 1,52 Ga) e Sunsás (1,33 - 0,99 Ga). De acordo com esta proposta, os núcleos arqueanos estão representados pelos blocos Carajás, a sul, e Imataca, a norte; as Províncias Transamazonas, Tapajós-Parima e Rondônia- Juruena representam províncias juvenis, geradas por sucessivos eventos de acreção crustal no Paleoproterozóico, relacionados a sistemas de arcos magmáticos.

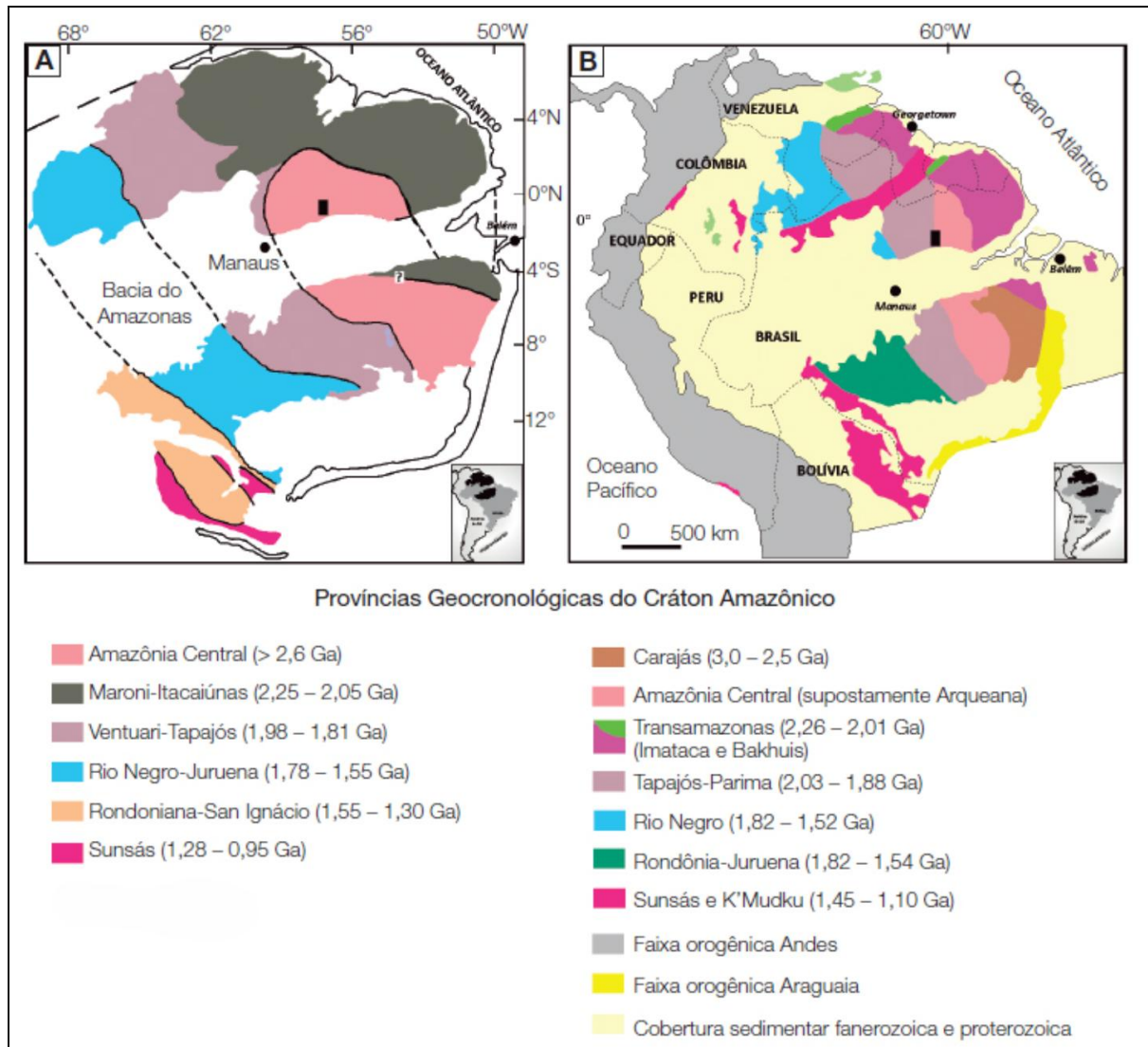


Figura 2: Mapa das Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico: A- Tassinari & Macambira 2004 cuja idades das províncias foram atualizadas por de acordo com Cordani *et al.* (2009); B- Santos *et al.*, 2006.

1.2.1.1 Bacia Carajás

A Bacia Carajás está inserida na Província Carajás (Figura 3), que está localizada na porção Sul-Oriental do Cráton Amazônico. Provavelmente, esta bacia depositou-se através de movimentos extensionais, acompanhados por intenso magmatismo, cuja geometria foi controlada por estruturas pré-existentes, Santos *et al.* (2000) denominaram a porção sudeste da Província da Amazônia Central, de Província Carajás que seria integralmente formada durante o arqueano, então, eles assumiram que esta Província se prolongaria até o Sul do Amapá.

A DOCEGEO (1988) considera que a bacia de Carajás, na qual domina o Supergrupo Itacaiúnas formou-se sobre o terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM). Dall' Agnol *et al.* (1997, 2006) e Feio (2011) acreditam que a região entre Xinguara e a porção Sul da Bacia de Carajás corresponde a um domínio de transição, pois seria uma extensão do TGGRM, intensamente afetada por eventos magmáticos e tectônicos registrados na Bacia Carajás. No entanto, o limite entre o TGGRM e a bacia Carajás permanece ainda indefinido.

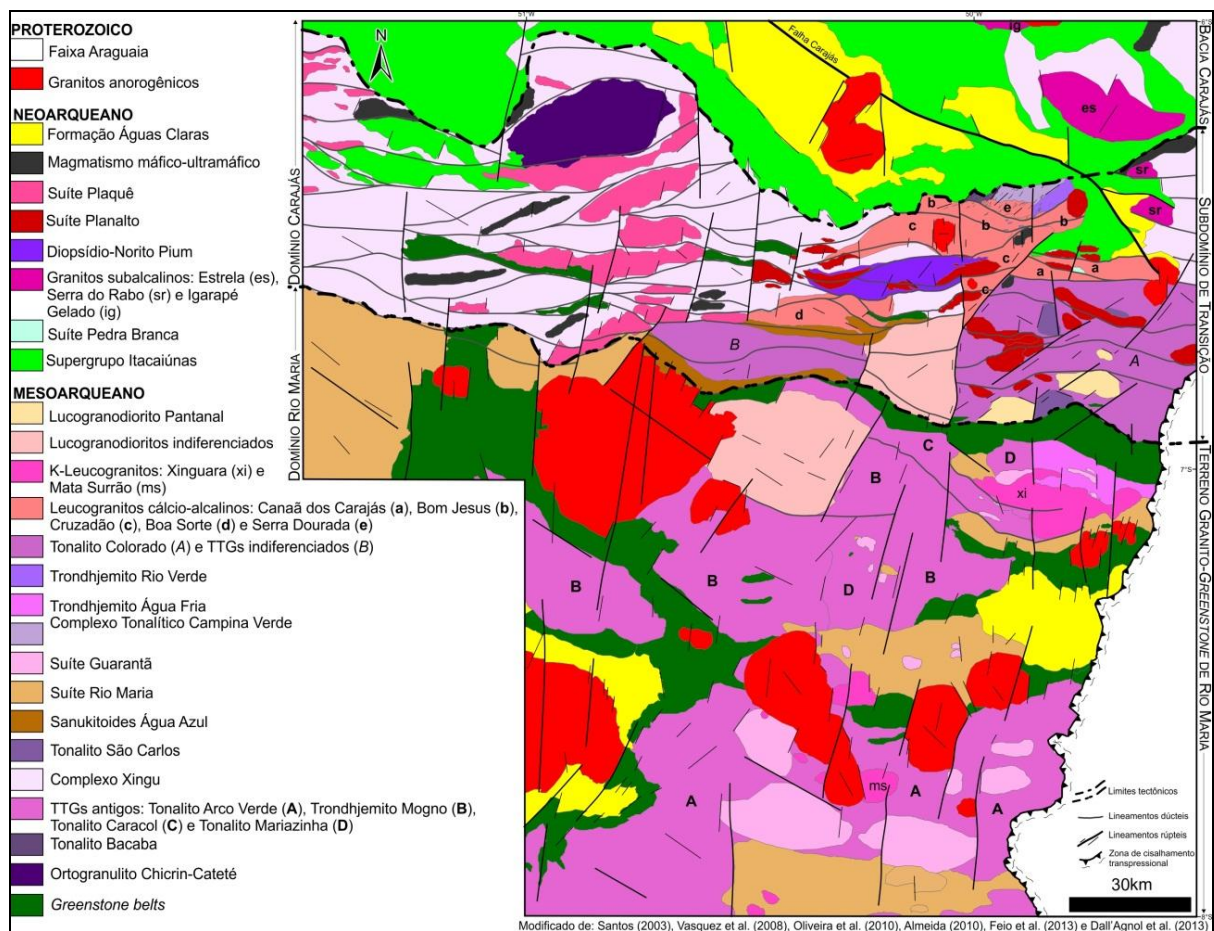


Figura 3: Mapa geológico da Província Carajás (Gabriel 2014).

1.2.2 Litoestratigrafia

A estratigrafia relacionada à Bacia Carajás é baseada em Macambira (2003), no qual mostra a estratigrafia da Serra Norte, (Tabela 1).

Tabela 1: Quadro Litoestratigráfico de parte da Serra Norte.

ÉON	ERA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
FANEROZÓICO	PALEOZÓICO	CORPOS MÁFICOS INTRUSIVOS	Diques e soleiras de diabásio
PROTEROZÓICO	INFERIOR	GRANITO SERRA DOS CARAJÁS	Granitos a anfibólios e/ ou Biotita
		GABRO SANTA INÊS	Gabro Grosseiro hidrotermalizado
		FORMAÇÃO IGARAPÉ AZUL	Arenitos com níveis conglomeráticos e siltitos intercalado
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		Gnáisse granodioríticos a tonalíticos, anfibolitos e trochjemitos

1.2.3 Hidrotermalismo

As rochas da Bacia Carajás foram submetida à alteração hidrotermal intensa e generalizada, que modificou profundamente a composição química e mineralógica dessas rochas. Estudos de balanço de massa e de química mineral, efetuados em rochas do Grupo Salobo, mostraram que, durante o evento hidrotermal de alta temperatura (650-550°C), associado à intrusão de granitoide anarogênico do salobo (LINDENMAYER *et al.* 1994), contemporâneo a outros granitos da bacia, fluidos subsaturados em Ca e saturados em Si, Na, K e B, ocasionaram lixiviação de Ca e Sr.

As alterações hidrotermais semelhantes, descritas a partir de estudos de inclusões fluídas (RIBEIRO & VILLAS 1990) ou balanço de massa (MEIRELLES & DARDENNE 1991 e SACHAS 1993), nas rochas vulcânicas básicas dos Grãos do Pará e Bahia, mostraram que processos de alteração hidrotermal têm levado vários autores a interpretar as rochas vulcânicas de Carajás como provenientes de magmas de diversas afiliações, tais como toleítica, cálcio-alcálica e shoshonítica.

Os metabasaltos da Formação Parauapebas Grupo Grão Pará, são rochas verde acinzentadas de textura média a fina e caracterizadas por apresentarem intensa venulação. A cor verde é dada pela clorita, mineral de alteração importante nessas rochas. Os metabasaltos apresentam intensidades variáveis de alteração hidrotermal, conseqüentemente a preservação das texturas ígneas.

1.3 JUSTIFICATIVA

As FFB's da Formação Carajás são adequadas para este estudo de reconstrução Paleoambiental e Processos diagenéticos, devido não ter sido afetado por metamorfismo regional de soterramento, o qual apresentam estruturas deposicionais e diagenéticas preservadas (MACAMBIRA e SILVA 1995). Na região de Carajás, essas rochas não foram ainda satisfatoriamente estudadas no intuito de reconstruir seus ambientes de paleosedimentação e uma influência na origem e evolução do minério de ferro associado.

1.4 OBJETIVOS

Realizar estudos petrográficos em testemunho de sondagem a fim de caracterizar os paleoambientes de sedimentação das FFB's de Carajás. Além disso, caracterizar os processos diagenéticos e supergênico que os afetaram.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Descrever macro e microscopicamente os jaspilitos a fim de caracterizar composição mineralógica primária e transformações secundárias que afetaram estas rochas.
- ✓ Diferenciar petrograficamente as rochas máficas intrusivas, estabelecendo o grau de alteração e citar as modificações causadas nos jaspilitos, tecendo considerações a respeito de sua influência nas transformações diagenéticas das FFB's.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir da análise de 43 amostras do furo de sondagem da mina N4WS 1495, as quais foram coletadas pela empresa VALE S.A. As mesmas foram estudadas em diversos aspectos, subdivididos em duas fases: levantamento bibliográfico e análise laboratorial.

1.5.1 Levantamento Bibliográfico

Realizou-se uma revisão bibliográfica a respeito da geologia regional de Carajás, utilizando-se livros, artigos científicos, TCC's, dissertações de mestrado e teses de doutorados. Em seguida efetivaram-se leituras com enfoque em formações ferríferas, denotando sua origem e evolução.

1.5.2 Análise Laboratorial

A análise petrográfica foi realizada em um furo de sondagem contínuo, cerca de 560m de profundidade, correspondendo as rochas da FFB (jaspilitos), interseccionada por rochas ígneas de composição máfica, (Tabela 2).

A petrografia das rochas consistiu nas descrições de amostras de mão com o auxílio da lupa binocular. As características microscópicas foram observadas ao longo de secção polidas e pequenos fragmentos de amostras, com o auxílio do microscópio petrográfico da marca ótico Zeiss (modelo Axioskop 40) de luz transmitida e refletida, no laboratório de mineralogia da Universidade do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) e Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da Universidade Federal do Pará (UFPA-campus Belém).

No Microscópio petrográfico (MP), foram observadas feições de preservação e alteração da rocha, como: texturas, estruturas, cavidades de dissolução, substituição e neoformação de minerais, a fim de diferenciar os processos sindeposicionais e pósdeposicionais.

No MEV foram observados aspectos texturais e mineralógicos dos jaspilitos e, também a composição semiquantitativa dos principais elementos químicos dessas rochas, através do Sistema de Energia Dispersiva (EDS).

As amostras submetidas ao MEV foram observadas em uma câmara a vácuo para obtenção de imagens de texturas. O equipamento foi o MEV modelo LEO-1430: utilizando corrente de feixe de elétrons = 90 μ A, voltagem de aceleração constante = 200kV, distância de trabalho = 15mm, com o tempo de contagem de aquisição de elementos = 30s. Análises pontuais por EDS foram realizadas em todas as amostras, preferencialmente, em porções em que apresentam texturas distintas.

Tabela 2: Amostras coletadas no testemunho de sondagem N4WS-1495, com o litotipo e suas respectivas profundidades.

LITOTIPOS	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	PROFUNDIDADE
Máfica não alterada	NW4S 1495-10	89,8m
Jaspelito brechado	N4WS 1495-11	103m

Jaspelito brechado	N4WS 1495-12	110m
Máfica não alterada	N4WS 1495-13	118,7m
Jaspelito brechado	N4WS 1495-14	128,6m
Máfica alterada	N4WS 1495-15	140,8m
Máfica alterada	N4WS 1495-16	160,2m
Máfica alterada	N4WS 1495-17	180m
Máfica não alterada	N4WS 1495-18	194,4m
Jaspilito não alterado	N4WS 1495-19	219,9m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-20	231,2m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-21	239,9m
Jaspilito não alterado	N4WS 1495-22	249,9m
Jaspilito não alterado	N4WS 1495-23	259,3m
Máfica não alterada	N4WS 1495-24	266,2m
Jaspilito não alterado	N4WS 1495-25	269,4m
Jaspelito hornfels	N4WS 1495-26	277m
Máfica alterada	N4WS 1495-27	287m
Máfica alterada	N4WS 1495-28	308,4m
Máfica alterada	N4WS 1495-29	310,1m
Máfica alterada	N4WS 1495-30	340,8m
Máfica alterada	N4WS 1495-31	369,5m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-32	384m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-33	388m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-34	399,2m
Máfica não alterada	N4WS 1495-35	421,1m

Jaspiloto pouco alterado	N4WS 1495-36	440m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-37	451,1m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-38	460,3m
Jaspiloto não alterado	N4WS 1495-39	468,6m
Jaspiloto alterado	N4WS 1495-40	480,7m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-41	490,1m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-42	493,9m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-43	497,8m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-44	498m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-45	502m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-46	506m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-47	511,5m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-48	519,8m
Jaspiloto não alterado	N4WS 1495-49	529,9m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-50	537m
Jaspelito alterado	N4WS 1495-51	545,2m
Jaspelito pouco alterado	N4WS 1495-52	550,6m
Jaspiloto não alterado	N4WS 1495-53	559,4m

2 GEOLOGIA LOCAL

Em condições supergênica a FFB é geralmente transformada em minério de hematítico, até uma profundidade de algumas centenas de metros (MACAMBIRA, 2003).

A Formação Carajás é representada pela FFB, estando sobreposta a Formação Parauapebas, e seccionada por rochas vulcânicas máficas (GIBBS e WIRTH 1990). A formação ferrífera bandada é representada por bandas caracterizado por meso-microbandamentos de jaspe e óxidos de ferro, onde o jaspe é caracterizado por *chert* impregnado por hematita microcristalina, os óxidos de ferro são hematita, magnetita, maghemita e goetita (MEIRELLES 1986; LINDENMAYER *et al.* 2001; KLEIN E LADEIRA 2002; MACAMBIRA 2003 e FIGUEIREDO e SILVA 2004). Além do bandamento composicional, os jaspilitos de Carajás preservam outras estruturas deposicionais, tais como laminação interna plano-paralela, estruturas de escavação e preenchimento (*scour-and-fill*) e esferulitos/grânulos (MEIRELLES 1986; MACAMBIRA 2003).

Os jaspilitos formaram-se por precipitação química em plataformas marginais de águas rasas, em período de calma tectônica e perto de fumarolas com ampla distribuição areal (LINDENMAYER *et al.* 2001).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO FURO N4WS-1495

O testemunho de sondagem da mina N4WS-1495 disponibilizada no Galpão de testemunho da empresa VALE/SA, compreende cerca de 560m de profundidade, composta por rochas ferríferas bandas interseccionadas por rochas ígneas de composição máfica (Figura 4). Estas rochas compreendem Jaspilito que foram classificados de acordo com sua intensidade de alteração ou mudança textural. Foi observada que este pacote de rocha sofreu intensa mudança mineralógica oriunda pela alteração hidrotermal das rochas máficas intrusiva. A qual, as máficas também foram classificadas pelo processo de alteração.

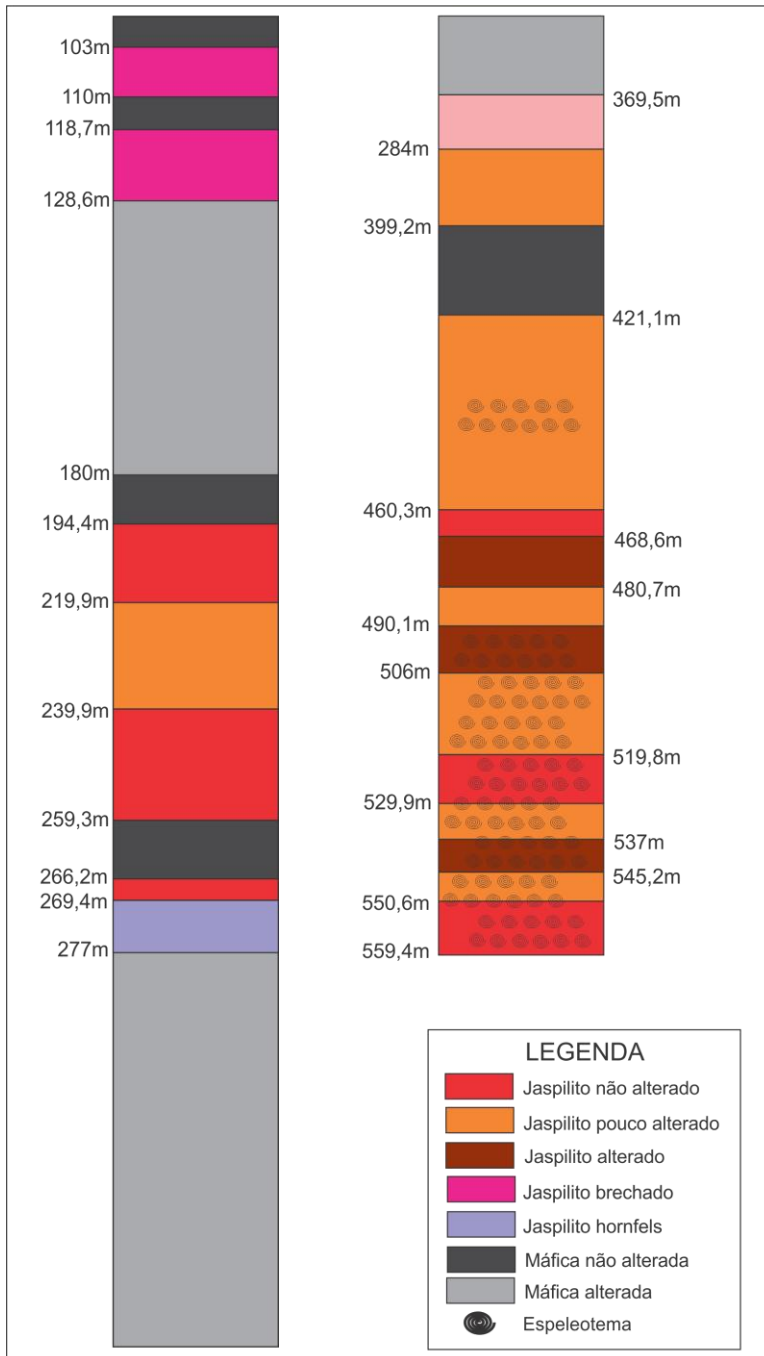


Figura 4: Perfil estratigráfico referente ao testemunho de sondagem N4WS-1495.

3 PETROGRAFIA

As FBB do furo de sondagem N4WS-1495 são caracterizadas 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 de Sobrinho (2012), distinguindo fases mineralógicas e tipos de Jaspilito quanto à alteração. As fases mineralógicas são referentes à hematita e ao quartzo. As hematitas são classificadas por três tipos: hematita 1, hematita 2 e hematita 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 de forma 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).

As FFB são classificadas de acordo com o grau de alteração da rocha, em: a) Jaspilito não alterado; b) Jaspilito pouco alterado; c) Jaspilito alterado e d) Minério de ferro. Neste trabalho, foram também definidos: e) Jaspilito brechado e f) Jaspilito hornfels.

3.1 JASPILITO NÃO ALTERADO

Estas rochas não sofreram nenhum tipo de alteração intempérica, 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 5 a,c).

A banda de minerais opacos possui coloração cinza escuro, composta mineralogicamente por magnetita, maghemita, hematita 1, 2 e 3; e goetita (Figura 5 e). A magnetita e maghemita ocorrem como cristais euédricos, bipirâmidais com bordas alterando para hematita 2. Internamente, as bandas de opacos ocorrem laminações de jaspe e quartzo criptocristalino, além de estrutura *pent* nas bordas das magnetitas (Figura 5 b).

A banda avermelhada de jaspe é composta mineralogicamente por quartzo 1 e 2 impregnado por hematita, com cristais dispersos de pirita. Internamente ocorrem laminações de *chert* e opacos. Os cherts são constituídos de quartzo tipo 2 e os opacos representados por minerais de magnetita, maghemita, hematita e goetita (Figura 5 e,f).

Veios de quartzo, dobras e falhas são estruturas comuns ao longo destes jaspelitos, interrompendo perpendicularmente o bandamento composicional do Jaspelito. (Figura 5 d).

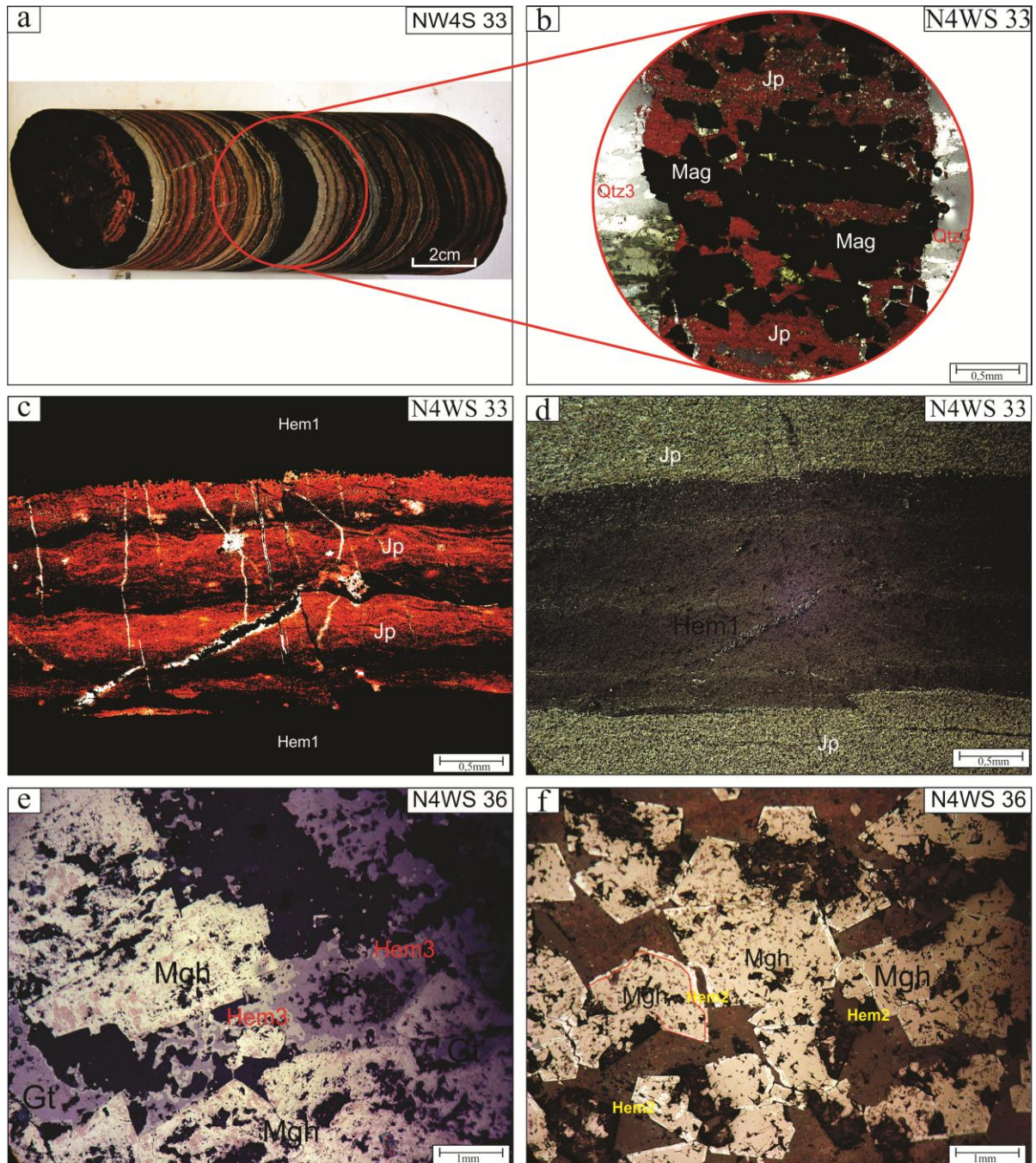


Figura 5: a) Jaspiloto não alterado, contendo poucas fraturas preenchidas por Qtz3. b) (5x) luz refletida em nicós X, cristais euédricos de magnetita com estruturas em *pent*, veios de Qtz3 e jaspe. c) (5x) luz transmitida em luz natural, bandamento composicional de Hem1 e jaspe, com fraturas preenchidas por Qtz2 e falhas. d) (5x) luz refletida em luz natural, detalhe entre as bandas de jaspes e Hem1. e) (10x) luz refletida em luz natural, cristais de Hem3, Mgh, Gt, entre o jaspe. f) (20x) luz refletida em luz natural, o detalhe da imagem anterior, cristais de Mgh denotando o processo de martização, com as bordas desses cristais composta por Hem2.

As análises de MEV-EDS, identificaram as principais texturas dos minerais constituintes dos jaspilitos e seus respectivos elementos químicos constituintes; silício, ferro, magnésio, oxigênio e alumínio. Os óxidos de ferro observados foram magnetita (Figura 6 a) e a hematita 1,2 e 3 (Figura 6 d,b e c), respectivamente.

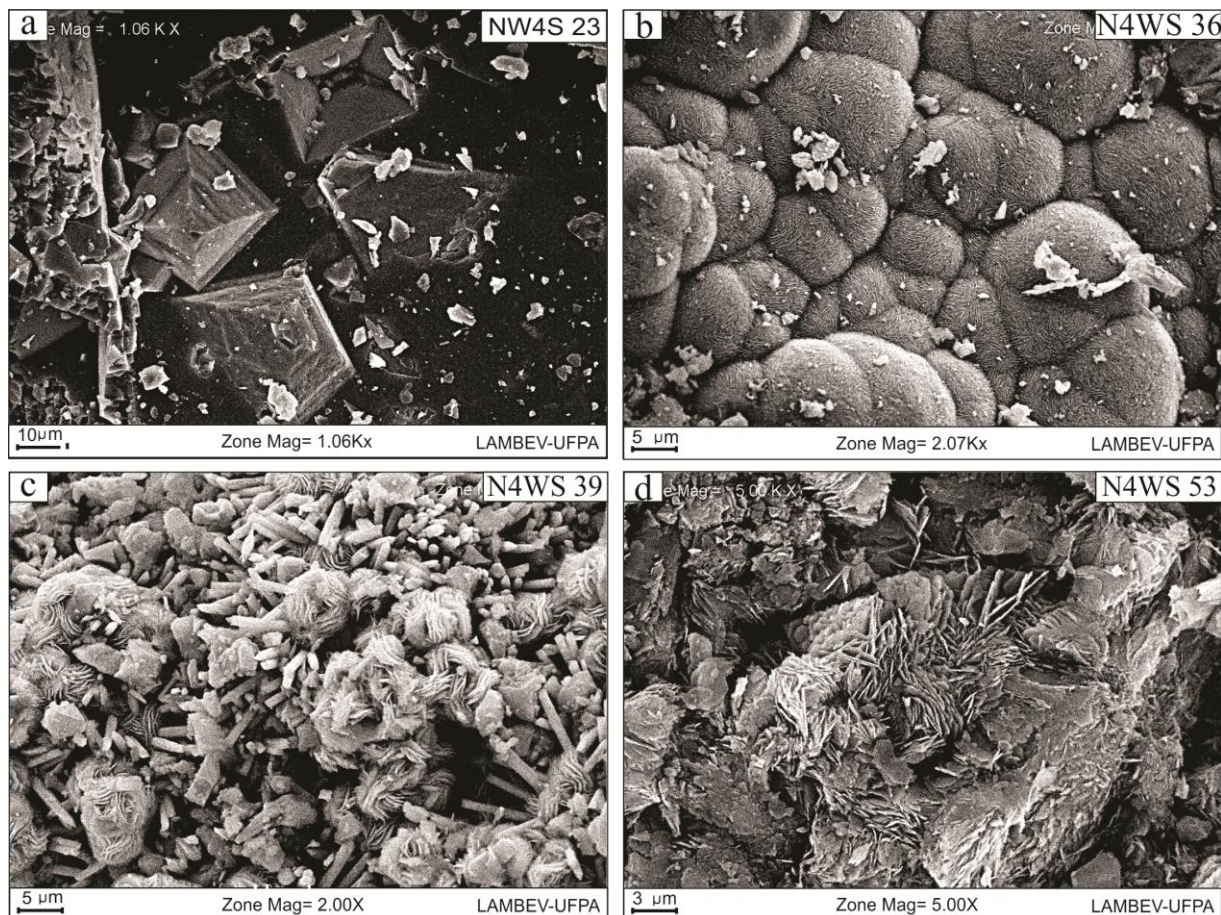


Figura 6: (a) 1.06 Kx-Mev, cristais de magnetita com forma octaédrica bem definida, cristais menores de Hm1 e 2. (b) 2.07 Kx-Mev, cristais de Hm3 com hábito globular e fragmentos de Hm1. (c) 2.0 Kx-Mev, cristais de Hm3 com hábito alongado e placoide. (d) 5.00Kx-Mev, cristais de Hm3 placoide, e, secundariamente, Hm2.

3.2 JASPILITO POUCO ALTERADO

O bandamento composicional deste jaspilitos (Figura 7 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 hematita 1 e 2, magnetita, e goetita (Figura 7b). A hematita 1 é

caracterizada por massa criptocristalina contendo estrutura de sobrecarga. A magnetita é representada por cristais euédricos com bordas alteradas para hematita (Figura 7c,d). A goetita encontra-se localizada em produto de alteração da hematita. Além disso, laminações de quartzo 2. Há presença de minerais de biotita, clorita e siderita.

A banda avermelhada de jaspe é composta mineralogicamente por quartzo 1 e 2, impregnada por hematita 1, lâminas de minerais opacos ocorrem intimamente representados por cristais euédricos a subédricos de magnetita, maghemita e hematita (Figura 7e,f). Lateralmente esta banda possui um comportamento bastante irregular, e em alguns locais são interrompidas e truncadas por minerais opacos.

A siderita, biotita e clorita são minerais que ocorrem na interface nas bandas de jaspe e opacos.

Foram observadas estruturas como: dobras, deslocamento intrabandas, fraturas, *pent*, truncamentos, contatos intrapenetrativos, falhas e veios.

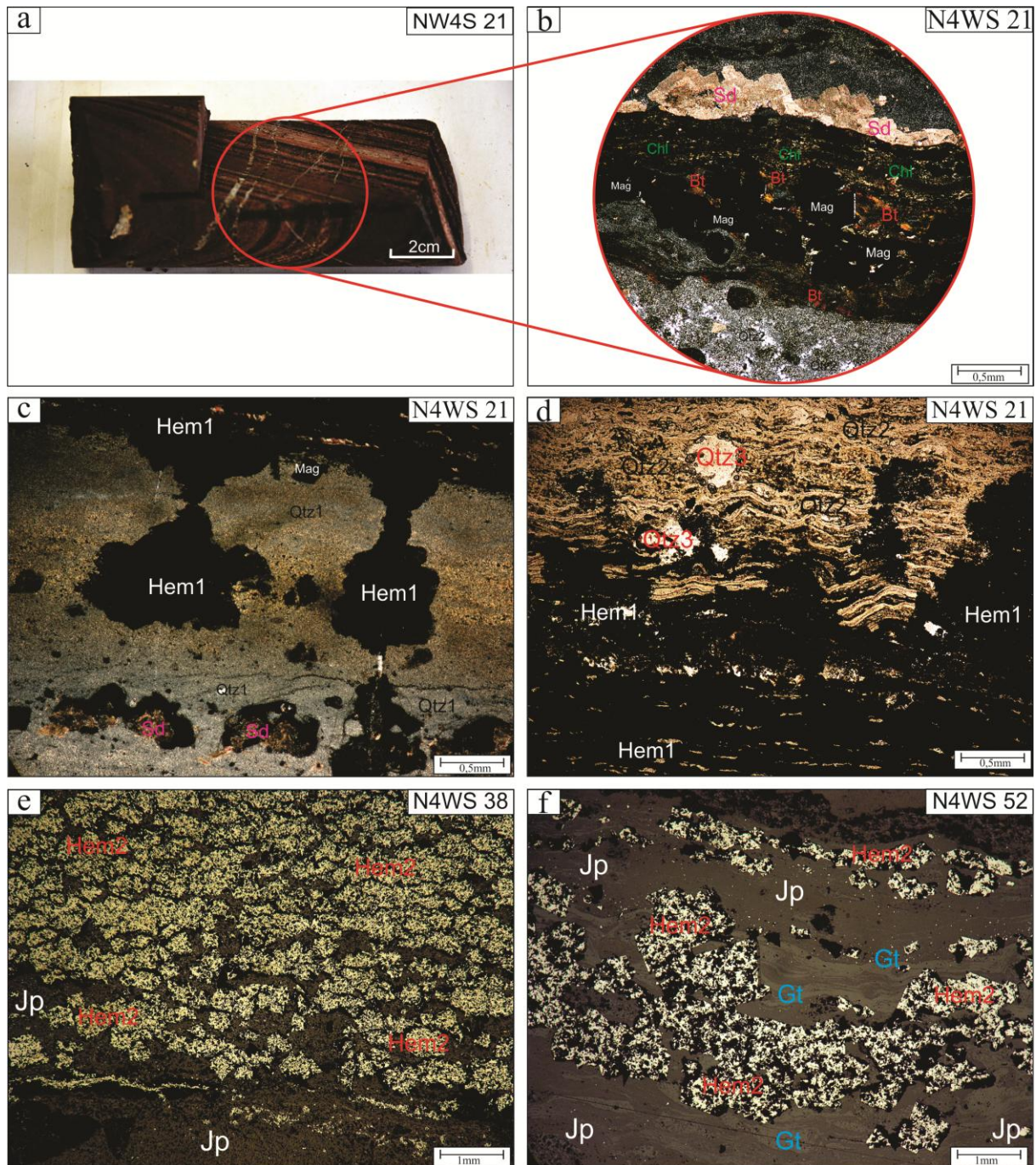


Figura 7: a) Fotografia de amostra de mão do jaspilito pouco alterado, contendo fraturas preenchidas por Qtz 2 e 3. b) (2,5x) luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando a alteração que ocorre nos jaspilitos, no qual, observam-se cristais de clorita e biotita oriundas do hidrotermalismo, nota-se também Hm1 e Qtz2. c) (2,5x) luz transmitida em luz natural, fotomicrografia exibindo principalmente estrutura de sobre carga de composição de Hm1 envolta por Qtz2 e siderita. d) (5x) luz transmitida em luz natural, fotomicrografia denotando o contraste entre a banda de *Chert*, no qual, encontra-se onulada, brechada e falhada; e a banda de Hm1 contendo laminações de jaspe. e) (10x) luz refletida em luz natural, fotomicrografia mostrando cristais de Hm2, intercalada entre jaspe. f) (20x) luz refletida em luz natural, fotomicrografia assinalando o detalhe da imagem anterior, e notam-se cristais de Hm2 intercalado com jaspe, entretanto associado a goetita.

Ao MEV, foram diagnosticadas três texturas principais: subparalela formada por Hem3, fibroradial constituída por Gt; romboédrica e piramidal composta por Magnetita (Figura 8).

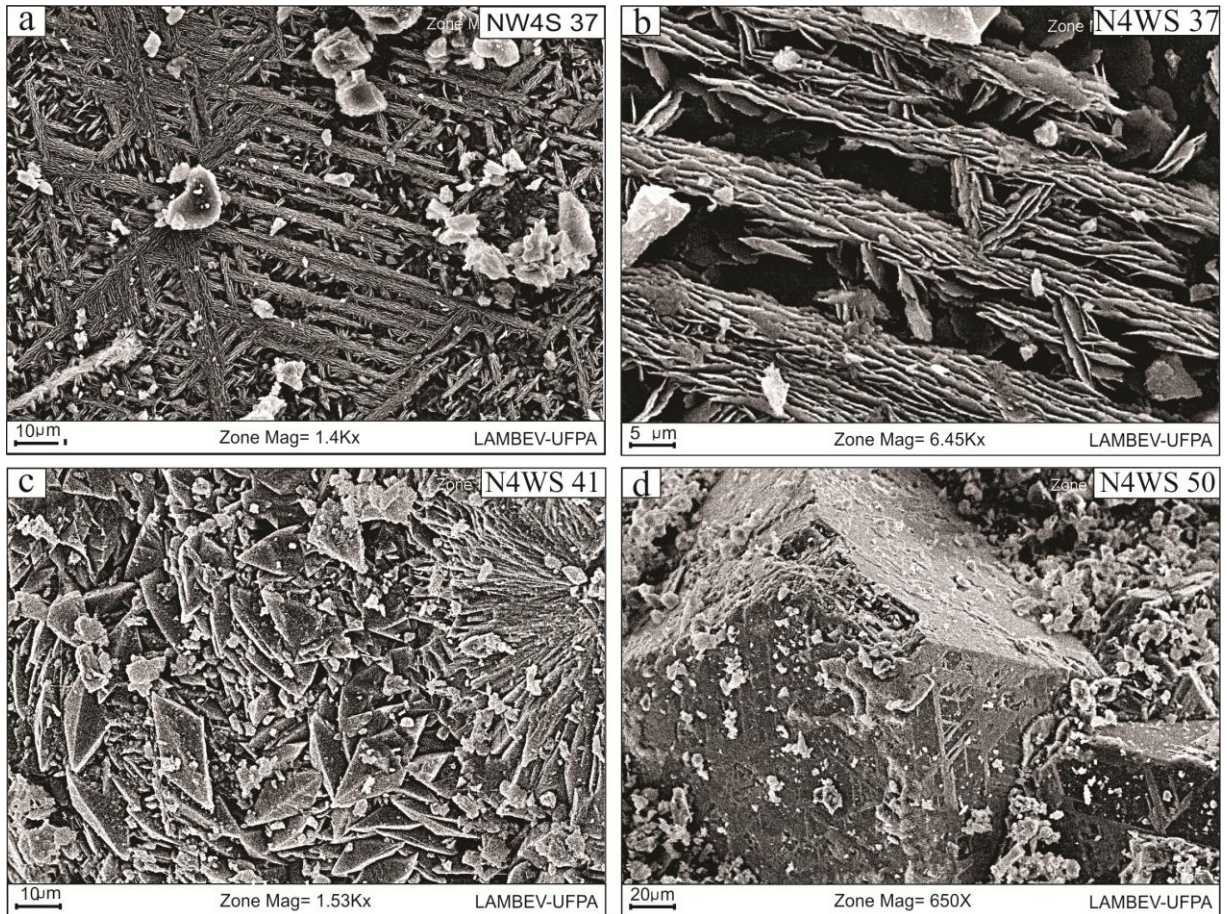


Figura 8: (a) 1.4Kx- Mev, Nota-se nesta imagem uma trama com minerais alongados, caracterizado por serem Hm 1, entretanto, observa cristais de Hm 2 em algumas porções da imagem. (b) 6.45Kx-Mev, imagem detalhe da anterior, contata-se a presença de minerais placoides definidos como Hm 3 e escassas Hm 2. (c) 1.53 Kx-Mev, apresenta predominantemente na porção esquerda cristais de magnetita, já na porção da direita observa-se cristais de goetita forma radial. (d) 650X-Mev, nota-se a presença de um cristais euédrico de magnetita e nas suas adjacências cristais de Hm 1 e 2.

3.3 JASPILITO ALTERADO

As rochas deste grupo apresentam aspecto com maiores alterações, algumas características como o bandamento composicional não estão nítidos, onde não é possível observar a presença das bandas de sílica em algumas porções. Presença de cavidades de dissolução ocorre predominantemente na banda jaspe/*chert*, enquanto na banda de opacos é muito incipiente. A grande maioria das cavidades de dissolução encontra-se alinhadas nas bandas silicosas, seguindo uma direção preferencial, que representa o acamamento do jaspilito (Figura 9 a,b).

A banda de opaco de coloração cinza escuro é caracterizada por um adelgaçamento e rompimento regulares. Composta mineralogicamente hematita 2, com cristais de magnetita (Figura 9 f), hematita, biotita e clorita (Figura 9 b;c). Além disso, agregados de Qtz 1 e 3.

A banda de jaspe avermelhada é composta mineralogicamente por biotita, clorita e quartzo impregnado por hematita1. Lateralmente esta banda possui comportamento irregular, interrompidas e truncadas.

Esta rocha apresenta feições deformacionais como dobras, truncamentos, falhas, fraturas e veios (Figura 9 e). Além de estruturas *pods*, dobras, deslocamento intrabandas, contatos interpenetrativos, falhas e laminação de *chert*.

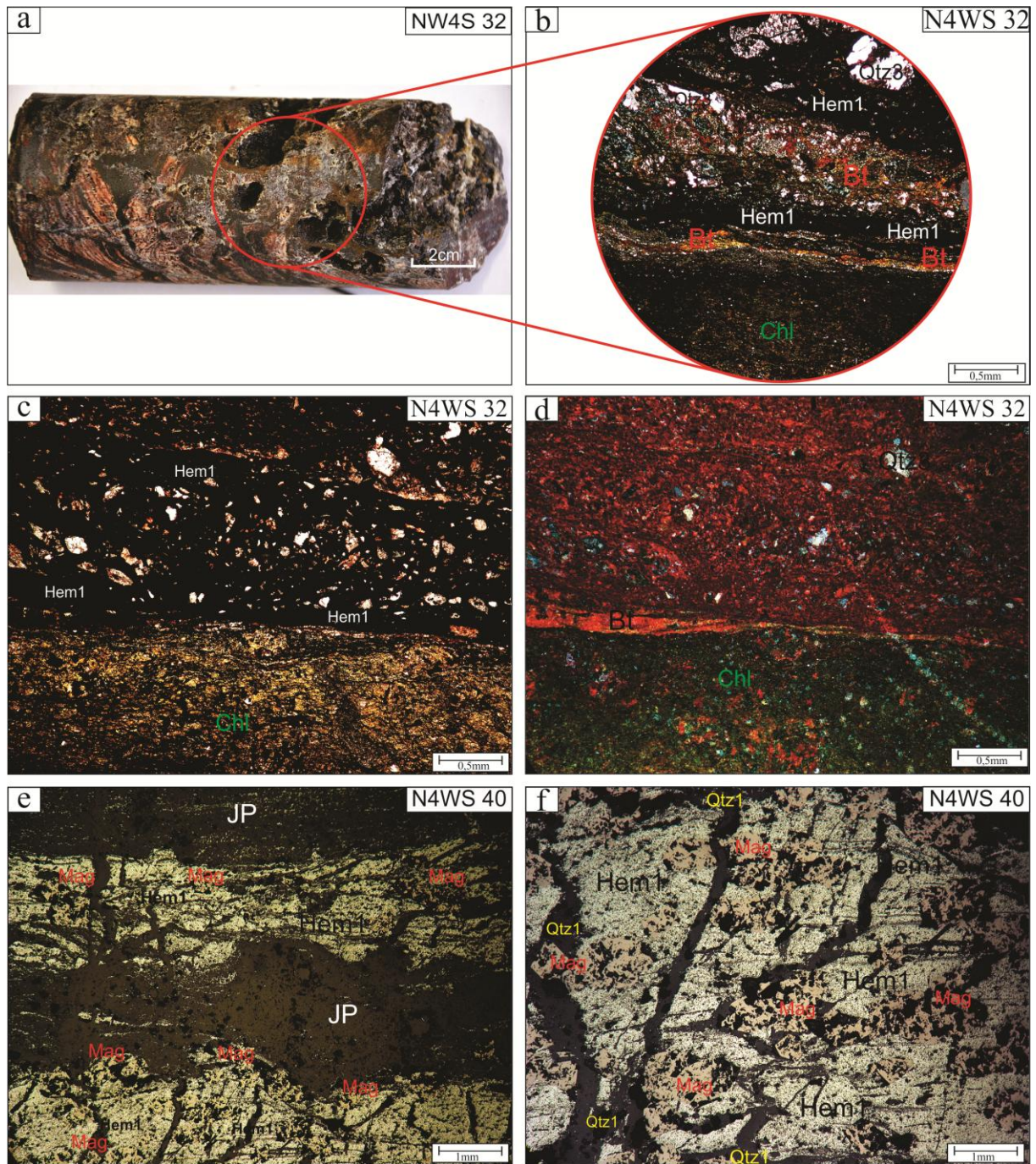


Figura 9: a) Fotografia de amostra de mão do jaspilito alterado, contendo cavidades de dissolução. b) (2,5x) luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando a alteração que ocorre nos jaspilitos, no qual observa-se uma quantidade enorme de clorita e biotita oriundas do hidrotermalismo, nota-se também Hm1 e Qtz3. c) (2,5x) luz transmitida em luz natural, fotomicrografia exibindo o contraste entre a banda de opaco com as alterações adjacentes. d) (5x) luz refletida com nicós X, fotomicrografia denotando a 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, fotomicrografia mostrando cristais de magnetita imersos em uma massa de Hm1, intercalada entre jaspe. f) (20x) luz refletida em luz natural, fotomicrografia assinalando o detalhe da imagem anterior, e nota-se fraturas seccionando obliquamente a banda de minerais opacos.

Ao MEV foram identificadas as principais texturas: romboedro composto por Hem 2, fibro radial composta por goetita e globular por Hem2 (Figura 10c,d). Os elementos identificados correspondem ao silício, ferro, magnésio, oxigênio, alumínio e potássio.

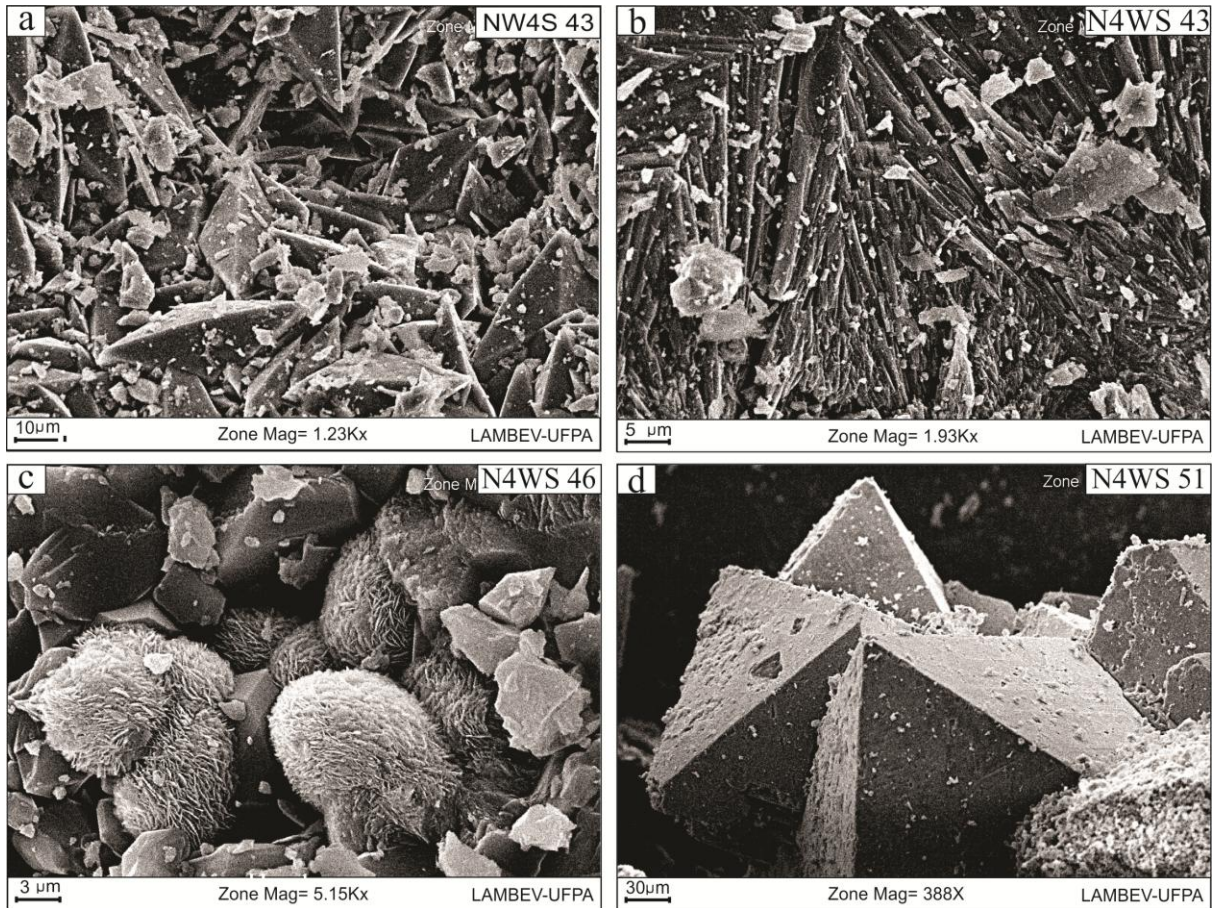


Figura 10: (a) 1.23 Kx-Mev, observa-se nesta imagem a predominância de cristais de magnetita, entretanto nota-se também a presença de Hm 2. (b) 1.93 Kx-Mev, constata-se a abundância de cristais de goetita com aspecto alongado, no entanto, observam-se cristais de Hm 1 e 2. (c) 5.15 Kx-Mev, os cristais que possuem a aparência de esferas são constituídos por Hm 3, os outros cristais adjacentes são de Hm 2. (d) 388X-Mev, estes cristais correspondem cristais euédricos de magnetita, empregnados por Hm1.

3.4 JASPILITO BRECHADO

As amostras possuem forma cilíndricas, caracterizadas pela coloração marrom avermelhado, com 17 cm de comprimento e 7 de largura, assinalado por conter fragmentos com tamanhos variando desde de centímetros a décimetros, os mesmos são subangulosos à angulosos e mal selecionados. Observa-se nesta amostra o contato abrupto entre a banda de jaspe e a porção brechada. Portanto, classificou-se esta rocha como sendo Jaspilito brechado (Figura 11a).

Nessas amostras, o estágio de brechação é bastante perceptível, clastos angulosos do jaspe imersos em um cimento constituído de hematita e qtz 1 e 2 impregnado por óxido de ferro, preservam nitidamente estruturas primárias, como o bandamento composicional e a laminação interna-paralela (Figura 11b). Observa-se a presença de fragmentos de qtz 3; e jaspe, sendo os mesmos alongados e estirados seguindo um certo alinhamento. Além disso, a rocha demonstra um forte controle estrutural através de fraturas, feições de dobramento e falha, sendo esta última feição a responsável pelo aspecto brechado de porções da amostra. Há presença de cavidades e fendas de dissolução, as quais estão inteiramente relacionadas aos aspectos estruturais existentes.

A banda avermelhada do jaspe possui espessura aproximadamente de 10 mm, demarcada por contatos irregulares constituídas de quartzo impregnado por hematita criptocristalina, e por vezes, microcristalina. Observou-se esferulitos e laminações internas plano paralelas constituídas de uma massa de hematita e hematita 2, as mesmas laminações estão dobradas. Contém também carbonato que por meio de fraturas acompanhou o bandamento, presença de goetita. Nesta banda constata-se a presença de lâminas de minerais opacos, euédricos a subédricos de magnetita, pseudomagnetita e hematita. Lateralmente esta banda possui um comportamento bastante irregular, e em alguns locais são interrompidas e truncadas por veios de quartzo granular e carbonato (Figura 11c;d). Constata-se estruturas como dobras, contatos intrapenetrativos, escavação e preenchimento; e laminação de *chert*. Observou-se a presença de escassos cristais de pirita nesta banda de jaspe.

A banda de minerais opacos possui coloração cinza escuro e é caracterizada por um adelgaçamento e rompimento da mesma, possui espessura irregular variando de 0,5 a 10 mm. Esta apresenta contato irregular e interpenetrativo, oriundo da pressão litoestática exercida sobre o mesmo. Esta banda é composta mineralogicamente por uma massa de hematita criptocristalina e microcristalina, observam-se também cristais de magnetita, pseudomagnetita, carbonato e goetita. A magnetita e pseudomagnetita ocorrem preferencialmente em lentes ou lâminas envoltas por hematita, sendo estes cristais euédricos a anédricos, alinhado ao bandamento (Figura 11e). Além disso, notam-se laminações de quartzo microcristalino e carbonato paralelo ao bandamento. A goetita encontra-se localizada em produto de alteração da hematita. Notou-se a presença de estrutura *pent*, dobras, deslocamento intrabandas, fraturas e lâminas de *chert*, demonstrando assim a preservação da laminação plano-paralela do acamamento original.

A banda esbranquiçada possui espessura de 0,5 à 10 mm, apresentando contato brusco com opacos e carbonatos (Figura 11 f). Esta banda é composta mineralogicamente por quartzo

granular à criptocristalino. A porção central predominada quartzo cripto a microcristalino, e nas bordas dessas bandas e em fraturas preenchidas ocorre o quartzo granular. Percebe-se na mesma um processo de dobramento e por condutos como veios um material carbonático se instalou e acompanhou o bandamento do mesmo.

Esta rocha apresenta feições deformacionais como dobras e truncamentos, e isto são derivados de esforços tectônicos. Além da evidência de processos dúcteis, observaram-se também feições rúpteis, como: falhas, fraturas e veios; estas atingindo todas as bandas, possuindo espessuras menores que 1 mm de composição silicosa e carbonática rica em ferro.

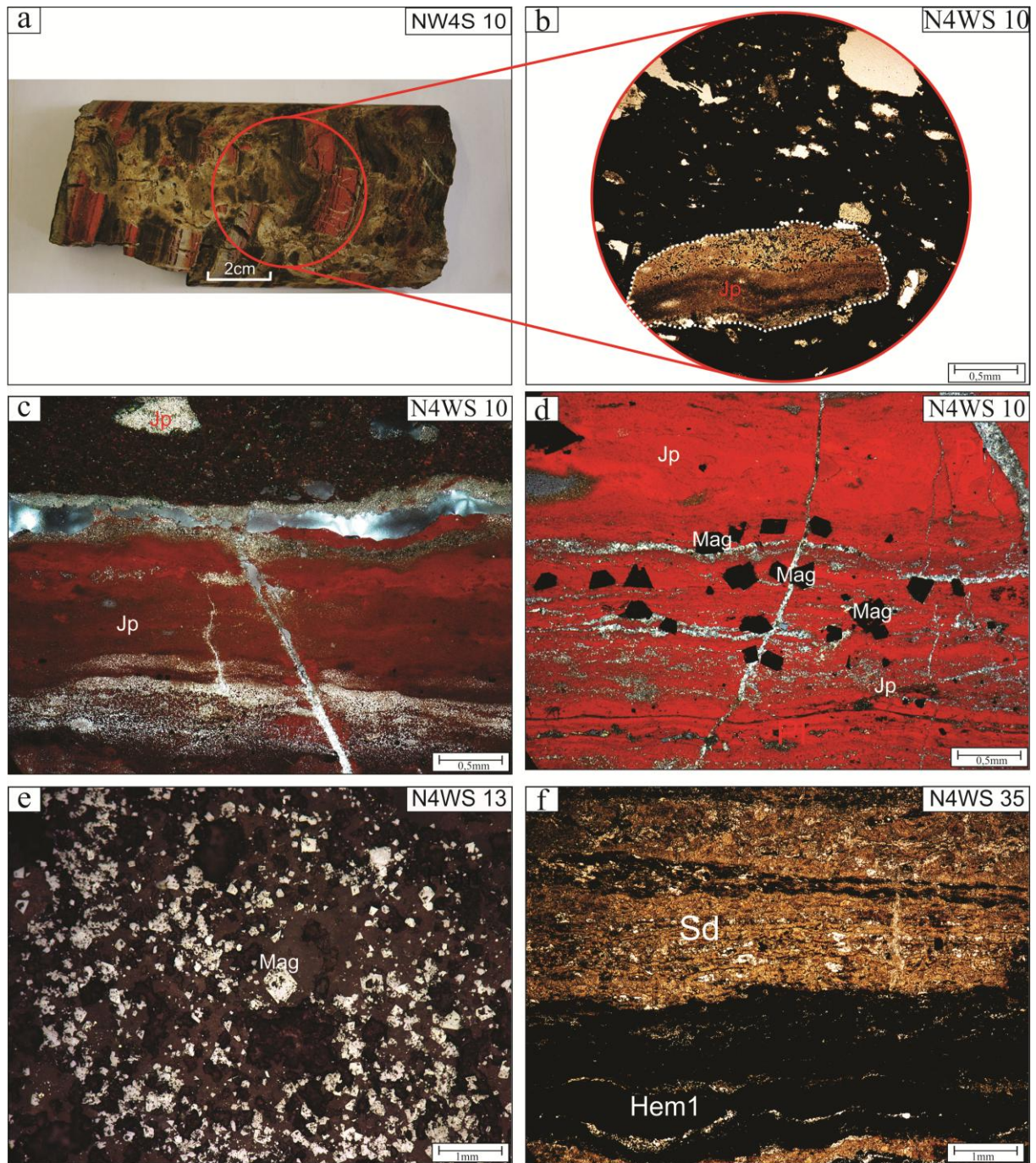


Figura 11: a) Fotografia de amostra de mão do jaspilito brechado, contendo clastos visíveis de jaspe e *chert*, imersos em cimento de óxido de ferro. b) (5x) luz transmitida, fotomicrografia de fragmentos de jaspe preservando a laminação plana paralela do acamamento original, cimentado por óxido de ferro. c) (2,5x) luz refletida com nicós x, fotomicrografia detalhando o contato entre o jaspilito brechado e o jaspe, nota-se exclusivamente veio de qtz 3 seccionando obliquamente o bandamento do jaspe. d) (10x) luz refletida com nicós x, fotomicrografia exibindo jaspe contendo cristais de Hm2 e laminações de qtz 2; seccionadas por fraturas preenchidas por qtz 2 e 3. e) (10x) luz refletida em luz natural, fotomicrografia denotando cristais de Hm2. f) (2,5) luz natural, fotomicrografia contendo 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.

Para melhor compreensão petrográfica das rochas, realizaram-se análises no MEV, com o objetivo de efetuar diagnósticos pontuais em fragmentos da rocha, com a intensão de

analisar as feições e obter os teores dos elementos constituinte dos minerais. Todavia, os resultados obtidos não diferenciaram das análises microscópicas realizadas. Portanto, esta litologia compreende-se por cristais de magnetita, variações de hematita, maghemita, goetita, quartzo e carbonato. Os elementos identificados correspondem ao silício, ferro, magnésio, oxigênio, alumínio e carbono.

Através desta análise pôde identificar e diferenciar os tipos de hematita, o qual nota-se que a Hm 1 corresponde a uma massa criptocristalina, Hm2 derivado do processo de substituição da maghemita e a Hm3 corresponde a formas aciculares (Figura 12b;c). E também se definiu como ocorre a magnetita (Figura 12a). O quartzo é encontrado na forma de cristais foscos (Figura 12d).

Os gráficos originados mostraram um enriquecimento nos elementos formadores dos minerais: quartzo, hematita, magnetita e carbonato sendo os últimos resultantes de processos hidrotermais ocasionados pela proximidade das intrusões ígneas.

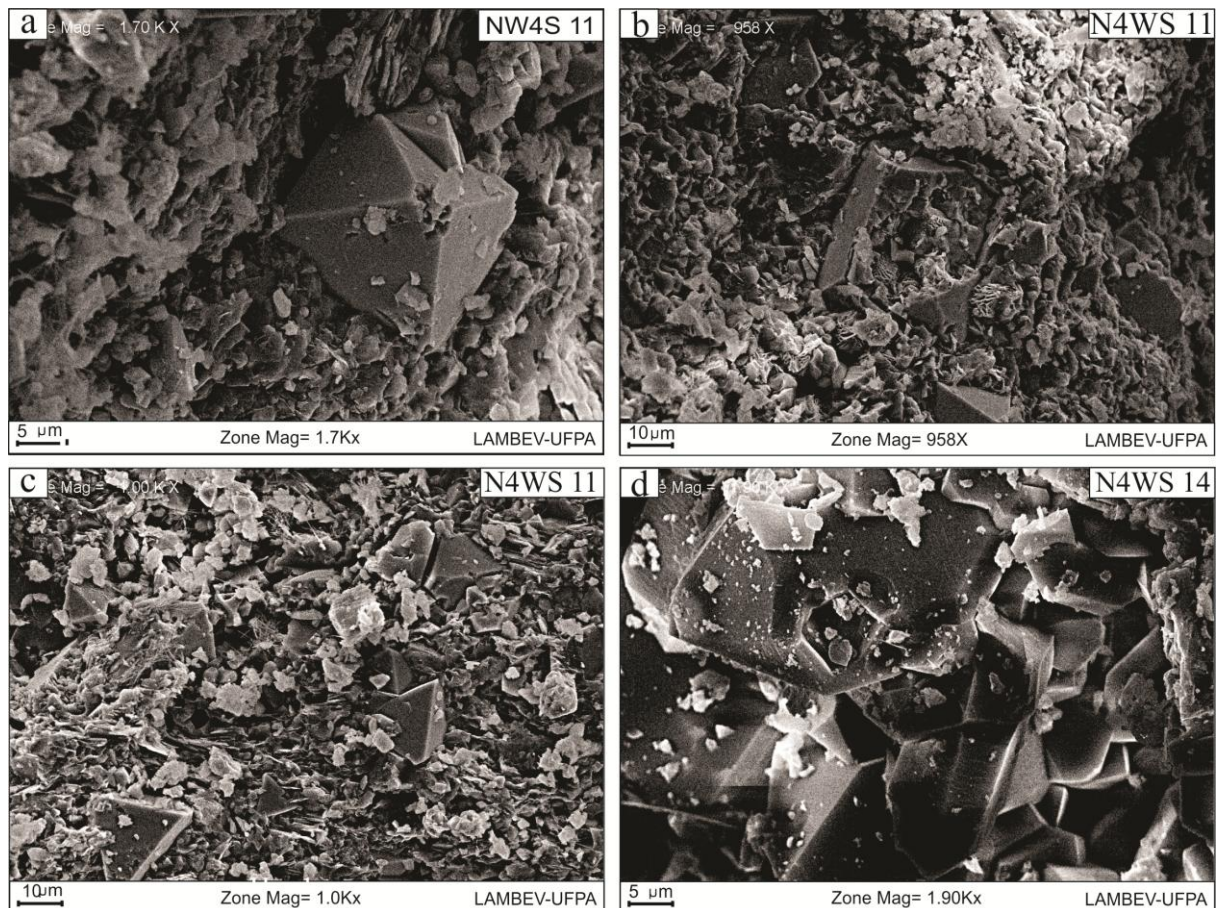


Figura 12: (a) 1.7 Kx-Mev, esta imagem demonstra fragmentos de magnetita euédrico e os fragmentos menores são de hematita 2 e 3. (b) 958 X-Mev, no centro observa-se um cristal de maghemita caracterizado por conter nas bordas Hm2 e no centro maghemita, nas bordas da imagem percebe-se Hm 2 e 3, principalmente. (c) 1.0Kx-Mev, os cristais maiores são formados por magnetita, ao seu redor possui Hm 3, alguns cristais com aspecto meio fibroso são caracterizado como clorita e (d) 1.90 Kx-Mev, A maioria destes cristais são de quartzo, entretanto os cristais menores esbranquiçados são Hm 1 e 2.

3.5 ROCHA MÁFICA COM TEXTURA IGNEA PRESERVADA

Estas rochas possuem coloração verde escuro, com 10 cm de comprimento e 7 cm de largura, 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 preenchida por um material silicoso. Composta mineralogicamente por ortopiroxênio (10%), serpentina (25%), biotita (4%), clorita (25%), plagioclásio (25%), quartzo (4%), carbonato (1%), sericita (1%) 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 sub-vulcânico, sendo classificada como Clorita-serpentina basalto (Figura 13 a).

Ortopiroxênio:

Este mineral possui dimensões cerca de 4mm. São cristais subédricos, em sua grande maioria, com hábito prismático e irregular, apresentando contatos fortemente irregulares com clorita e plagioclásio (Figura 13b). Ocorrem inclusões de minerais opacos, como pirita e magnetita. Observa-se que este mineral está alterando para serpentina.

Serpentina:

Este mineral mostra dimensões cerca de 1,5 mm. São cristais subédricos com hábito fibroso, apresenta contatos fortemente irregulares com clorita e plagioclásio. Este mineral é oriundo da alteração de olivinas e piroxênios, caracterizando-se a serpenitização (Figura 13 c). Ocorre inclusões de minerais opacos. Pontualmente observou-se textura esferulítica.

Biotita:

Este mineral apresenta dimensões menores que 0,5 mm. São cristais anédricos com hábito placoide, apresenta contatos fortemente irregulares com clorita, plagioclásio e quartzo. Este mineral é oriundo da alteração de olivinas e piroxênios, caracterizando-se a serpenitização, e/ou fluidos hidrotermais.

Clorita:

Este mineral exibiu dimensões inferiores a 1 mm, possui formas anédricas com contatos fortemente irregulares, por vezes, côncavo-convexo com plagioclásio e serpentina. Este mineral é oriundo da alteração de anfibólio e biotita. Ocorrem inclusões de opacos.

Plagioclásio:

Este mineral é marcado por uma forte alteração por isso não é possível observar cristais preservando texturas ígneas. Possui dimensões inferiores a 2 mm. Possui contatos côncavo-convexo 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, com os núcleos mais cálcicos mostrando alterados para sericita. O raro maclamento do tipo albita. Nota-se o crescimento mimerquítico.

Quartzo:

Este mineral é distinguindo em 3 tipos de quartzo, sendo eles: 1_Quartz: são cristais com dimensões de 1mm, xenomórficos com contatos irregulares entre silimanita e clorita. 2_Quartzo: são cristais com até 2 mm, são xenomórficos e apresenta contatos côncavo-convexo, estes cristais estão preenchendo amígdalas (Figura 14 d). 3_Quartzo: são cristais com dimensões inferiores a 1,5 mm, são xenomórficos e apresentam contatos bastantes irregulares. Este tipo esta bastante tipo está preenchendo fraturas e microveios.

Sericita:

Este mineral fornece dimensões inferiores a 1 mm, são xenomórficos e resultam do processo de seritização que ocorre no plagioclásio.

Carbonato:

Este mineral é caracterizado por possuir dimensões menores que 2mm, são xenomórficos, e neste caso, esta associado a processos hidrotermais (Figura 13 e), sendo associado ao quartzo e a clorita.

Opacos:

Estes minerais são caracterizados, em grande maioria, como inclusões em plagioclásio, cloritas, serpentina e piroxênio. Os mesmos são predominantemente pirita, magnetita e hematita com contatos bastantes irregulares (Figura 13 f).

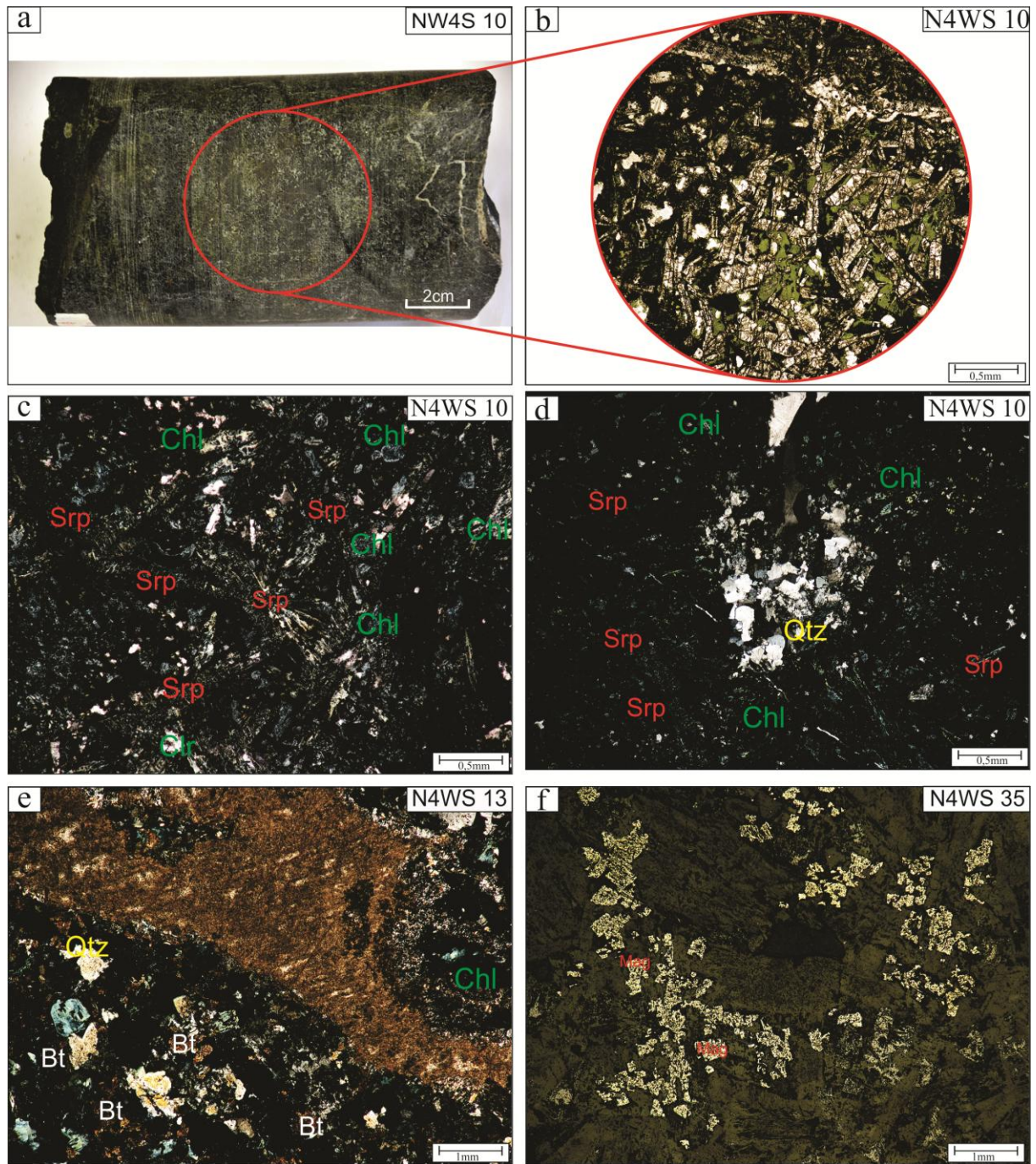


Figura 13: a) Fotografia de amostra de mão da rocha máfica pouco alterado, denotando-se a presença de vênulas de quartzo. b) (5x) luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando a textura subofítica, compostas por Plg, Opx e Clr. c) (2,5x) luz transmitida em nicós X, mostrando a textura esferulítica composta por silimanita observa-se também nesta imagem minerais como Clr. d) (2,5x) luz transmitida em nicós X, exibindo amígdalas de Qtz e em seu entorno Slm e Clr. e) (5x) luz transmitida em nicós X, demarcando principalmente carbonato e secundariamente Clr e Bt. f) (10x) luz refletida em luz natural, fotomicrográfica acentuando os minerais opacos, definidos como hematita 2.

Estas rochas também foram submetidas nas análises no MEV, e realizou-se diagnósticos pontuais em fragmentos da rocha, com a intenção de analisar as feições e obter os teores dos elementos constituinte dos minerais. Todavia, os resultados obtidos não diferenciaram das análises microscópicas realizadas. Portanto, esta litologia compreende-se por cristais de

ortpíroxênio, serpentina, biotita (Figura 14 b), clorita, plagioclásio, quartzo, carbonato, sericita e opacos (pirita, magnetita e hematita). Os elementos identificados correspondem ao silício, ferro, magnésio, oxigênio, alumínio, sódio, cálcio, potássio e carbono.

Os gráficos originados mostraram um enriquecimento nos elementos formadores dos minerais supracitados e pôde perceber que trata-se de minerais de alteração como: serpentina (Figura 14 a), clorita, biotita, quartzo (Figura 14 d) e sericita, sendo elas oriundas dos processos hidrotermais atuantes nesta área. Já os minerais primários, como: plagioclásio e piroxênio (Figura 14 c) observou-se suas disposições e seus elementos.

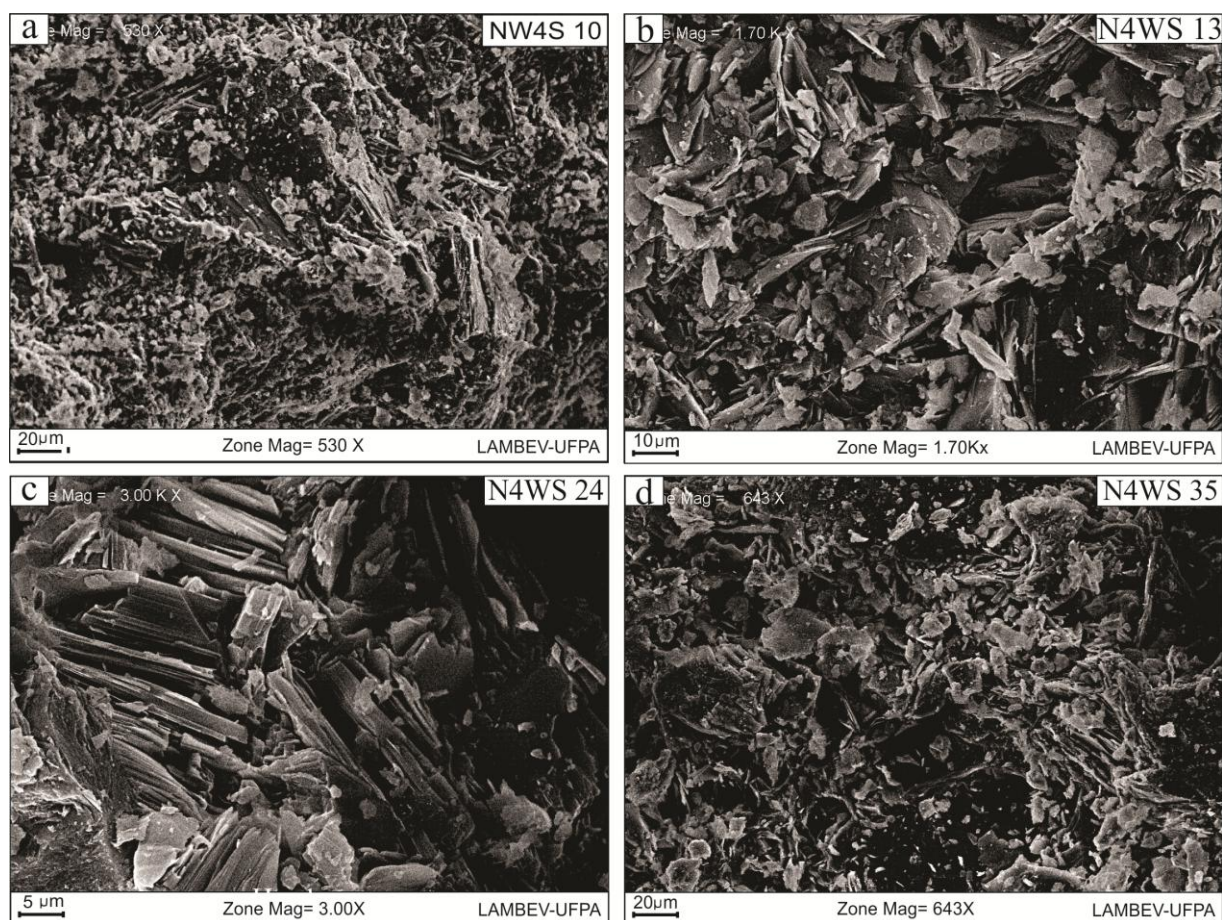


Figura 14: (a) 530 X-Mev, observa-se principalmente cristais de serpentina. (b) 1.70 Kx-Mev, observam-se feições de dois tipos de minerais nesta imagem as cloritas que possuem um aspecto fibroso e a biotita com habito placoide. (c) 3.00 Kx-Mev, nota-se principalmente cristais de piroxênio. (d) 643X-Mev, denota-se cristais de clorita com aspecto fibroso e cristais fosco de quartzo.

3.6 ROCHA MÁFICA FORTEMENTE ALTERADA

Estas rochas possuem coloração verde esbranquiçado, afanítica, holocristalina, equigranular fina, xenomórfica, isotrópica, mesocrática, não há a preservação das texturas ígneas devido a intensa alteração, mas no entanto, pontualmente observou-se a textura ofítica.

Composta mineralogicamente por plagioclásio (45%), clorita (30%), biotita (9%), quartzo (7%), sericita (3%), zircão (1%), apatita (0,5%), epidoto (0,5%), carbonato (1%) e opacos (3%). Observou-se a presença de fraturas e micro veios de quartzo. A mesma é marcada por um fraco magnetismo. Esta rocha é caracterizada por ser originada em ambiente subulcânico, sendo classificada como: Clorita diabásio (Figura 15 a).

Plagioclásio:

Este mineral é marcado por uma forte alteração por isso não é possível observar cristais preservando texturas ígneas. Possui dimensões inferiores a 1 mm. Possui contatos côncavo-convexo e irregulares com clorita apresentam, por vezes, hábito tabular. Observa-se fortemente seritização dificultando assim a determinação da composição do plagioclásio (Figura 15 b). O pouco zoneamento encontrado foi do tipo normal, com os núcleos mais cálcicos mostrando alterados para sericita. O raro maclamento do tipo albita.

Clorita:

Este mineral demarca dimensões cerca de 4 mm, possui formas anédricas com contatos fortemente irregulares, por vezes, côncavo-convexo com plagioclásio e biotita. Este mineral é oriundo da alteração da biotita. Ocorrem inclusões de opacos.

Biotita:

Este mineral exibe dimensões menores que 3 mm. São cristais anédricos com hábito placoide, apresenta contatos fortemente irregulares com clorita, plagioclásio e quartzo. Este mineral é oriundo da alteração de olivinas e piroxênios, caracterizando-se a serpenitização, e/ou fluidos hidrotermais.

Quartzo:

Este mineral é possível distinguir tipos diferentes de quartzo, sendo eles: 1_ Quartz: são cristais com dimensões de 2 mm, xenomórficos com contatos irregulares entre plagioclásio e clorita. 2_ Quartzo: são cristais com dimensões inferiores a 1,5 mm, são xenomórficos e apresentam contatos bastantes irregulares. Este tipo esta bastante tipo está preenchendo fraturas e microveios.

Sericita:

Este mineral possui dimensões inferiores a 1 mm, são xenomórficos e resultam do processo de seritização que ocorre no plagioclásio.

Zircão:

Este mineral possui dimensões inferiores a 1 mm, são xenomórficos, e são caracterizados por ser oriundos de processos hidrotermais (Figura 15d). Estão inclusos principalmente nas cloritas.

Apatita:

Este mineral possui dimensões inferiores a 1 mm, com hábito acicular (Figura 15c).
Estão inclusos principalmente no quartzo e plagioclásio.

Epidoto:

Este mineral possui dimensões inferiores a 1 mm, com hábito irregular. Estão inclusos principalmente na biotita.

Carbonato:

Este mineral é caracterizado por possuir dimensões menores que 1mm, são xenomórficos, e neste caso, está associado a processos hidrotermais.

Opacos:

Este mineral é caracterizado, em grande maioria, por ser incluso em plagioclásio, clorita, serpentina e piroxênio. Estes minerais são predominantemente pirita, magnetita e hematita (Figura 15 e,f).

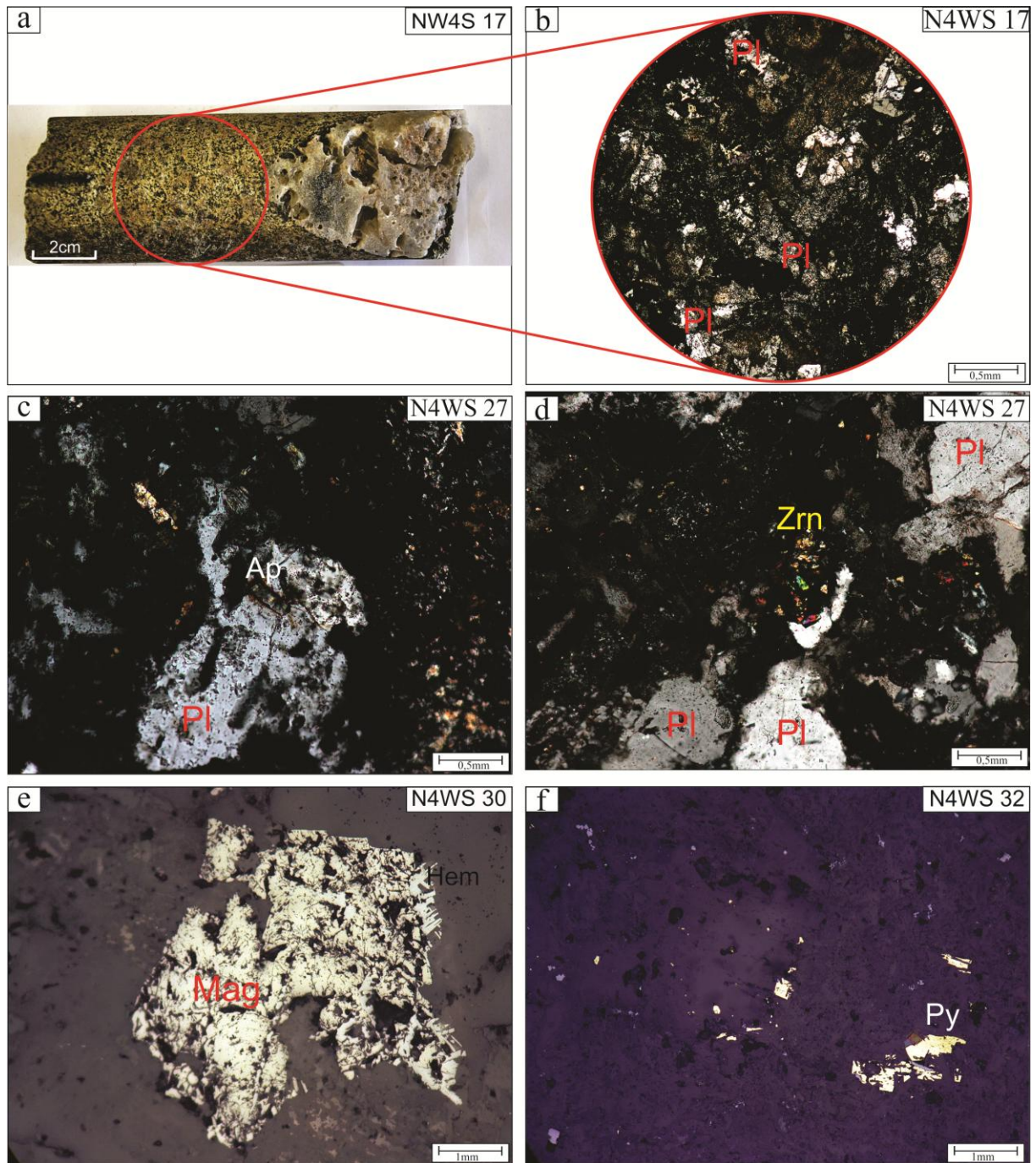


Figura 15: a) Fotografia de amostra de mão da rocha máfica muito alterada, denotando-se a presença de veios de quartzo. b) (5x) luz transmitida em nicós X, fotomicrografia detalhando a visão geral desta litologia, contata-se o intenso processo de alteração, contendo cristais xenomórficos de Pl e Bt. c) (10%) luz transmitida em nicós X, observa-se os cristais de apatita inclusos em Pl. d) (10%) luz transmitida em nicós X, denotando cristais de zircão hidrotermal, plagioclásio e quartzo. e) (20%) luz refletida em luz natural, nota-se cristais de Hm2, no qual, se da pela alteração da magnetita. f) (20%) luz refletida em luz natural, mostrando minerais de pirita.

Estas rochas também foram submetidas nas análises no MEV, e realizou-se diagnósticos pontuais em fragmentos da rocha, com a intenção de analisar as feições e obter os teores dos elementos constituinte dos minerais. Todavia, os resultados obtidos não diferenciaram das análises microscópicas realizadas. Portanto, esta litologia compreende-se por cristais de

plagioclásio, clorita (Figura 16 d), biotita, quartzo, sericita, zircão, apatita, epidoto e opacos. Os elementos identificados correspondem ao silício, ferro, magnésio, oxigênio, alumínio, sódio, cálcio, potássio, fósforo e zircônio.

Os gráficos originados mostraram um enriquecimento nos elementos formadores dos minerais supracitados e pôde perceber que tratam-se de minerais primários em sua grande maioria, entretanto o hidrotermalismo atuante na área influenciou para formar minerais secundários como: clorita, biotita (Figura 16 b,c), sericita, apatita, epidoto, carbonato (Figura 16 a) e zircão.

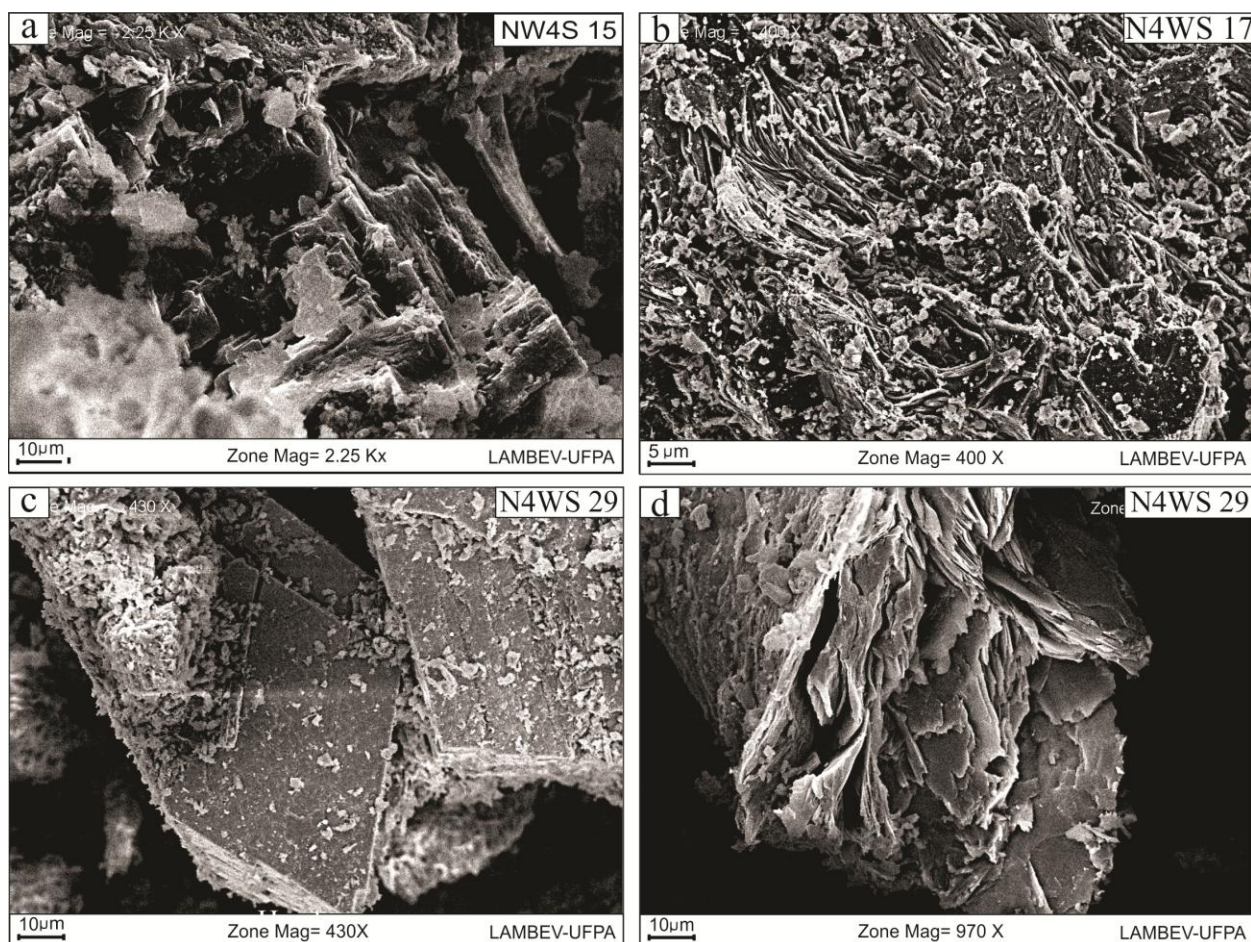


Figura 16: (a) 2.25 Kx-Mev, observam-se principalmente cristais de carbonato de alumínio. (b) 400X-Mev, observam-se feições de minerais como clorita, apatita e biotita com formas de placas. c) 430 X-Mev, aspecto da biotita. (d) 970X-Mev, feição característica da clorita.

3.7 JASPILITO 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 17 b). A mesma exibem feições composta por blastos irregulares de jaspe, sendo estes inclusos em uma massa de coloração avermelhada de composição não definida. A maior parte da rocha, não é possível identificar a mineralogia, entretanto, porções nos quais, sofreram menor intensidade do metamorfismo preservam laminações dobradas e truncadas, composta mineralogicamente por hematita 1. A rocha passou fortemente por processos deformacionais, pois, observam-se bastantes falhas e fraturas, sendo a última preenchida por quartzo microcristalino recristalizado, (Figura 17 c). Notam-se porções brechadas constituídas por hematita e quartzo microcristalino recristalizado, (Figura 17 d). Classificada como: Jaspilito hornfels (Figura 17 a).

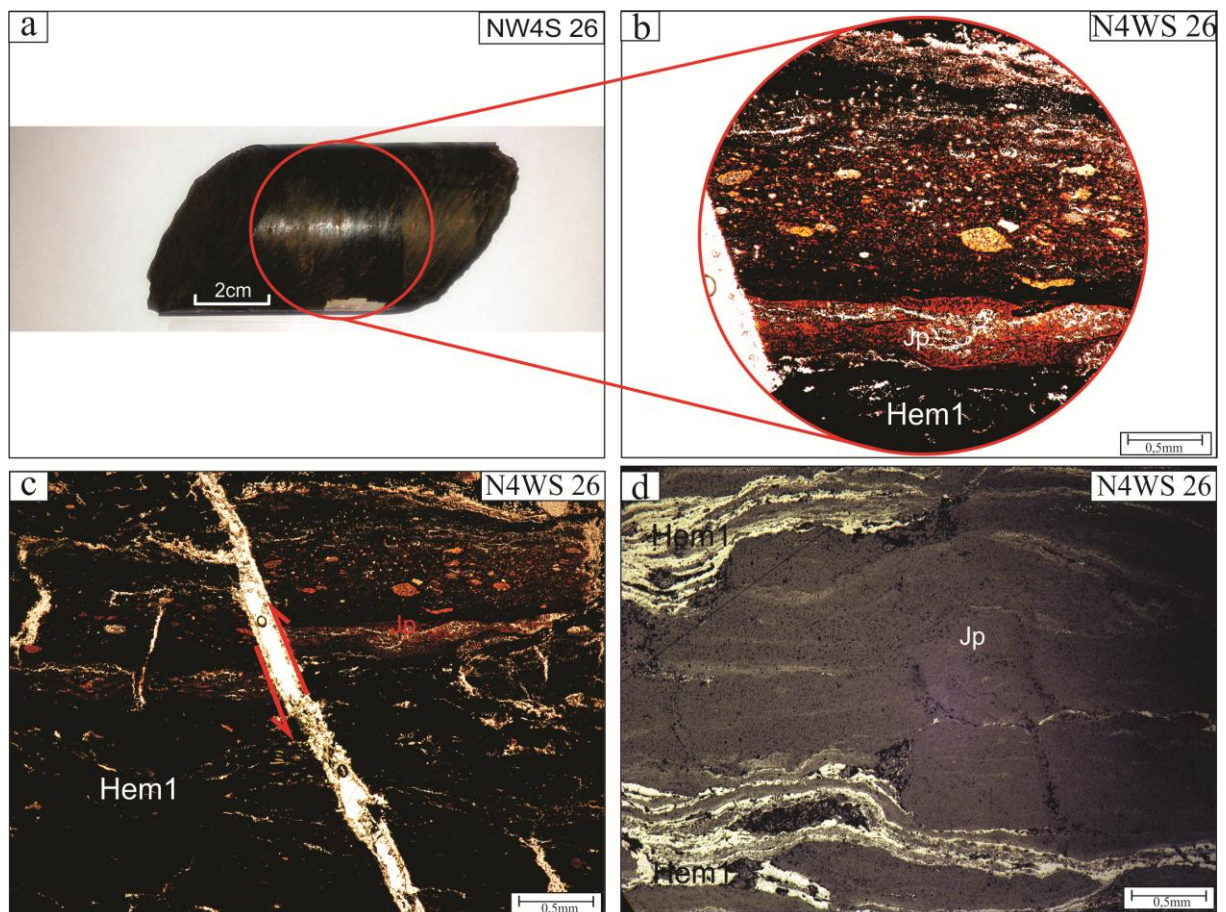


Figura 17: Fotografia de amostra de mão do jaspilito hornfels. b) (10x) luz transmitida em nicós x, denotando o detalhe da amostra, o qual observa a textura hornfels caracterizado por granulação fina, com grânulos equidimensionais não orientados. c) (2,5x) luz transmitida em nicós x, nota-se um aspecto brechado e observa-se falhamentos por toda rocha. (d) (10x) luz refletida em luz natural, nota-se presença de concentrações irregulares de hematita 1.

4 DISCUSSÃO

O bandamento composicional dos jaspilitos indica um controle deposicional na precipitação química dos sedimentos que deram origem à BIF, semelhante aos BIF's da Austrália (Morris, 1993). O ambiente proposto para a formação dos jaspilitos estão relacionados à bacia sedimentares primitivas hermeticamente fechadas e/ou semi-fechadas, o que favoreceria condições cíclicas para a formação do jaspilito.

A profundidade máxima de ação das ondas e penetração da luz é 100-200m (Goode *et al.* 1983). As BIFs laminadas devem ter se formado abaixo da base das ondas, onde o intervalo entre 100 e 200m é razoável para deposição das BIFs da Formação Carajás (Macambira & Scbrank 2003).

A sílica em níveis próximos da saturação na água do mar, precipita-se como gel, influenciadas por condições climáticas sazonais. O ferro, no Arqueano, estaria em níveis de um grande reservatório de ferro solúvel na parte profunda do mar, que por ressurgência dessas águas em porções profundas do oceano primitivo, distantes da costa e na ausência de sedimentos clásticos, levaria a deposição do ferro por oxidação como oxi-hidróxido. Apesar de ocorrerem no mesmo sítio deposicional e serem precipitados químicos, ferro e silício teriam controles distintos, para o ferro o Eh seria oxidante e para o silício, a supersaturação que contribuiria para a precipitação. Esses controles não influenciavam entre si, mas seriam afetados por fatores variados, tais como aporte do ferro, lixiviação da antiga crosta terrestre, variação na taxa de evaporação ou na taxa de fornecimento de água pobre em sílica (diminuindo assim a saturação, evitando a precipitação do silício). Essas variações seriam responsáveis, tanto pelo bandamento, como pela diferença de espessura entre as bandas, assim como pelas pequenas variações na mineralogia. A fonte de oxigênio para o processo de oxidação poderia ser orgânica, a partir do metabolismo de microorganismo (Cloud 1973).

No estágio de elevação do nível de base de água, a zona fótica está consideravelmente acima do fundo da bacia de sedimentação, causando a deposição de várias fácies de formação ferrífera e *chert*. No estágio de queda do nível de base de água a zona fótica atinge o assoalho profundo, permitindo a deposição de carbonato. Na figura 18 as setas largas com C em (a) representam alta produtividade e fornecimento de carbono, e as setas finas em (b) representam produtividade e fornecimento muito menores.

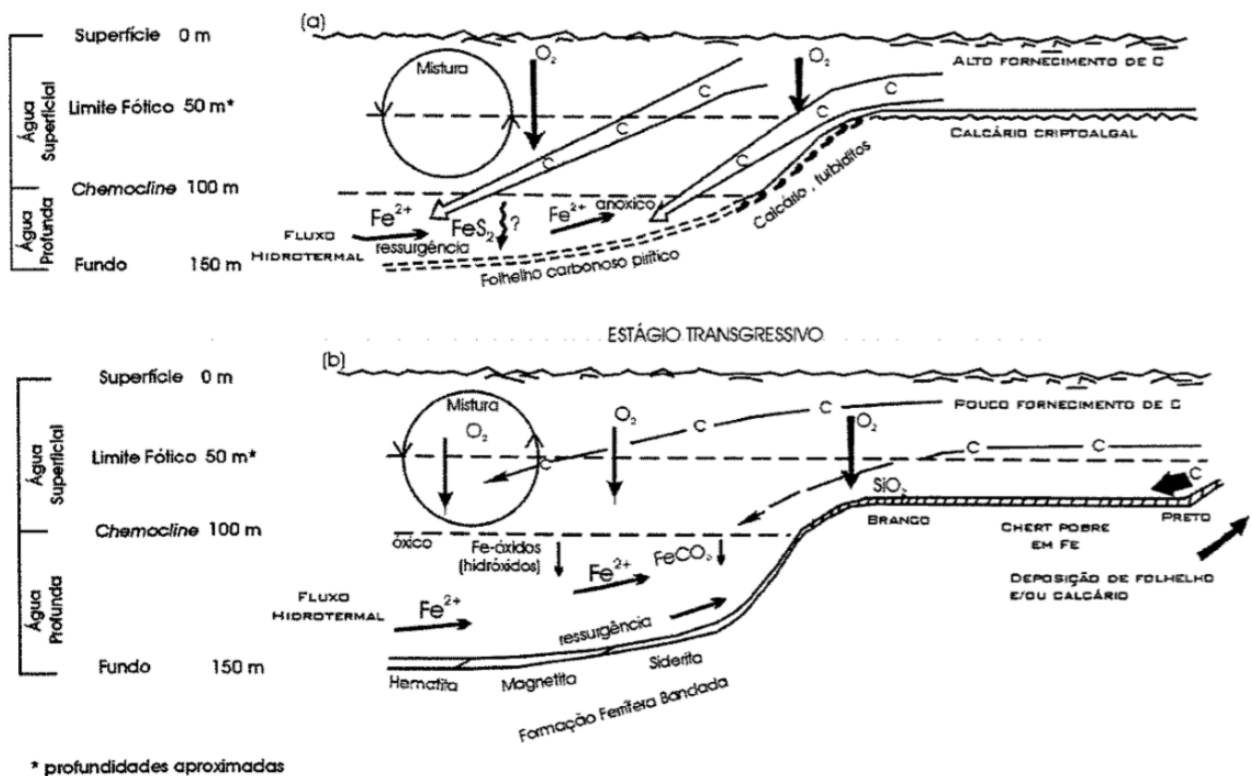


Figura 18: Ambiente deposicional esquemático para deposição de formações ferríferas e litofácies associadas em um sistema marinho com uma coluna de água estratificada em (a) estágio regressivo e (b) transgressivo. Fonte: Klein & Beukes (1989).

Nas rochas analisadas identificou-se que alguns Jaspilitos possuíam carbonato, biotita e clorita, e esses minerais podem ser interpretados como resultantes da alteração hidrotermal localizada das BIF's, com substituição da sílica pelo carbonato, e o ferro e o magnésio dos minerais hematita/magnetita contribuiu para formar a biotita e a clorita. A presença de falhas transcorrentes e de empurrão, assim como de veios decimétricos de carbonato nos basaltos, na área de ocorrência desses jaspilito seriam argumentos a favor dessa interpretação, além da presença regional de batólitos e stocks graníticos (1,88 Ga) que forneceriam o calor e as próprias soluções hidrotermais, (Macambira 2003).

As rochas sub-vulcânicas analisadas foram imprescindíveis para o entendimento das alterações nos BIF'S. 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 a 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 estarem totalmente ou parcialmente alterados,

tais como, respectivamente: piroxênio, anfibólio e plagioclásio. As texturas ígneas, quando possível de serem observadas, foram identificadas como: ofítica, pilotaxítica, esferulítica e amigdalas. Os minerais acessórios como: zircão, apatita e epidoto foram formados devidos a processos hidrotermais, confirmando isso, a formas dos zircões e epidotos encontram-se bastantes deformadas.

As estruturas diagenéticas observadas nos Jaspilitos ao longo do Testemunho de sondagem N4WS-1495 permitem tecer considerações a respeito da evolução do minério de ferro de Carajás. Um dos principais processos que determinaram esta evolução estão relacionados a desitratção e a litificação dos sedimentos. Os bandamentos saturados em águas sofreram gradativamente desitratção de seus estratos através de processos de sobrecarga, onde as águas intersticiais 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 sofriam 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.

O movimento relativo das bandas composicionais dos jaspilitos ocorrem durante estado hidroplástico dos sedimentos, onde as bandas menos resistentes tiveram comportamento plástico, dobrando e/ou adelgaçando-se, e bandas mais competentes comportaram-se mais rigidamente, rompendo-se em falhas e fraturas. Essas fraturas e falhas, permitiram intensa mobilização de fluidos, ricos principalmente em quartzo e, subordinadamente, em hematita e carbonato, os quais serviram como cimento para os fragmentos de jaspilitos envolvidos nos processos de brechação, originando os Jaspilitos Brechados. Adicionalmente, a estrutura tipo *Pent* (Jaspilito Brechado, Jaspilito Pouco Alterado e Jaspilito Não Alterado), é formada nas bordas da magnetita, através da remobilização do mineral de ferro ao redor da magnetita, produzindo esta estrutura composta por quartzo microcristalino recristalizado.

5 CONCLUSÃO

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

- O bandamento composicional dos jaspilitos está relacionado à bacia sedimentares primitivas hermeticamente fechadas e/ou semi-fechadas, com profundidades superiores a 200m de espessura, onde ocorria precipitação intercalada de bandas silicosas e hidróxidos de ferro decorrentes de condições climáticas sazonais, onde ferro e silício teriam controles paleoambientais relacionados a Eh, aporte do ferro e silício, lixiviação da antiga crosta terrestre e variação do nível de base da bacia de sedimentação. Essas variações seriam responsáveis, tanto pelo bandamento, como pela diferença de espessura entre as bandas, assim como pelas pequenas variações na mineralogia.

A presença de rochas sub-vulcânicas interseccionando os Jaspilitos contribuíram com alteração hidrotermal intensa e generalizada da FFB da Formação Carajás, que modificou profundamente a composição química e mineralógica das mesmas.

As estruturas diagenéticas observadas nos Jaspilitos ao longo do Testemunho de sondagem N4WS-1495 determinaram uma evolução relacionados 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 Jaspilitos Brechados, estruturas estrutura tipo *Pent* , que participaram do processo de enriquecimento do jaspelitos em minério de ferro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, G. Geologia Pré-cambriana da Região Amazônica. 1974. 212 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N. 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Serra dos Carajás Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Brasília, DNPM/CPRM, p.164.

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

BRITO NEVES, B.B. & CORDANI, U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Res.*, 53: 23-40 France, 2-3-4:83-100.

COMPANIA VALE DO RIO DOCE/COMPANIA MERIDIONAL DE MINERAÇÃO. 1972. Distrito ferrífero da Serra dos Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26. Belém. Resumo das comunicações; simpósios, SBG. V.2, p. 78-80.

CORDANI, U.G. et al. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2., 1979, Arica, Chile. Actas. Arica, Chile: 1979. v. 4, p. 137-148.

HOLLAND H.D. 1973. The oceans: A possible source of iron in iron-formations. *Econ. Geol.*, 68:1169-1172.

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z. S.; ALTHOFF, F.J.; BARROS, C. E. M.; LEITE, A. A. S.; JORGE JOÃO, X. S. 1997. General aspects of the graitogenesis of the Carajás metallogenic provice. In: ITERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2. Excursions Guide ... Salvador, p. 135-161.

DALL'AGNOL, R., OLIVEIRA, M.A. ALMEIDA, J.A.C., ALTHOFF, F.J. LEITE, A.A.S., OLIVEIRA, D.C., BARROS, C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the carajás metallogenic province, eastern amazonian cráton. In: SYMPOSIUM ON MAGMATISMO, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, Excution Guide, Belém, p. 99-150.

DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia) 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. Anexos, vol. Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais.

DREVER J.I. 1974. Geochemical model for the origin of Precambrian banded iron formations. *Geol. Soe. Ameriea Buli.* 85:1099-1106.

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.

FEIO, G.R.L 2011. Magmatismo Granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Brasil. 205p.

FIGUEIREDO E SILVA, R.C.F. 2004. Caracterização petrográfica e geoquímica de jaspilitos e minérios de ferro dos depósitos N1, N4W, N4E e N5E, Província Mineral Carajás, Pará: implicações para a mineralização de ferro. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 151 p.

GABRIEL E.O. 2014. Petrogênese e Evolução Estrutural dos granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte-PA, Província Carajás. Exame de Qualificação de Doutorado Belém: Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará (2014).

GIBBS, A.K., WIRTH, K.R. 1990. Geologic setting of the Serra dos Carajás Iron Deposits, Brazil. In: Chauvel, J-J et al. (eds.), Ancient Banded Iron Formations. Athens, Theophrastus Publications, p. 83-102.

GOODE A.D.T., HALL W.D.M., BUNTING J.A. 1983. The Nabberu Basin of Western Australia. In: A.F. Trendall & R.C. Morris (eds). Iron-formations Facts and Problems. Amsterdam, Elsevier, 295-323.

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 Sci. 9:15-21.

HIRATA W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.A. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: SBG-NO, Simp. Geol. Amaz., 1, Belém, Anais, v.1, 100-110.

HOLDSWORTH R.E., PINHEIRO R.V.L. 2000. The anatomy of shallow-crustal transpressional structures: insights from the Archaean Carajás fault zone, Amazon, Brazil. Journal of Structural Geology, 22: 1105-1123.

JAMES H.L. 1954. Sedimentary facies on iron formation. Econ. Geol. 49:235-293.

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. & BEUKES N.J. 1989. Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to iron-formation deposition in the Early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. Econ. Geol. 84 (7): 1733-1774.

KLEIN, C., LADEIRA, E.A. 2002. Petrography and geochemistry of the least altered banded iron-formation of the Archean Carajás Formation, Northern Brazil. EconomicGeology, 97: 643-651.

KRYMSKY R.SH., MACAMBIRA J.B., MACAMBIRA M.J.B. 2002. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. In: SBG-NO, Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 2, Belém, Anais, 41.

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

LINDENMAYER, Z.G., LAUX, J.H., TEIXEIRA, J.B.G. 2001. Considerações sobre a origem das Formações Ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. Revista Brasileira de Geociências, 31: 21-28.

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., MACAMBIRA M.J.B., SCHELLER T., GOMES A.C.B. 1996. Geocronologia Pb/Pb e tipologia de zircões de rochas vulcânicas da Formação Carajás-Pará: indicador da idade dos BIFs. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, Anais, 6:516-519.

MACAMBIRA J.B., RAMOS J.F.F., ASSIS J.F.P., FIGUEIRAS A.J.M. 1990. Projeto Serra Norte. Conv. Seplan/DOCEGEO/UFPa. Projeto Pojuca. Convênio DNPM/DOCEGEO/UFPa. Relatório Final. 150p.

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. & SCHRANK A. 2003. Depositional aspects of the banded iron formations from the Carajás formation, Pará state, Brazil. In: Latinamerican Congress of Sedimentology, 3, Belém, Anais, 227-229.

MEIRELES, E.M., HIRATA, W.K., AMARAL, A.F., MEDEIROS FILHO, C.A., GATO, W.C. 1984. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, Estado do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, Anais, 5: 2164-2174.

MEIRELLES M.R. 1986. Geoquímica e Petrologia dos jaspilitos e rochas vulcânicas associadas, Grupo Grão Pará, Serra dos Carajás-Pa. Inst. de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Mestrado, 150 p.

MEIRELLES, M.R., DARDENE, M.A. 1991. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco Arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Estado do Pará. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1991. Anais... Rio de Janeiro, SBG, 5: 2164-2174.

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

MAURITY, C. W.; KOTSCHUBEY, B. 1995. Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeudi. Série Ciência da Terra* 7: 331-362.

MORRÍS R.C. 1993. Genetic modelling for banded iron-formation of the Hamersley Group, Pilhara Craton, Western Australia. *Precambrian Res.*, 60: 243-286.

RIBEIRO, A.M.R., & VILLAS, R.N.N. 1990. Estudo microtermométrico em cristais de quartzo de veios hidrotermais da Sequência Bahia, Carajás, PA. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 36. Anais. Natal, SBG, 3: 1193-1204.

SANTOS, J.O.S., HARTMANN, L.A., GAUDETTE, H.E., GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N.J., FLETCHER, I.R. 2000. 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* 3: 453-488.

SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; FARIA, M. S.; RIKER, S. R.; SOUZA, M. M.; ALMEIDA, M. E.; MCNAUGHTON, N. J. A compartimentação do cráton amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000–2006. In: *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 9., Belém. Anais... Belém: 2006.

SOBRINHO, F. C. Contribuição ao estudo da Gênese do minério de Ferro na mina N4E, Carajás. 2012. P. 26-67. TCC (Graduação).

TASSINARI C.C.G. O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos. 1996. 139 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

TASSINARI, C.C.G. et al. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G. et al. (Ed.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31. International Geological Congress, 2000. p. 41-95.

TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO NEVES, B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, p. 471-485.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic implications. *Precambrian Res.*, 42: 213-227.

TRENDALL, A.F. ET AL. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, n. 3, p. 265-277, 1998.

WIRTH, K.R., GIBBS, A.K., OLSZEWSKI JR., W.J. U-Pb zircon ages of the Grão Pará group and Serra dos Carajás granite, Para, Brazil. *Revista Brasileira Geociências* 16(2), 195-200. 1986.