



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

**CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO FURO DE SONDAGEM FDN 17-01 DO DEPÓSITO
DE MANGANÊS DA REGIÃO DA SERRA DO SERENO, CURIONÓPOLIS, SUDOESTE DO
PARÁ.**

GÉSSICA HAIRA MARINS FREITAS

MARABÁ – PA
2018

GÉSSICA HAIRA MARINS FREITAS

CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO FURO DE SONDAGEM FDN 17-01 DO DEPÓSITO DE MANGANÊS DA REGIÃO DA SERRA DO SERENO, CURIONÓPOLIS, SUDOESTE DO PARÁ.

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. Msc. Aderson David Pires de Lima.

MARABÁ-PA

2018

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

Freitas, Géssica Haira Marins

Caracterização litológica do furo de sondagem fdn 17-01 do depósito de manganês da região da serra do sereno, Curionópolis, Sudoeste do Pará / Géssica Haira Marins Freitas; orientador, Aderson David Pires de Lima. — 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Geologia, Marabá, 2018.

1. Mineralogia 2. Minérios de manganês 3. Minas e recursos minerais. 4. Manganês - Minas e mineração. I. Lima, Aderson David Pires de, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 23. ed.: 549.098115

GÉSSICA HAIRA MARINS FREITAS

CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO FURO DE SONDAGEM FDN 17-01 DO DEPÓSITO DE MANGANÊS NA REGIÃO DA SERRA DO SERENO, CURIONÓPOLIS, SUDOESTE DO PARÁ.

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. Msc. Aderson David Pires de Lima.

Data de aprovação: ____/____/____ Conceito: _____

Banca examinadora:

Aderson Lima

Prof. Msc. Aderson David Pires de Lima – Orientador FAGEO/UNIFESSPA

Leonardo Brasil Felipe

Prof. Msc. Leonardo Brasil Felipe – Membro FAGEO/UNIFESSPA

Alice Cunha da Silva

Prof. Msc. Alice Cunha da Silva – Membro FAGEO/UNIFESSPA

*Aos meus avós Cenildo Alves de Marins e Maria Francisca da Cunha Marins por cada lição
e, principalmente, por muito amor doado.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo alimento da alma e pela lucidez, que foi importantíssima para a conclusão do curso. Agradeço imensamente a toda minha família (Marins e Freitas), que sempre me encorajaram a concluir a graduação, mesmo com todas as dificuldades não me deixaram desanimar e levar essa vitória para casa. Em especial ao meu pai Pedro que sempre me ensinou a ter “sangue nos olhos” e isso foi essencial nos momentos de fraqueza, a minha mãe Geovana que sempre ofereceu apoio incansável com todo seu amor, além de cuidar do meu filho enquanto seguia nesta caminhada residindo longe em função do curso. Minha irmã Geísa, que apesar de morar em Macapá, sempre se fez presente em todas as etapas da minha vida. Ao Guilherme, meu filho, o real motivo de todo esforço feito. Meus motores da vida.

Aos meus amigos de graduação que deixaram a rotina mais leve e foram família nesse período, particularmente Carlos Henrique (Kiki), Lucas (Luluca da geô), Fabiano (Bibi), Jairo (língua), Willian e Ozineide. A todos da geologia 2011, 2012 e 2013 que andaram comigo.

A minha amiga Bruna Castro, e toda sua família, que sempre me ofereceram suporte e foram imprescindíveis para esta conquista, minha eterna gratidão.

Ao geólogo e amigo Pedro Roberto Costa Júnior por todo o incentivo e acreditar em mim enquanto profissional, ao Seu Sinésio, Barros e toda a equipe da RMB Manganês, que cederam o furo para realização do trabalho e me acolheram com muito carinho durante o estágio.

Por fim a Faculdade de Geologia pela estrutura oferecida nesses anos de curso e, principalmente, a todos os professores da FAGEO (José de Arimatéia, Raimundo Nonato, Leonardo Brasil, Francisco Costa, Alice Cunha e Emídio Santos) pelos ensinamentos incansáveis que me fizeram chegar até aqui. Especialmente ao professor Aderson, meu orientador, que teve muita paciência ao longo do trabalho e as professoras Gilmara e Valéria, mulheres fortes que são referência na geologia para mim. A todos meu muito obrigada com amor e gratidão.

“O melhor ainda está por vir!”

RESUMO

O depósito de manganês da Serra do Sereno localiza-se no município de Curionópolis, próximo a Vila Alto Bonito, a aproximadamente 160 km de Marabá, na direção sul. Está inserido no contexto geológico da Província Carajás, porção leste do Cráton Amazônico. O depósito está hospedado em rochas metassedimentares do Grupo Rio Novo que apresentam evidências de alteração hidrotermal. Esta unidade apresenta idade neoarqueana e a mineralização ocorre preferencialmente em clorita xistos, sericita xistos, xistos grafitosos e quartzitos. Em decorrência da carência de trabalhos acadêmicos publicados referentes à geologia local é comum fazerem referência da região do Sereno correlacionada aos depósitos de manganês de Buritirama, fato este que impulsionou este trabalho a realizar um estudo mais aprofundado a respeito da geologia da região. Para tanto, a partir da disponibilização de um furo de sondagem (FDN 17-01) pela empresa RMB Manganês, foi feita a caracterização macroscópica das rochas bem como análises por difratometria de raios X e por espectrometria de fluorescência raios X por energia dispersiva, a fim de contribuir com novas informações sobre este importante depósito mineral.

Palavras-chave: Província Carajás, Mineralogia, Serra do Sereno, Manganês.

ABSTRACT

The Manganese deposit of Serra do Sereno is located in the municipality of Curionópolis, near to Vila Alto Bonito, approximately 160 km from Marabá, in the south direction. It is inserted in the geological context of the Carajás Province, eastern portion of the Amazonian Craton. The deposit is hosted by hydrothermally altered metasedimentary rocks of the Grupo Rio Novo, of neoproterozoic age, in which chlorite schists, sericite schists, graphite schists and quartzites occur. Due to the few published scientific papers in relation to the local geology, references of the region of the Sereno are usually found correlated to the manganese deposits of Buritirama, fact that impelled this paper to realize a more in depth study about the geology of the region. To do so, as a result of the availability of a drilling hole (FDN 17-01) by the RMB Manganês enterprise, a macroscopic characterization of the rocks was carried out as well as analyzes by X-ray diffraction and X-ray fluorescence spectrometry by dispersive energy, in order to contribute with new information on this important mineral deposit.

Keywords: Carajás Province, Mineralogy, Serra do Sereno, Manganese.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização e acesso da área de estudo gerado pela RMB Manganês.	18
Figura 2: Localização do Furo de Sondagem FDN 17-01.	18
Figura 3: Fluxograma indicando as etapas do presente trabalho.	19
Figura 4: (a) Identificação das amostras para análise; (b) Pulverização das amostras no grau de ágata; (c) Análise no difratômetro de raio X.	21
Figura 5: (a) Preparação da amostra para análise em ED X; (b) Aparelho de ED X SHIMADZU e (C) Aparelho com as 12 amostras alocadas pra análise.	23
Figura 6: Mapa geológico simplificado da porção norte da PMC, modificado de Dardenne & Schobbenhaus.	26
Figura 7: Mapa geológico regional de Carajás situando com a marcação em vermelho a área de pesquisa da empresa RMB Manganês.	27
Figura 8: Mapa geológico gerado pela RBM Manganês com as principais unidades litológicas, principais estruturas e alvos selecionados durante o mapeamento geológico.	29
Figura 9: (a) Primeiro intervalo do furo FDN 17-01; (b) Segundo intervalo do furo FDN 17-01 apresentando caráter friável e pulverulento; (c) e (d) Detalhes do furo onde as amostras foram coletadas.	30
Figura 10: (a) Amostra FDN – 01 e (b) Amostra FDN - 02.	31
Figura 11: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-01 (Qtz – Quartzo; Kln – Caulinita; Ms – Muscovita).	32
Figura 12: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-02 (Qtz – Quartzo; Bnt – Birnessita; Ms – Muscovita).	32
Figura 13: Amostra FDN-03.	33
Figura 14: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-03 (Kln – Caulinita; Qtz – Quartzo; Pych – Pirocroíta).	33
Figura 15: (A) Amostra FDN – 04 e (B) Amostra FDN - 05.	34
Figura 16: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-04 (Qtz- Quartzo; MnO₂ – Óxido de manganês).	35
Figura 17: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-05 (Qtz – Quartzo; Prl – Pirolusita).	35
Figura 18: (a) Amostra FDN - 06; (b) Amostra FDN – 09 e (c) Amostra FDN-12.	36

Figura 19: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-06 (Qtz – Quartzo; Chl – Clorita; Tk – Todorokita; Pych – Pirocroíta; Mnt – Manganita).....	37
Figura 20: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-09 (Qtz – Quartzo; Ms – Muscovita; Rmt – Ramsdellita; Chl – Clorita).	38
Figura 21: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-12 (Qtz – Quartzo; Chl – Clorita; MnO2 – Dióxido de manganês).....	38
Figura 22: Amostra FDN - 07.....	39
Figura 23: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-07 (Qtz – Quartzo; Tk – Todorokita; Cel – Celadonita; Ant – Andradita).....	40
Figura 24: Amostra FDN - 08.....	41
Figura 25: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-08 (Qtz – Quartzo; Ms – Muscovita; Tk – Todorokita; Gpt – Grafita).....	41
Figura 26: (a) Amostra FDN – 10 e (b) Amostra FDN - 11.	42
Figura 27: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-10 (Qtz – Quartzo; Ms - Muscovita; Sdf – Siderofilita; Hs – Hausmanita).....	43
Figura 28: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-11 (Qtz – Quartzo; Ms – Muscovita; Hs – Hausmanita).	43
Figura 29: Síntese do resultado elementar das amostras obtido através de análise em EDX.	44
Figura 30: Minerais de manganês.....	45
Figura 31: Amostras coletadas a partir do furo FDN 17-01, com as respectivas fotos das amostras de acordo com a profundidade.	46
Figura 32: Sequência de formação dos minerais de manganês em ambiente supergênico mostrando a hausmanita como mineral primário portador de manganês para a formação da associação da assembleia mineral secundária.	51
Figura 33: Distribuição dos principais elementos químicos no perfil.	53

Índice de Abreviações

PMC – Província Mineral de Carajás

Kln – Caolinita

Qtz – Quartzo

Mn – Manganês

Ms - Muscovita

Sdf - Siderofilita

Hs - Hausmanita

Tk - Todorokita

Pyh - Pirocroíta

Rmt – Ramsdellita

Cel - Celadonita

Ant - Andradita

Mnt - Manganita

Chl - Clorita

Prl - Pirolusita

Bnt – Birnessita

Si – Silício

O – Oxigênio

Fe – Ferro

Al – Alumínio

H – Hidrogênio

Ti – Titânio

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

CRVD – Companhia Vale do Rio Doce

DRX – Difractometria de Raios-X

EDX – Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva

IGE – Instituto de Geociências e Engenharia

Msc – Mestre

NE – Nordeste

NW – Noroeste

Pa – Pará

SE – Sudeste

SW - Sudoeste

Unifesspa – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Apresentação	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivos	16
1.4 Localização e Acesso	17
2 MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1 Revisão Bibliográfica	19
2.2 Trabalhos de Campo	20
2.3 Amostragem	20
2.4 Difração de Raios X	20
2.5 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva	22
3 GEOLOGIA REGIONAL	23
3.1 Domínio Rio Maria	24
3.2 Domínio Carajás	24
3.2.1 Grupo Rio Novo	24
4 GEOLOGIA LOCAL.....	28
4.1 Estratigrafia e Unidades Litológicas	28
4.2 Geologia Estrutural	28
5 RESULTADOS	29
5.1 Mineralogia dos litotipos descritos no furo de sondagem FDN 17-01.....	29
5.1.1 Perfil de solo - 0,00 a 2,50m de profundidade	31
5.1.2 Saprólito avermelhado - 2,50 a 7,15m de profundidade	33
5.1.3 Saprólito com fragmentos de Mn - 7,15 a 14,60m de profundidade	34
5.1.4 Clorita xisto (14,60m – 42,40m – 101,30m de profundidade).....	36
5.1.5 Sericita xisto (16,40 a 21,55m de profundidade).....	39
5.1.6 Xisto grafitoso (21,55 a 30,15m de profundidade)	40

5.1.7 <i>Quartzito intemperizado (63,20 a 91,75m de profundidade)</i>	42
6 DISCUSSÃO	44
6.1 Caracterização Mineralógica e Litológica	44
6.2 Potencial Econômico do Minério	47
6.3 Evolução e modelo de formação do depósito	49
6.3.1 <i>Sistema Sedimentar</i>	54
6.3.2 <i>Sistema Hidrotermal</i>	54
6.3.3 <i>Sistema Supergênico</i>	55
7 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O minério de manganês está entre os vinte elementos mais abundantes na crosta terrestre, no entanto, é raro encontrar um depósito do minério. Segundo o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, as reservas brasileiras (medidas + indicadas) no ano de 2003 eram da ordem de 131 milhões de toneladas, contra 587 milhões em 2008, o que importa dizer que houve um incremento de quase 350%, motivado pela reavaliação das reservas existentes no território nacional. De acordo com o Sumário Mineral de 2015 (DNPM), a produção mundial de manganês em 2014 foi estimada em 17,7 milhões de toneladas em metal contido, representando um acréscimo de 5,1% em relação ao ano anterior, caindo para 16,9 Mt. O teor médio do manganês das reservas nacionais atinge 32,5%. As principais reservas nacionais estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Bahia e Pará.

No presente trabalho foram estudadas as rochas do furo de sondagem FDN 17-01 que foi executado dentro da mina da empresa RMB Manganês localizada nos domínios da Serra do Sereno, Província Mineral de Carajás (PMC), uma área pouco estudada quando comparada ao depósito de manganês de Buritirama. De acordo com Anderson *et al.*, (1974), as ocorrências de manganês de Sereno e Buritirama são consideradas como do mesmo tipo genético. As do Sereno são geralmente pequenas, lenticulares, associadas a rochas xistosas que mergulham fortemente e se situam estratigráficamente próximas ao horizonte quartzítico principal. Os óxidos de manganês ocorrem em forma de zonas de enriquecimento e impregnações em quartzito. Já no Depósito do Buritirama, as rochas são constituídas por quartzito maciço de coloração branca a cinza claro, localizados na parte basal, acima do quartzito ocorre um pacote de xistos de litologias diversificadas contendo protominério manganesífero sílico-carbonático.

A RMB Manganês, empresa de caráter privado vem realizando pesquisa mineral na área desde 2014. Campanhas de mapeamento geológico, geoquímica de solo foram realizadas o que permitiu a execução de furos de sondagem em alvos de maiores interesses prospectivos, onde foram encontrado um grande depósito que está sendo lavrado.

A partir da permissão do estudo de um furo de sondagem (FDN 17-01), gentilmente cedido pela empresa RMB Manganês, foi feita a descrição macroscópica das unidades litológicas presentes neste furo e posteriores, análises por difratômetro de raios X e espectrometria de raios X, a fim de caracterizar a mineralogia do minério e de suas rochas

encaixantes. Cabe ressaltar que o fato destas rochas estarem extremamente alteradas, não foi possível produzir lâminas para estudo petrográfico.

1.2 Justificativa

Segundo Anderson *et al.*, (1974), o potencial metalogenético da região onde se enquadra a área de estudo a consolidaram como alvo de pesquisas minerais. Em 1966, ocorrências de manganês foram descobertas pela CODIM - Companhia de Desenvolvimento de Indústrias Minerais na Serra do Sereno. Trabalhos de pesquisa foram executados pela própria CODIM e subsequentemente pela Companhia Meridional de Mineração em conjunto com a Companhia Vale do Rio Doce. Os depósitos manganesíferos desta região ainda são pouco estudados, e, mesmo assim, vem revelando resultados muito positivos para a presença de manganês.

A concessão do furo de sondagem FDN 17-01 para realização deste Trabalho de Conclusão de Curso possibilitou analisar, estudar, discutir e concluir parâmetros geológicos que contribuíram, na medida do possível, com o desenvolvimento desta mina de manganês da RMB Mineração.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a caracterização dos aspectos geológicos e mineralógicos do furo FDN 17-01 inerente aos depósitos de manganês na região da Serra do Sereno.

Os objetivos específicos são:

1. Definir através de descrição macroscópica e difratometria de raios X os litotipos presentes no furo e sua referida mineralogia;
2. Realizar análises utilizando espectrometria de fluorescência de raios X para uma identificação elementar e análise de teor de Mn com intuito de enquadrar quais amostras encontram-se nos padrões de comercialização do minério;
3. Propor um modelo simplificado que explique a relação entre os minerais herdados e os neoformados no perfil de alteração, correlacionando com a geologia regional do depósito.

1.4 Localização e Acesso

A área de estudo está localizada a leste da Serra de Carajás, no sudeste do estado do Pará. O acesso terrestre pode ser feito a partir de Marabá pela Rodovia PA-150 em direção a Eldorado dos Carajás, percorrendo-se cerca de 93 km, até atingir esse município. A partir de Eldorado dos Carajás, percorre-se cerca de 16 km pela PA-275 em direção a Curionópolis, até atingir a estrada municipal que segue para a Serra Pelada e Serra Leste – Vale, esse local é denominado Km “dezesseis” pelos moradores locais.

A partir desse ponto percorre-se 22 km em estrada de terra com ótima conservação, até atingir uma bifurcação, a direita. Por essa estrada segue-se em direção a localidade Alto Bonito, cerca de 5 km, onde localizam-se as instalações atuais da RMB, desse ponto, em diante segue-se por vicinais por mais 12 km chegando a porção sul da área de pesquisa (Figura 1 e Figura 2).

As principais cidades da região são Marabá, Curionópolis e Parauapebas, que distam aproximadamente 160, 45 e 80 km do local. Os aeroportos mais próximos se encontram em Carajás e Marabá.

Figura 1: Mapa de localização e acesso da área de estudo gerado pela RMB Manganês.

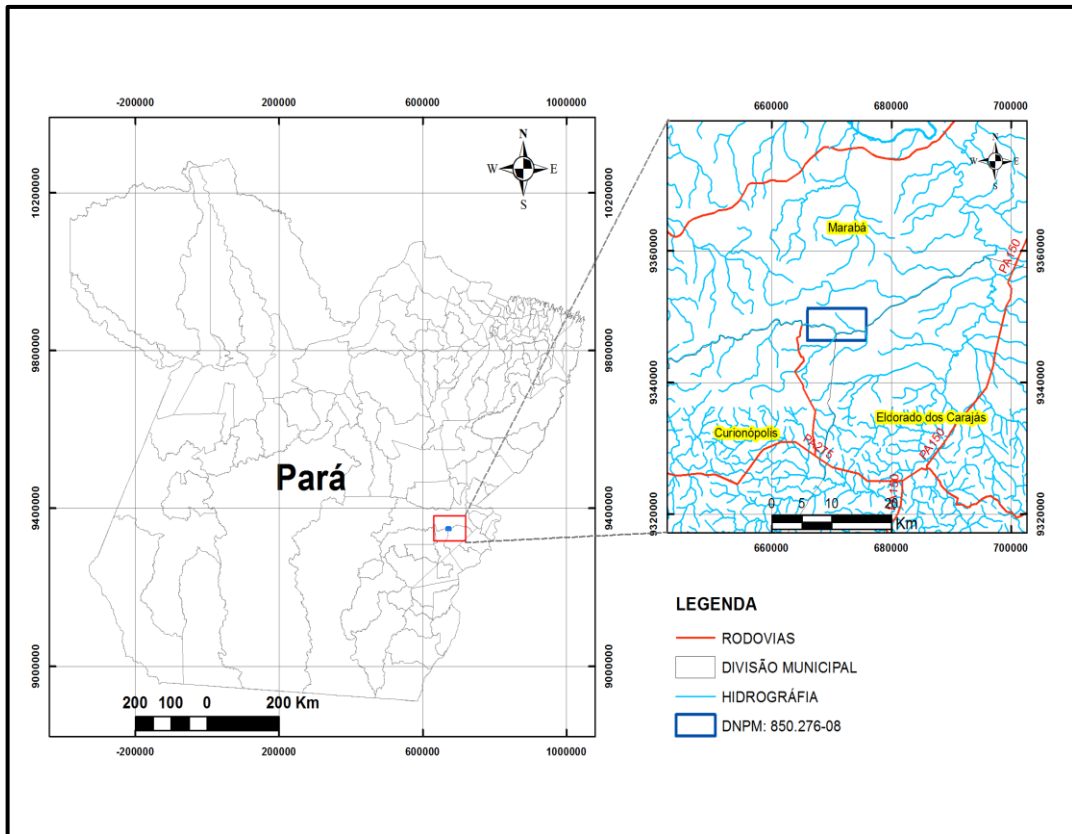
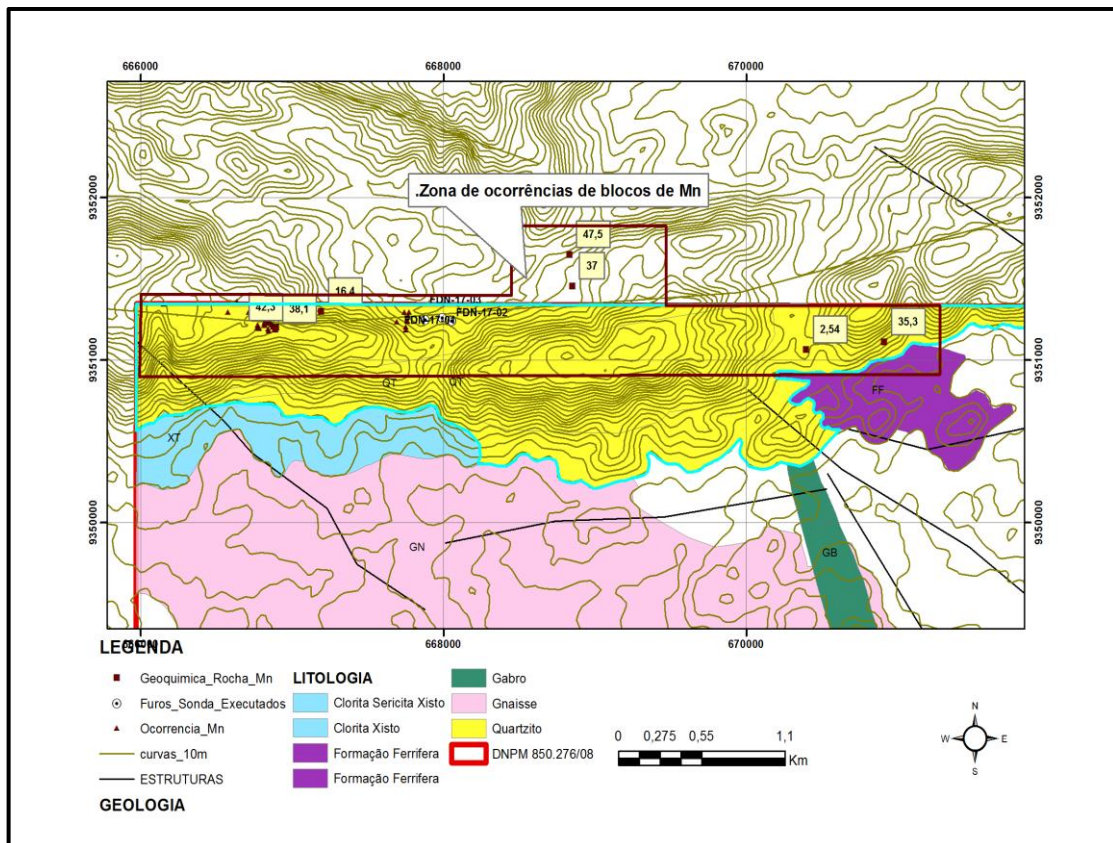


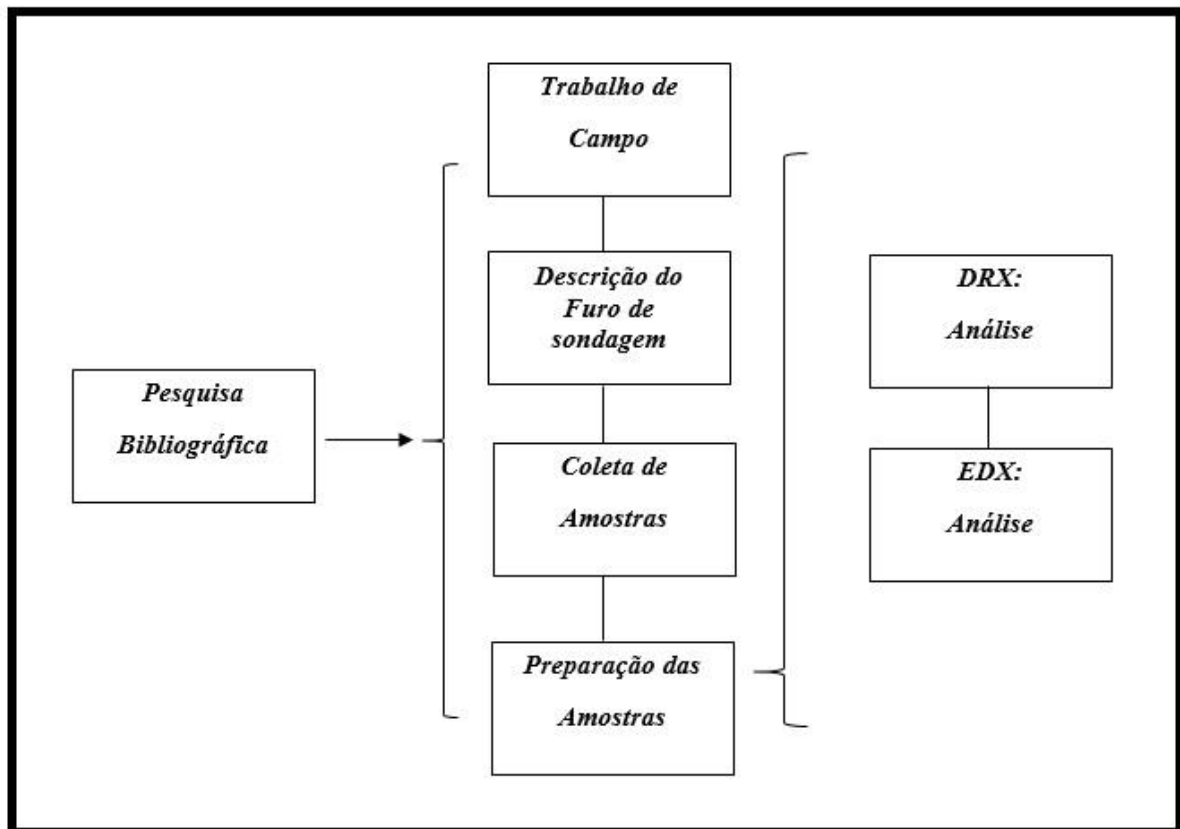
Figura 2: Localização do Furo de Sondagem FDN 17-01.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho baseia-se em pesquisas bibliográficas, através da leitura de artigos, relatórios, etc. Adicionalmente foram realizados trabalhos de campo, onde foram visitados os principais afloramentos rochosos representativos da geologia local, além da coleta de amostras do minério e das rochas encaixantes que foram encontradas no furo FDN 17-01. Por fim, análise das amostras coletadas usando difratômetro de raios X e espectrometria de raios X. A seguir é apresentada a síntese das etapas realizadas no presente trabalho (Figura 3).

Figura 3: Fluxograma indicando as etapas do presente trabalho.



2.1 Revisão Bibliográfica

O levantamento bibliográfico foi realizado através de consultas em artigos, dissertações e teses sobre a Província Mineral de Carajás e temas relacionados à geologia e metalogenia de uma forma geral, no intuito de agregar o máximo de informações, oferecendo um entendimento preliminar da área em foco.

2.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo realizados neste trabalho ocorreram durante o estágio na empresa RMB Manganês (janeiro a março de 2018), onde, fez-se o reconhecimento da área do depósito de Manganês da Serra do Sereno, além de descrever e conhecer outros furos de sondagem da empresa. Em seguida, foi realizado o registro de fotos das rochas correspondentes ao furo em questão e foram coletadas as amostras utilizadas nas etapas seguintes.

2.3 Amostragem

A coleta das amostras ocorreu no dia 23/03/2018. Foi selecionado para o presente trabalho, o furo FDN 17-01, considerado o mais representativo no que diz respeito às litologias que contém o depósito de Mn da Serra do Sereno. O furo foi realizado pela própria empresa RMB Manganês e descrito pelo geólogo da mesma, porém a descrição foi revisada a título de confirmação e acréscimo de informações. O testemunho possui azimute 180, com inclinação de 70 graus, comprimento de 102,80 metros e coordenadas UTM 667994 e 9351261. O critério utilizado para amostragem do furo de sondagem para análise foi litológico, ou seja, onde era notória mudança na litologia, foi coletada a amostra.

A identificação das amostras foi feita concomitante a amostragem, utilizando-se sacos plásticos, lacres e pincel permanente com o intuito de individualiza-las, reduzir os danos físicos e não contaminar as amostras.

Das 36 amostras coletadas a partir do furo, foram selecionadas 12 amostras finais para as análises no DRX e EDX.

2.4 Difração de Raios X

Esses estudos tiveram como objetivo principal auxiliar na identificação da mineralogia de minério, bem como dos minerais das rochas encaixantes e do protominério. A partir da amostragem do furo de sondagem FDN 17-01, as alíquotas separadas foram levadas ao Laboratório de Caracterização Estrutural localizado na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – Unifesspa, onde com o auxílio de um grau de ágata (Figura 4B) as amostras foram pulverizadas seguindo o processo de: lavagem do grau de ágata e pulverização da amostra; lavagem do grau de ágata pulverização da amostra; coleta da amostra pulverizada com uma espátula com colher; separação da amostra pulverizada em um pacote de papel identificado com o nome e número da respectiva amostra (Figura 4A). Para a realização da análise das amostras foi realizada em difratômetro de raios-X modelo *RIGAKU* modelo *MiniFlex* 600 (Figura 2C),

operando 40 kV/15mA, velocidade de escaneamento 10 graus/minuto e intervalo de escaneamento de 5-70 graus (2 theta).

Figura 4: (a) Identificação das amostras para análise; (b) Pulverização das amostras no grau de ágata; (c) Análise no difratômetro de raio X.



2.5 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva

Durante a separação de amostras para a análise no DRX, também foram separadas frações para o EDX as quais foram individualizadas em frascos plásticos devidamente identificados (Figura 5).

Em seguida as amostras foram levadas para o escritório da empresa RMB Manganês, localizado em Parauapebas, onde já pulverizadas, foram colocadas, com auxílio de uma colher, em pequenos potes identificados conforme a amostra para análise no aparelho.

Tais estudos tiveram como objetivo a análise química elementar do minério, principalmente para obter informações a respeito do teor de manganês nas amostras.

Para a análise em espectrometria de fluorescência de raio X por energia dispersiva, foi utilizado equipamento modelo *SHIMADZU EDX- 7000P*.

Figura 5: (a) Preparação da amostra para análise em ED X; (b) Aparelho de ED X SHIMADZU e (c) Aparelho com as 12 amostras alocadas pra análise.



3 GEOLOGIA REGIONAL

O contexto geotectônico maior que a área de estudo faz parte da Província Mineral de Carajás (PMC), que é a principal província brasileira, gerada, reativada e estabilizada tectonicamente no Arqueano que foi palco de magmatismo anorogênico durante o paleoproterozóico, localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico (Figura 6). Ela compreende as mais importantes reservas minerais (Au, Cu, Mn, Ni e Pt) e um dos maiores depósitos de ferro do mundo, estando delimitada a norte pelo Domínio Bacajá (DBJ), a leste

pelo Cinturão Araguaia, e a oeste, pela Província Amazônia Central (VASQUEZ et al., 2008). Santos (2003) dividiu a PMC nos domínios Rio Maria (DRM; 3,0-2,86 Ga, ROLANDO; MACAMBIRA, 2003) e Carajás (DC; 3.0-2.73 Ga, PIDGEON et al., 2000, VASQUEZ et al., 2008).

3.1 Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria é composto pelo *Greenstone Belts* do Supergrupo Andorinhas (grupos Sapucaia, Seringa, Babaçu, Lagoa Seca, Identidade, Pedra Preta) cujas rochas têm idade entre de 2,7 a 2,98 Ga (Avelar, 1996). Afloram neste domínio tonalitos, trondhjemitos e granodioritos de 2,98 a 2,86 Ga (U-Pb e Pb-Pb em zircão) (Dall'Agnol et al. 1994; Leite et al. 2004) e granitóides de 2,87 a 2,86 Ga (U-Pb e Pb-Pb em zircão) (Leite et al. 2004; Oliveira et al. 2009; Almeida et al. 2011).

3.2 Domínio Carajás

O Domínio Carajás é neoarqueano, caracterizado por sequências metavulcano-sedimentares e granitóides de alto K, além de um marcante magmatismo granítico paleoproterozóico anorogênico e diques associados (Dall'Agnol et al., 2005, Macambira; Lafon 1995, Vasquez et al., 2008).

3.2.1 Grupo Rio Novo

O termo Rio Novo foi utilizado inicialmente por Hirata et al., (1982) e Meireles et al., (1982) para a sequência metavulcano-sedimentar que aflora na região de Serra Pelada, extremo nordeste do Domínio Carajás, que a correlacionaram com as sequências tipo *greenstone belt* da região de Rio Maria. A formalização como Grupo Rio Novo foi feita por Araújo; Maia, 1991), e corroborada por Oliveira et al. 1994, que ampliaram a área de ocorrência deste grupo, englobando as rochas circunvizinhas, pertencentes ao Grupo Igarapé Pojuca, (Docegeo, 1988), as rochas metassedimentares que constituem a Serra do Sereno e os corpos máficos-ultramáficos do Complexo Luanga.

O Grupo Rio Novo, segundo Araújo & Maia (1991) e Oliveira et al., (1994), é constituído por metamáfitos, metaultramáfitos, metaquartzitos, formações ferríferas bandadas, xistos micáceos e metapelitos grafitosos, manganésíferos e ferruginosos.

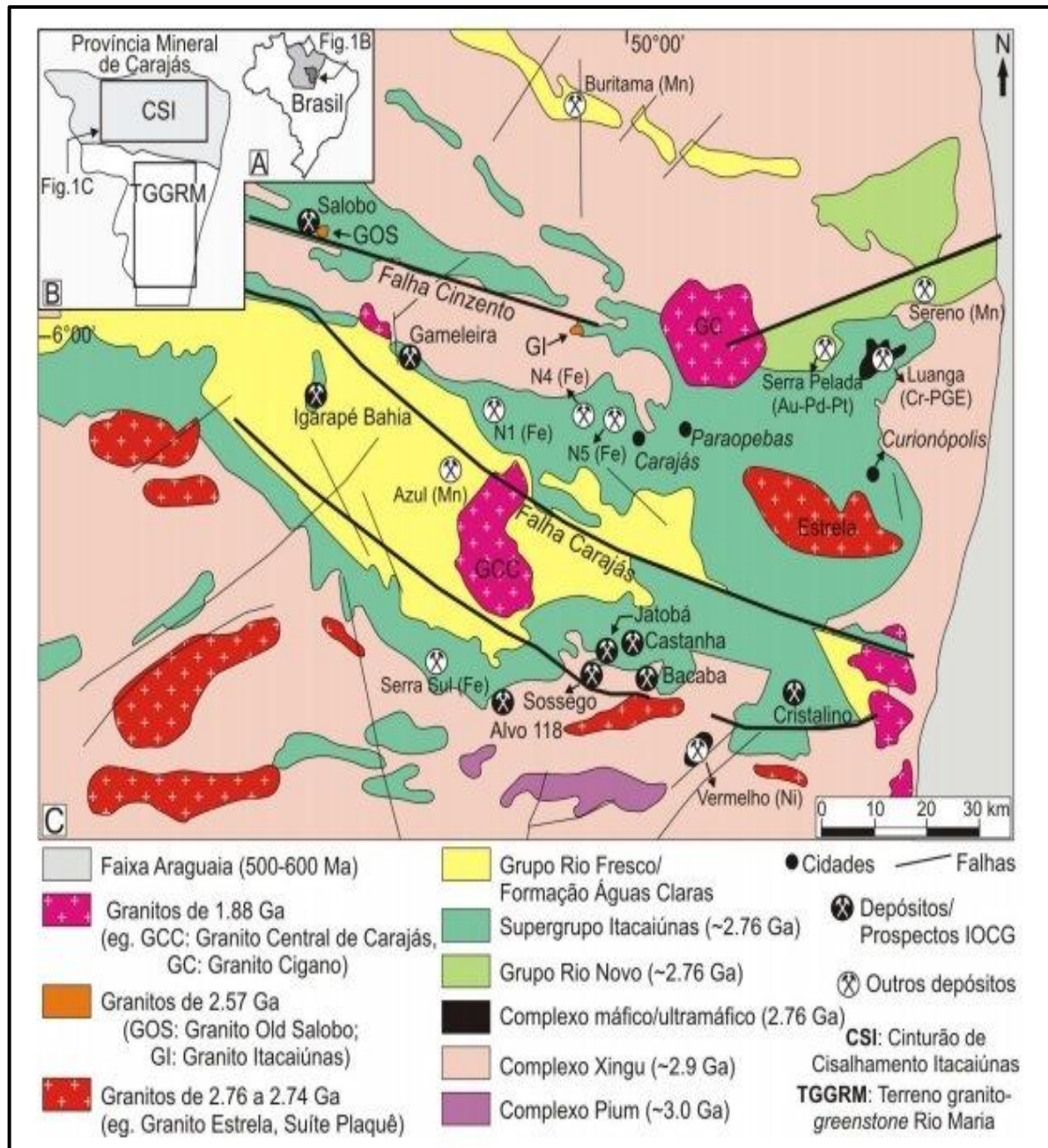
Segundo Oliveira *et al.*, (1994) os metaultramafitos são representados por actinolita xistos, talco xistos, antofilita-clorita-talco xistos, antofilita-tremolita xistos e serpentinitos. Os metamafitos são constituídos por actinolita xistos, com foliação milonítica. Os metaquartzitos variam de granulação fina a muito grossa e as formações ferríferas bandadas são constituídas por quartzo e hematita. Além desses litotipos, destaca-se a sequência metassedimentar que ocorre no garimpo de Serra Pelada, representada por filitos sericíticos e quartzo sericíticos, derivados de siltitos, argilitos e argilitos silticos. Esta sequência essencialmente sedimentar foi designada de Formação Serra Pelada por Jorge João *et al.* 1982, enquanto Meireles *et al.*, (1982) a correlacionaram ao então Grupo Rio Fresco.

Ainda segundo esses autores o Grupo Rio Novo foi submetido a condições metamórficas de fácies xisto verde baixo e alto (quartzitos com silimanita) e processos deformacionais polifásicos com taxas de deformação variadas. Estes autores admitem que a estruturação regional do Grupo Rio Novo está ligada à terminação leste do Sistema Transcorrente Cinzento, que corresponde a uma estrutura tipo “rabo de cavalo”, formada por zonas de cavalgamento oblíquo NE-SW, que divergem a partir de uma zona transcorrente principal WNW-ESE.

Pinheiro *et al.*, (1997), interpretam esta sequência metavulcano-sedimentar como uma unidade de cobertura, apresentando metamorfismo de fácies xisto verde baixo predominante, com graus mais altos próximo ao Complexo Granítico Estrela. Este autor descreve ainda uma pervasiva fábrica milonítica nestas rochas permitindo diferenciar do grupo Grão Pará, que ainda preservam estruturas primárias. A idade mínima do Grupo Rio Novo é neoarqueana, sugerida pelas idades do Complexo Máfico-Ultramáfico Luanga (2763 ± 7 Ma, Machado *et al.*, 1991) e do Complexo Granítico Estrela (2763 ± 7 Ma, Barros *et al.* 2001b), ambos intrusivos neste grupo. Outra indicação de idade arqueana para este grupo é a idade de 2658 ± 213 Ma (Pb-Pb em rocha total), obtida por Reis *et al.*, (2001) em rochas metamáficas no depósito de Serra Verde, a oeste de Curionópolis.

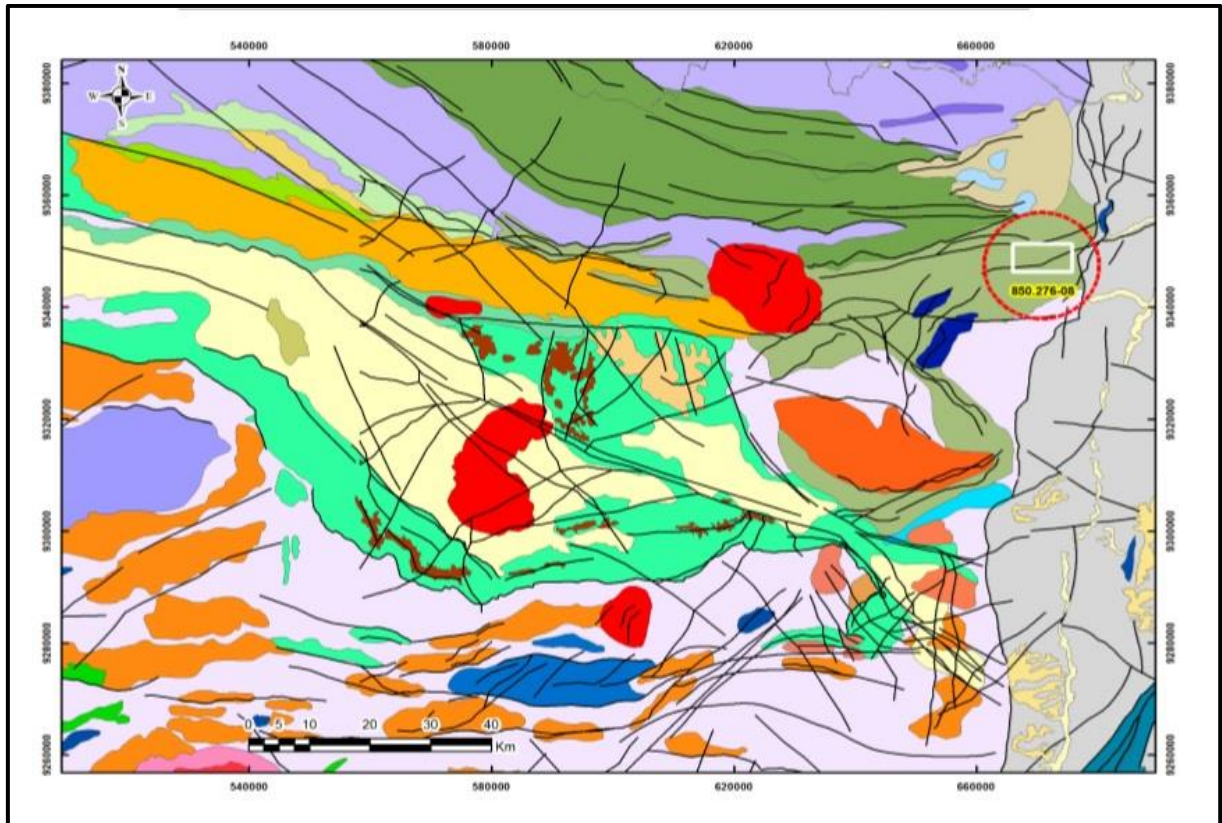
Dentre os principais depósitos minerais associados ao Grupo Rio Novo, merece destaque os depósitos de Au de Serra Pelada, Cutia e Formiga, o depósito de Cu-Au de Serra Verde, Mn da Serra do Sereno e Fe da Serra Leste (Figura 7).

Figura 6: Mapa geológico simplificado da porção norte da PMC, modificado de Dardenne & Schobbenhaus, 2001.



FONTE: MORETO, C. P. N. 2010. O DEPÓSITO DE ÓXIDO DE FERRO-COBRE-OURO BACABA, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, PA: GEOCRONOLOGIA U-Pb DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS. Campinas, São Paulo.

Figura 7: Mapa geológico regional de Carajás situando com a marcação em vermelho a área de pesquisa da RMB Manganês, retirada do relatório interno da empresa.



4 GEOLOGIA LOCAL

4.1 Estratigrafia e Unidades Litológicas

A área onde foi realizado o furo FDN 17-01 está localizada na porção nordeste da Província Mineral de Carajás, que é mundialmente reconhecida como uma das mais ricas em minérios do planeta, que hospeda um dos maiores depósitos de minério conhecidos, além de depósitos de óxidos de Ferro, Cu-Au (\pm Mo \pm Ag \pm U \pm REE) e Cr-EGP.

Segundo o relatório interno da RMB Manganês, a geologia onde se insere a área de estudo pode ser dividida em duas unidades principais, ambas cortadas por intrusões graníticas de idade 1.88 Ga: (1) sequência inferior, composta por rochas Metavulcano-sedimentares do Grupo Rio Novo e (2) sequência metassedimentar discordante.

A unidade indivisa é representada por sericita - clorita xisto localmente com anfibolitos associados. Geralmente estão muito intemperizados, ocorrendo como solo de coloração marrom clara a ocre, localmente preservando a foliação com mergulho para norte (40 - 60°). Estão tectonicamente sobrepostos por rochas metassedimentares.

O grupo Rio Novo aflora em toda área. É composto essencialmente por meta basaltos e formações ferríferas bandadas. Em superfície, as rochas são extremamente intemperizadas, resultando em um solo vermelho escuro, com saprólito preservando a foliação nas zonas de falha. Formações Ferríferas ocorrem regionalmente e estão representadas por platôs, onde as zonas mais elevadas correspondem a volumes aluvionares e cangas lateríticas (Figura 8).

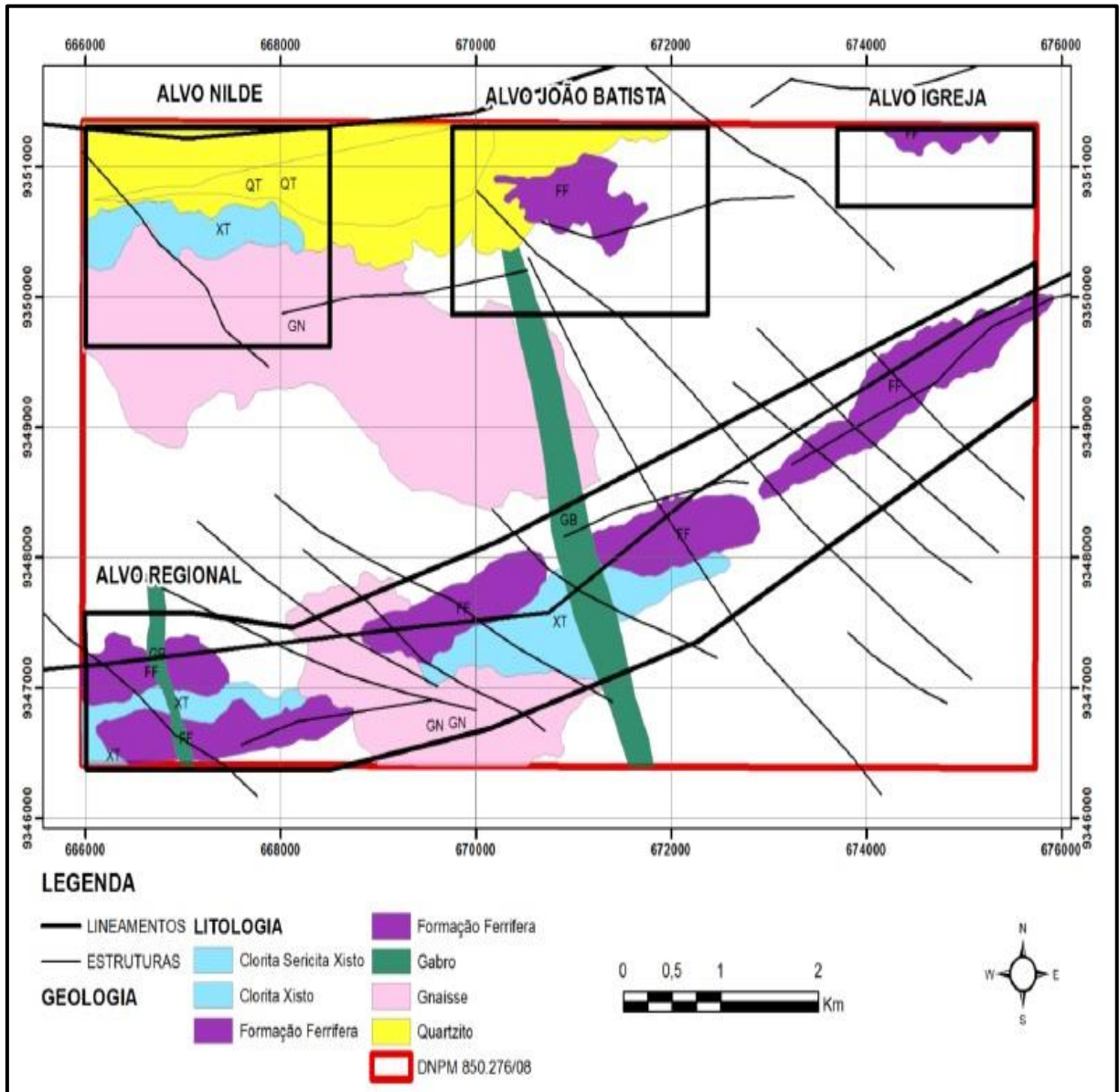
4.2 Geologia Estrutural

Segundo Araújo & Maia (1991) e Oliveira *et al.*, (1994), o arcabouço tectônico da região onde se localiza a área de estudo é interpretada como resultado de metamorfismo em condições de fácies xisto verde baixo e alto e processos deformacionais polifásicos com taxas de deformação variadas. Para a área em questão, conforme o relatório interno da empresa foi identificado dois eventos tectônicos distintos:

O primeiro evento é marcado por dobras de grande amplitude e orientação E – W, sendo amplamente distribuídas em escala regional e local. Estas são localmente truncadas por falhas. O segundo evento é marcado por lineamentos de orientação WNW – ESE em escala regional,

representados em campo por falhas, dobras de pequena amplitude, plano axial subvertical e eixo.

Figura 8: Mapa geológico gerado pela RMB Manganês com as principais unidades litológicas, principais estruturas e alvos seleccionados durante o mapeamento geológico.



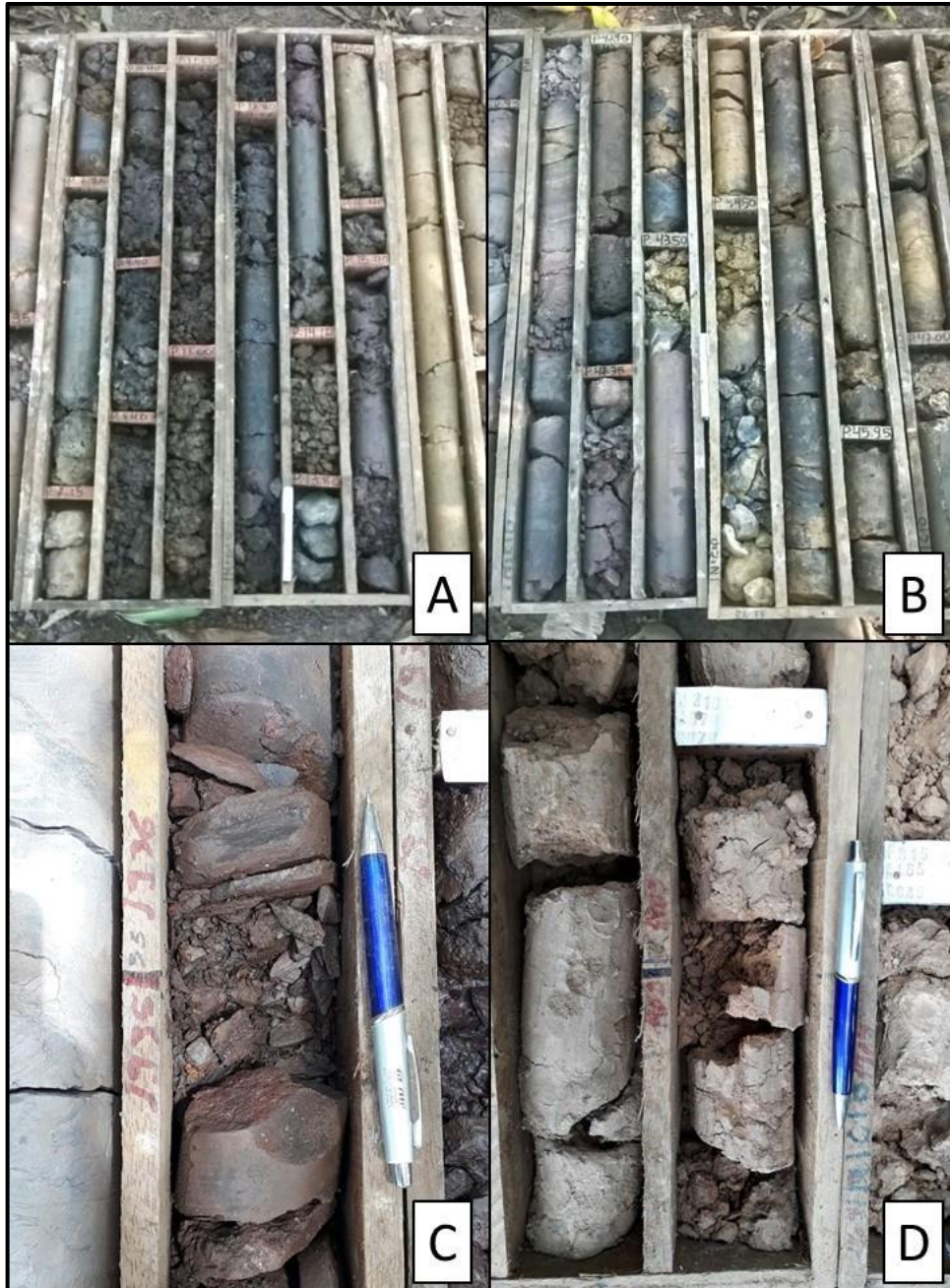
5 RESULTADOS

5.1 Mineralogia dos litotipos descritos no furo de sondagem FDN 17-01

Os corpos de minério formam impregnações ou são lenticulares e se situam estratigraficamente próximos a um horizonte de quartzitos. O minério maciço ocorre em superfície, enquanto que em subsuperfície o minério é friável, pulverulento e altamente silicoso,

como visto na Figura 9. Anderson *et al.*, (1974), Vieira & Brauer (1996) identificaram ainda concentrações detríticas superficiais, formadas a partir da degradação físico-química do minério supergênico.

Figura 9: (a) Primeiro intervalo do furo FDN 17-01; (b) Segundo intervalo do furo FDN 17-01 apresentando caráter friável e pulverulento; (c) e (d) Detalhes do furo onde as amostras foram coletadas.



O furo concedido para realização deste trabalho apesar de ser representativo nos aspectos litológicos apresenta alto grau de alteração, que dificultou na descrição macroscópica dos minerais, além de não ser possível a confecção de lâminas para estudos petrográficos. A classificação das litologias foi possível através das análises em DRX e EDX.

5.1.1 Perfil de solo - 0,00 a 2,50m de profundidade

Marca o início do furo de sondagem onde foram coletadas duas amostras (FDN-01 e FDN-02). São caracterizadas por um solo argiloso marrom com presença de material orgânico e pisólitos de Mn, sendo que este último reage quimicamente quando em contato com a H_2O_2 (o manganês funciona como catalisador na reação, quando em contato com o peróxido de hidrogênio, ocorre à decomposição instantânea do composto sendo visualmente perceptível através da efervescência). As amostras foram coletadas nas profundidades de 1,50m e 2,00m, respectivamente. A partir das análises em DR X os minerais identificados na amostra FDN-01 foram quartzo, muscovita e caulinita; na FDN-02 os minerais foram quartzo, muscovita, birnessita e manganita (Figura 11 e 12).

Figura 10: (a) Amostra FDN – 01 e (b) Amostra FDN - 02.

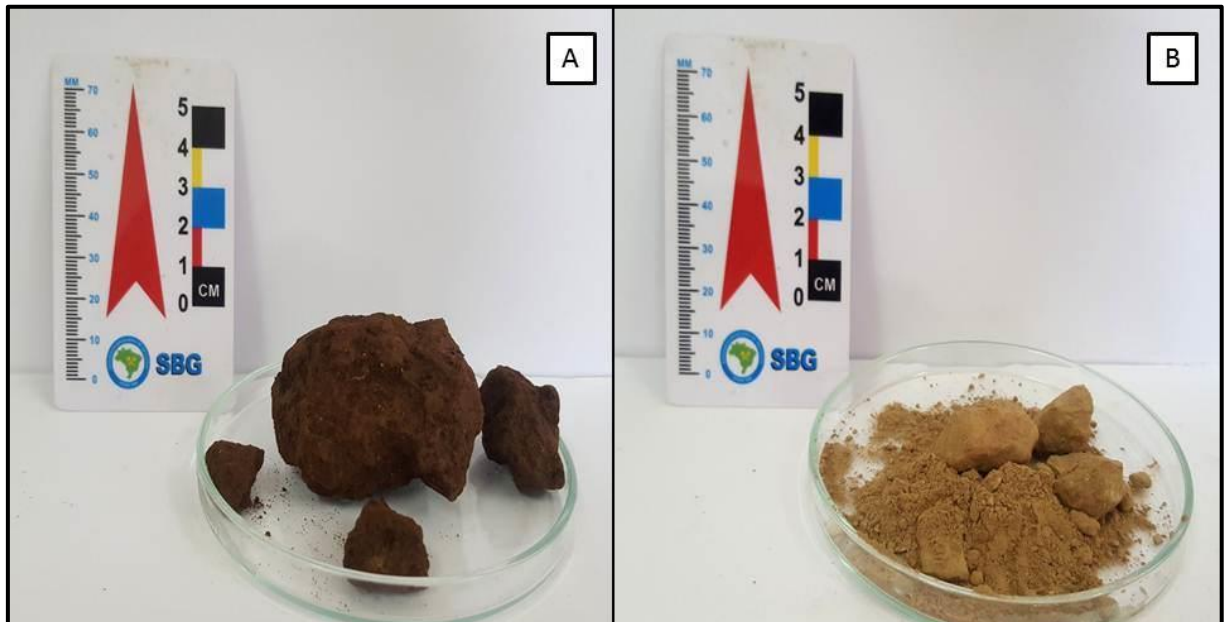


Figura 11: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-01 (Qtz – Quartzo; Kln – Caulinita; Ms – Muscovita).

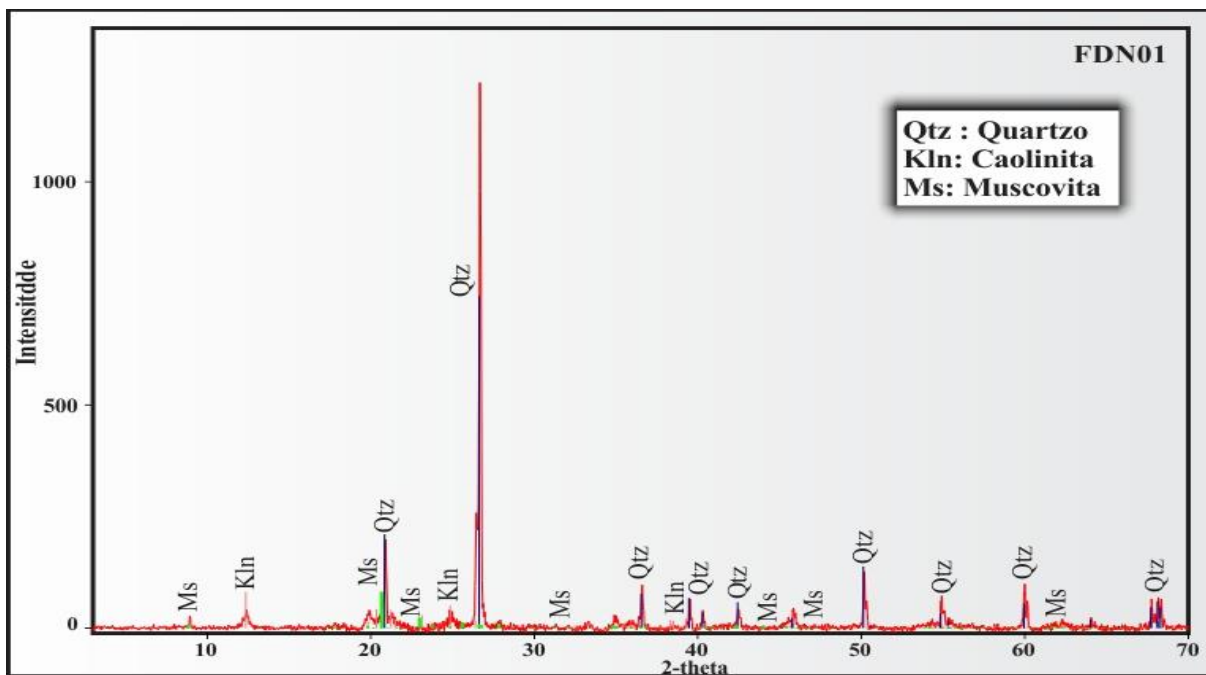
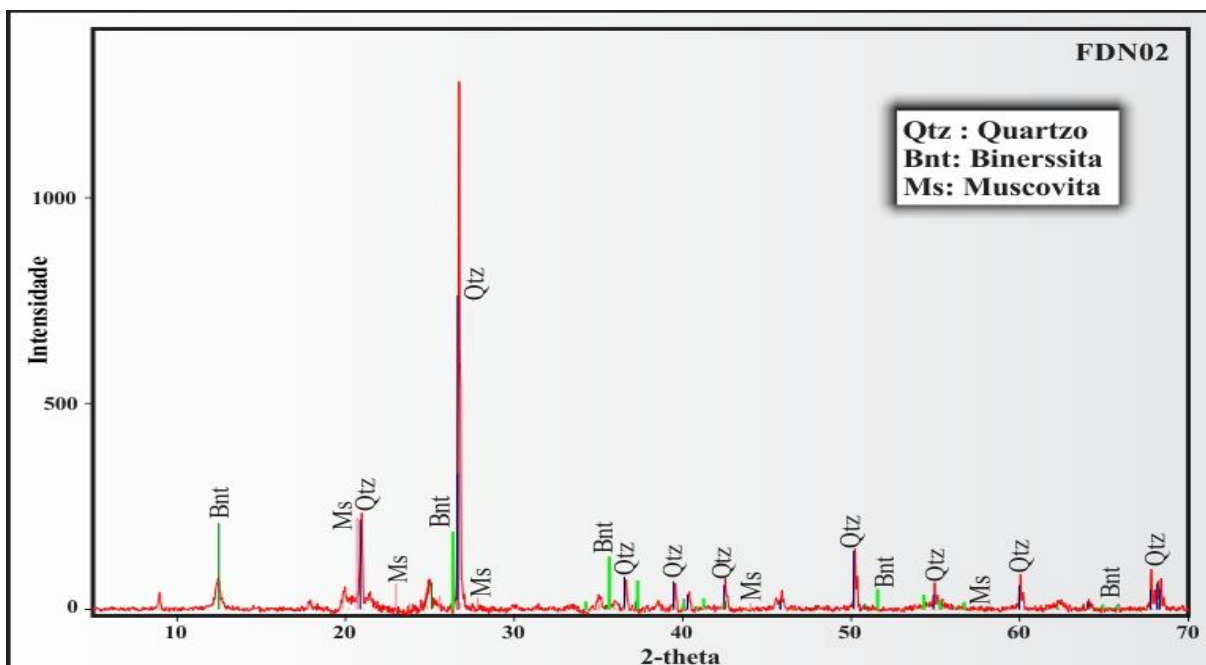


Figura 12: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-02 (Qtz – Quartzo; Bnt – Birnessita; Ms – Muscovita).



5.1.2 Saprólito avermelhado - 2,50 a 7,15m de profundidade

Trata-se de um saprólito de coloração vermelha, argiloso, não magnético com fragmentos de caulim. Neste intervalo foi coletada aos 3,95 m de profundidade uma amostra representativa, FDN-03, a partir de análise por DRX, foram identificados os seguintes minerais: quartzo, caulinita e pirocroíta.

Figura 13: Amostra FDN-03.

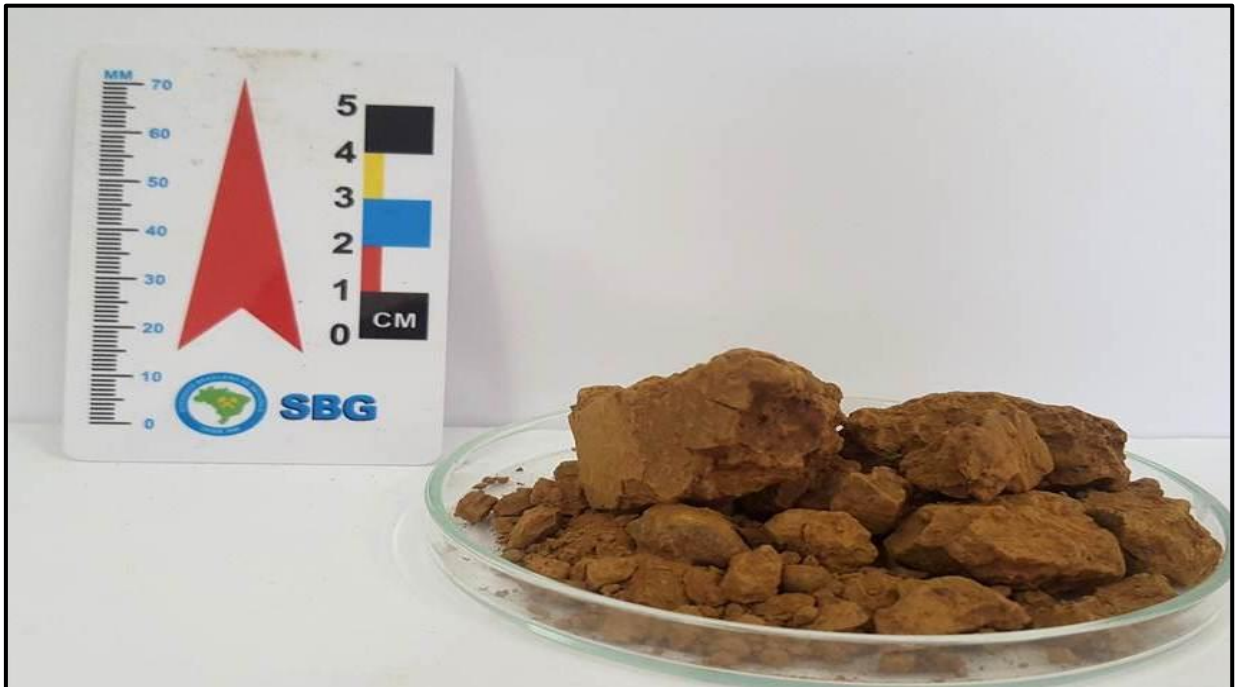
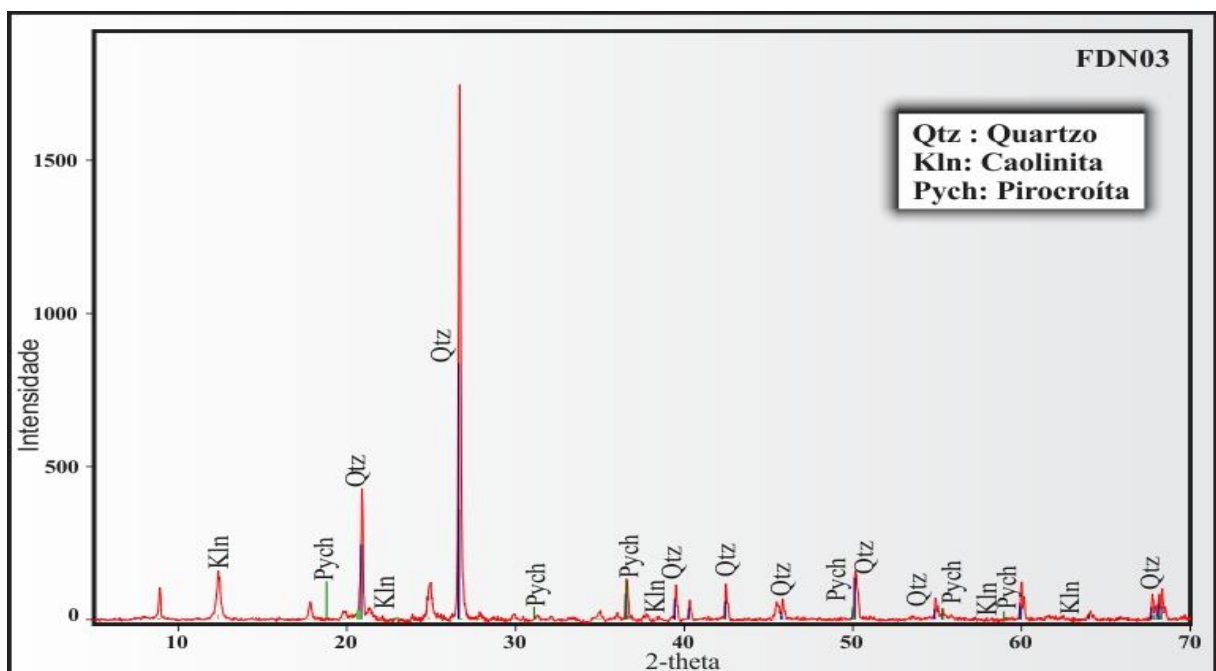


Figura 14: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-03 (Kln – Caulinita; Qtz – Quartzo; Pych – Pirocroíta).



5.1.3 Saprólito com fragmentos de Mn - 7,15 a 14,60m de profundidade

Neste intervalo foram coletadas duas amostras, FDN-04 e FDN-05 representativas das principais litologias. A FDN-05 (Figura 15), coletada a 13m, corresponde a uma amostra representativa deste intervalo, onde ocorrem fragmentos de minério maciço em forma de blocos, já a amostra 04 foi coletada a 7,90m se apresenta como um saprólito muito fino de coloração escura, não magnético com presença de fragmentos de Mn maciço (12,80 a 14,15m); reage fortemente a H_2O_2 (Figura 16). A mineralogia identificada a partir das análises em DRX na amostra FDN-04 foi quartzo e óxido de manganês e na amostra FDN-05 (minério em blocos) foi observado quartzo e pirolusita (Figura 17).

Figura 15: (A) Amostra FDN – 04 e (B) Amostra FDN - 05.

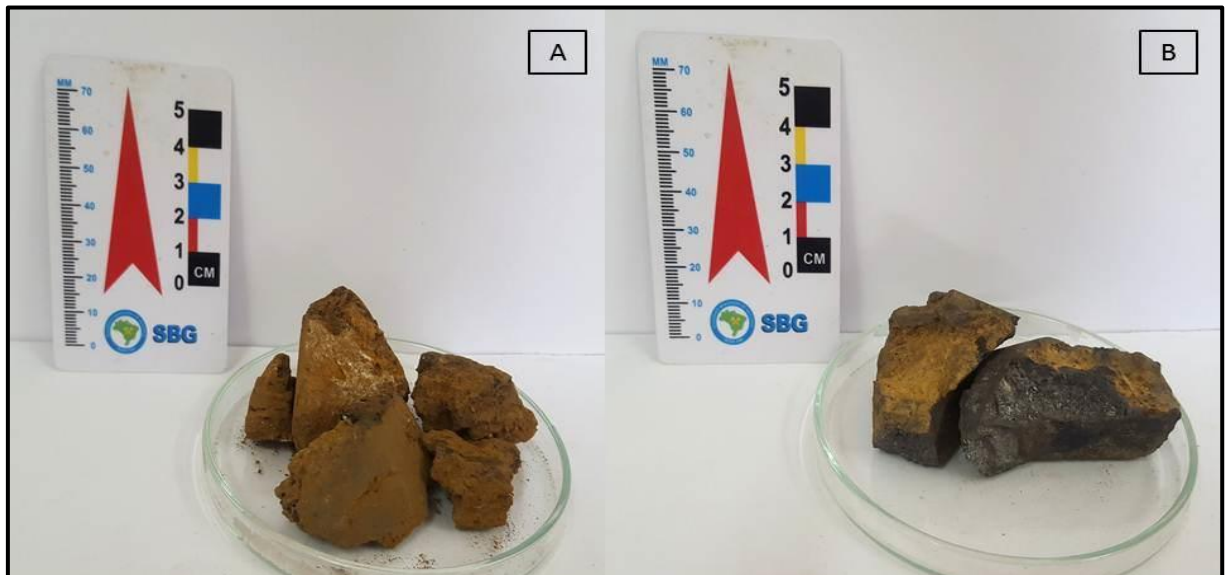


Figura 16: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-04 (Qtz- Quartzo; MnO_2 – Óxido de manganês).

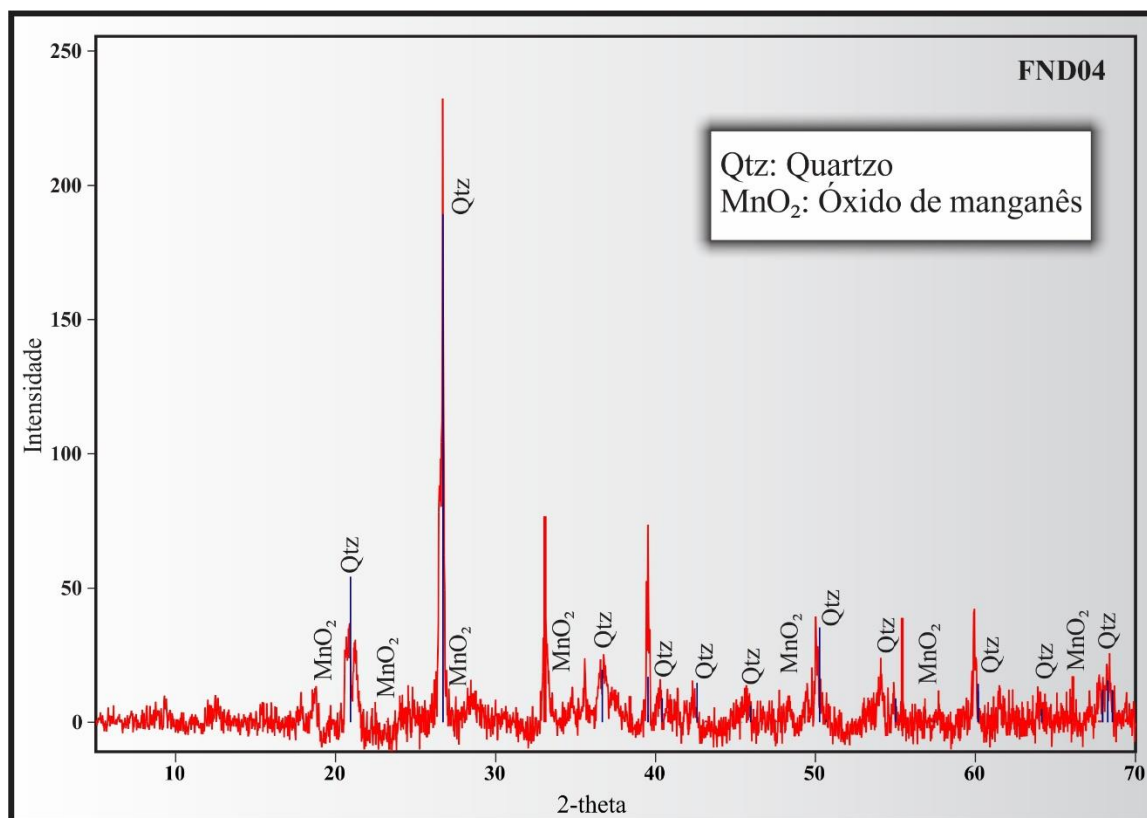
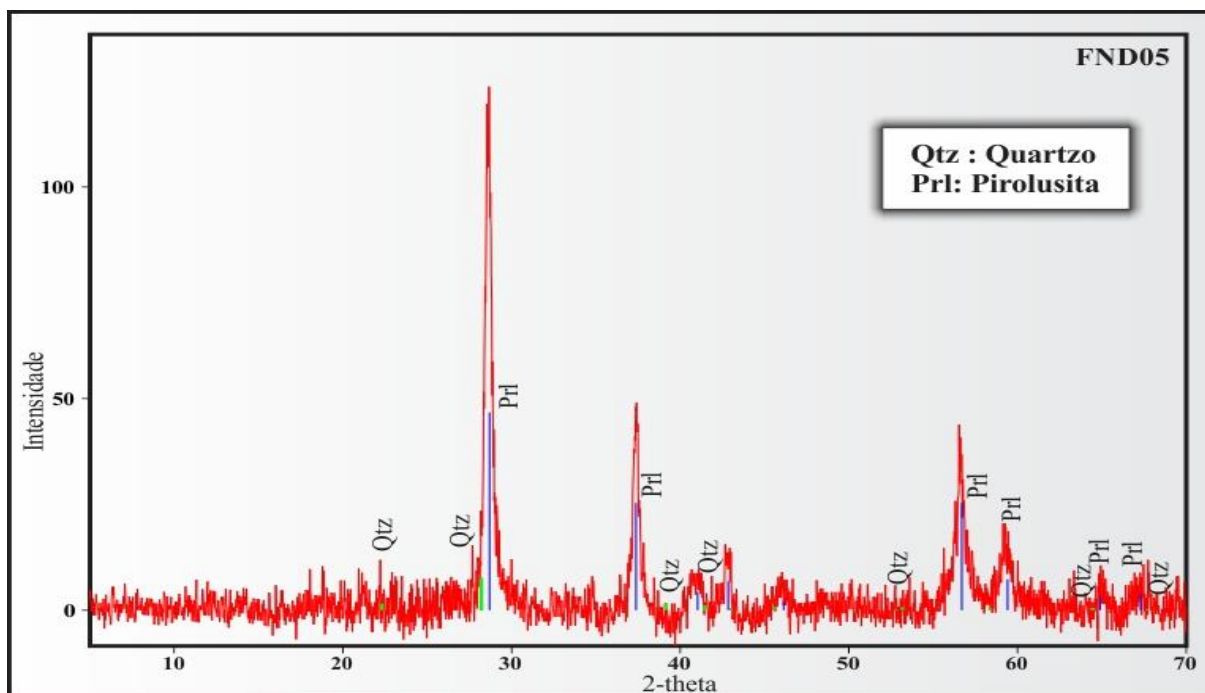


Figura 17: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-05 (Qtz – Quartzo; Prl – Pirolusita).



5.1.4 Clorita xisto (14,60m – 42,40m – 101,30m de profundidade)

Esta litologia é a mais abundante no furo de sondagem, a mesma está presente em vários níveis de profundidade, variando o estado de alteração e conseqüentemente a sua composição química. As amostras coletadas que se enquadram neste litotipo são FDN-06, FDN-09 e FDN-12 (Figura 18).

Na amostra FDN-06, coletada em 14,60m, foi observado uma rocha foliada, de coloração avermelhada, não magnética com fragmentos milimétricos de Mn maciço localizado; reage moderadamente a H_2O_2 . A mineralogia identificada foi quartzo, todorokita, manganita, pirocroíta e clorita (Figura 19).

Na amostra FDN-09, coletada a 42,40m, corresponde a intervalo de rocha de coloração variando de marrom avermelhado a amarelo ocre, com presença de blocos de Mn maciço variando de tamanhos milimétricos a centimétricos. A mineralogia identificada foi quartzo, ramsdellita, muscovita e clorita (Figura 20).

Na amostra FDN-12, coletada a 101,30m, a amostra mais profunda do testemunho, trata-se de um intervalo de rocha de coloração marrom esverdeada, argiloso, não magnético, reage fracamente a H_2O_2 . A mineralogia identificada neste intervalo foi quartzo, clorita e óxido de manganês.

Figura 18: (a) Amostra FDN - 06; (b) Amostra FDN – 09 e (c) Amostra FDN-12.

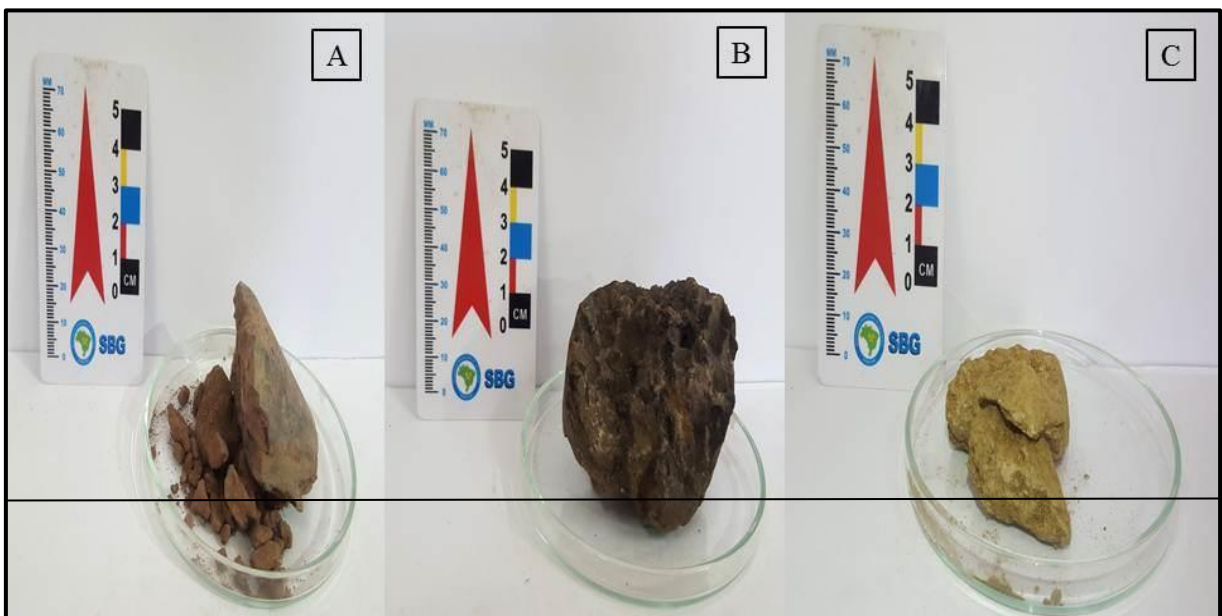


Figura 19: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-06 (Qtz – Quartzo; Chl – Clorita; Tk – Todorokita; Pych – Pirocroíta; Mnt – Manganita).

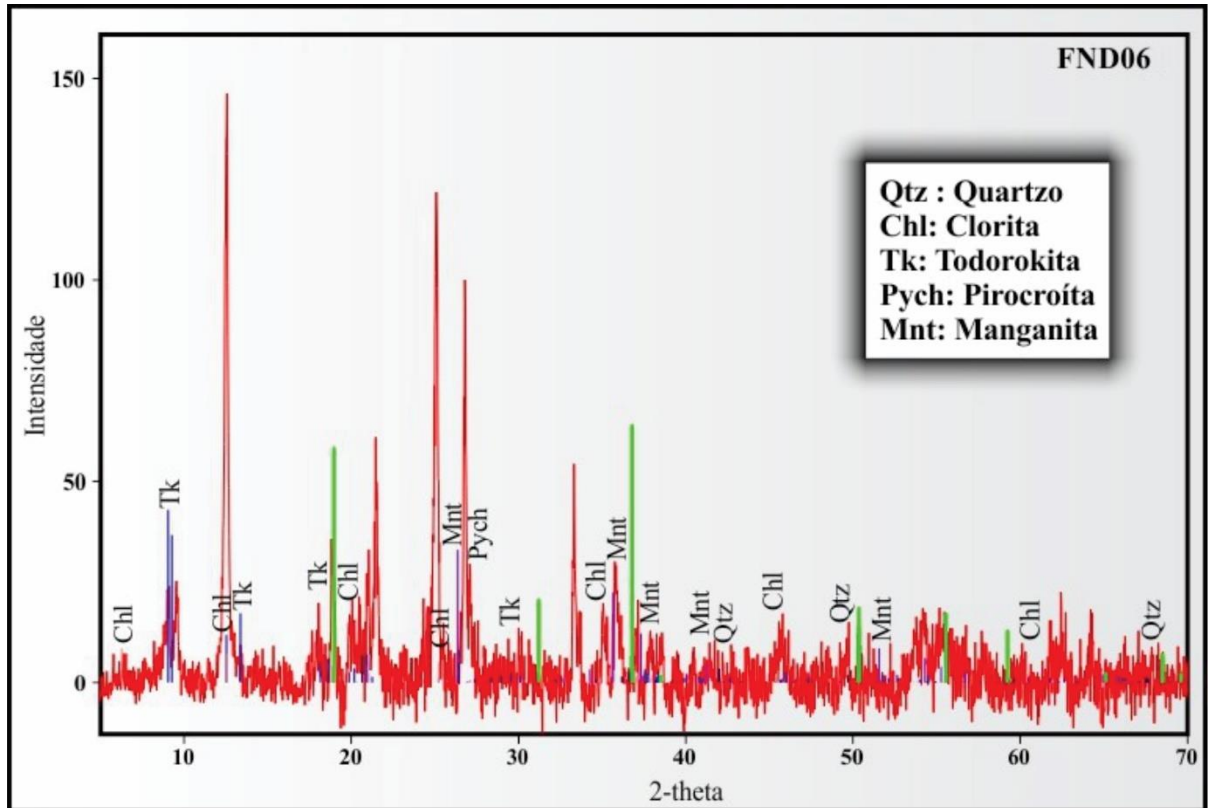


Figura 20: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-09 (Qtz – Quartzo; Ms – Muscovita; Rmt – Ramsdellita; Chl – Clorita).

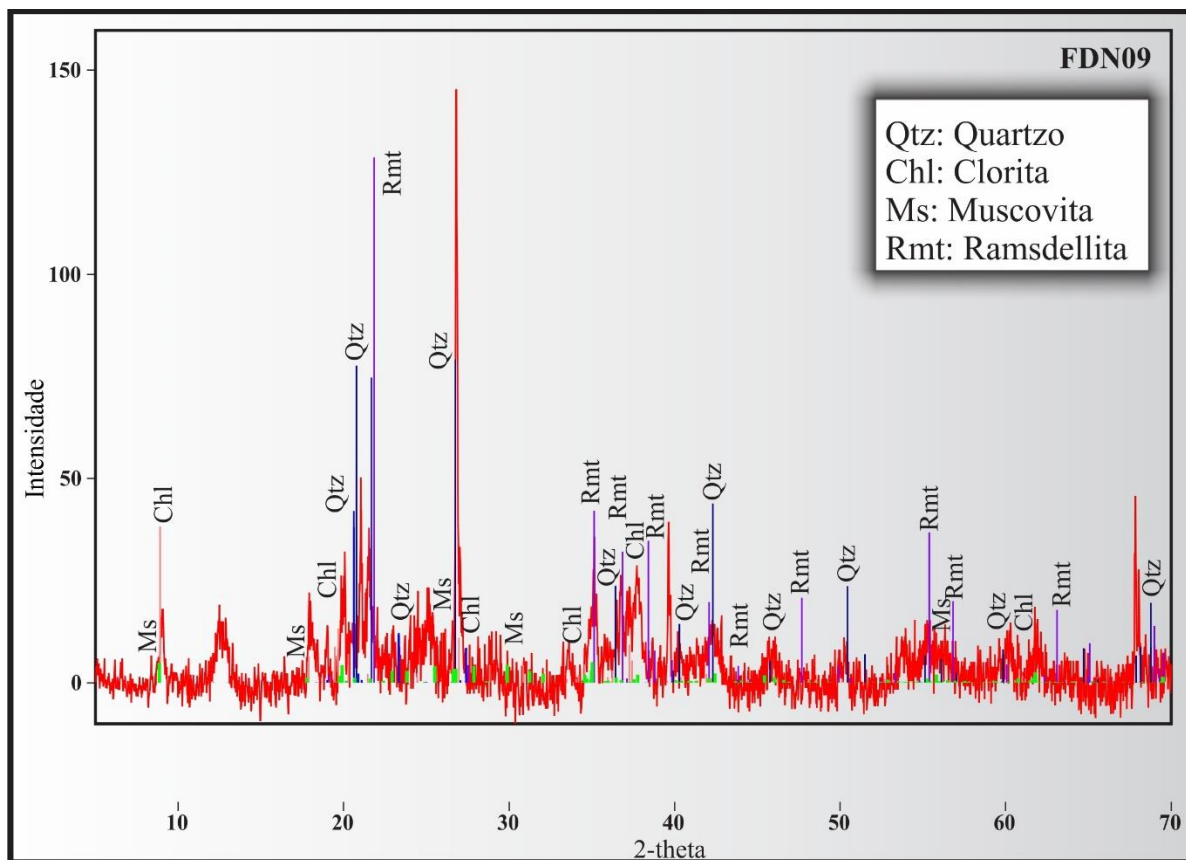
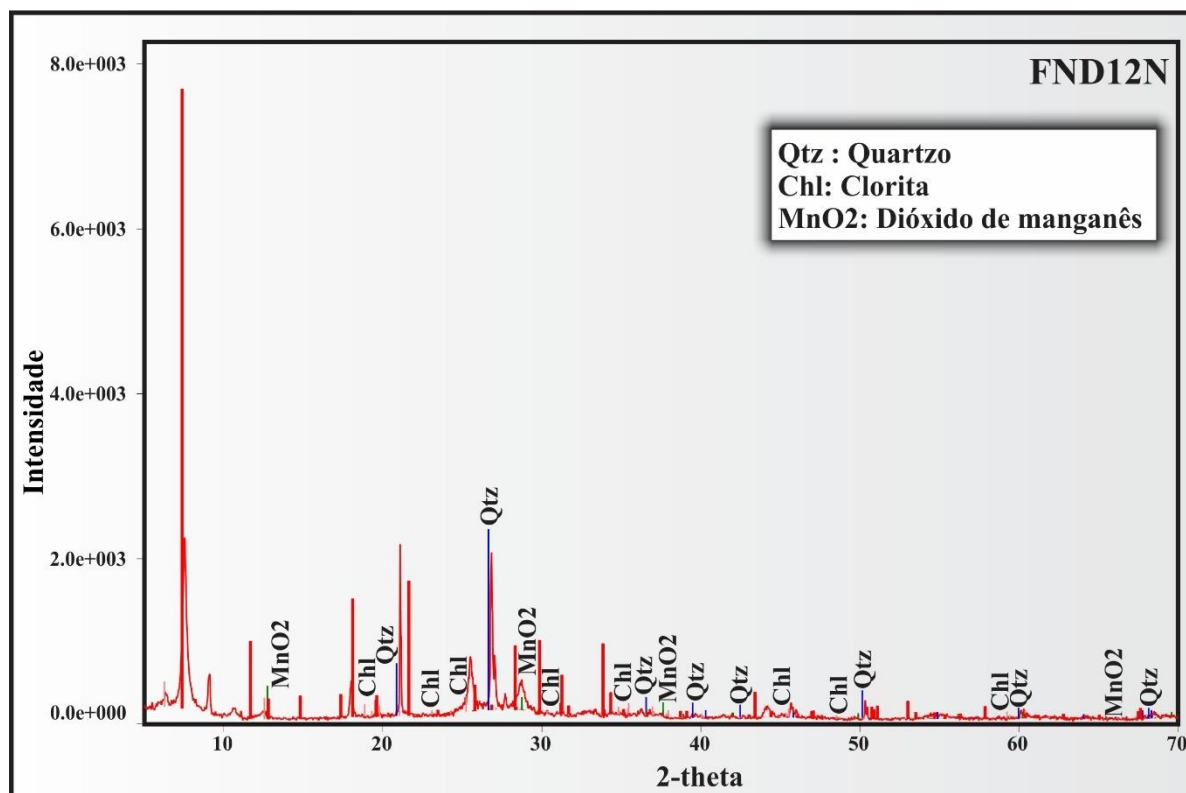


Figura 21: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-12 (Qtz – Quartzo; Chl – Clorita; MnO2 – Dióxido de manganês).



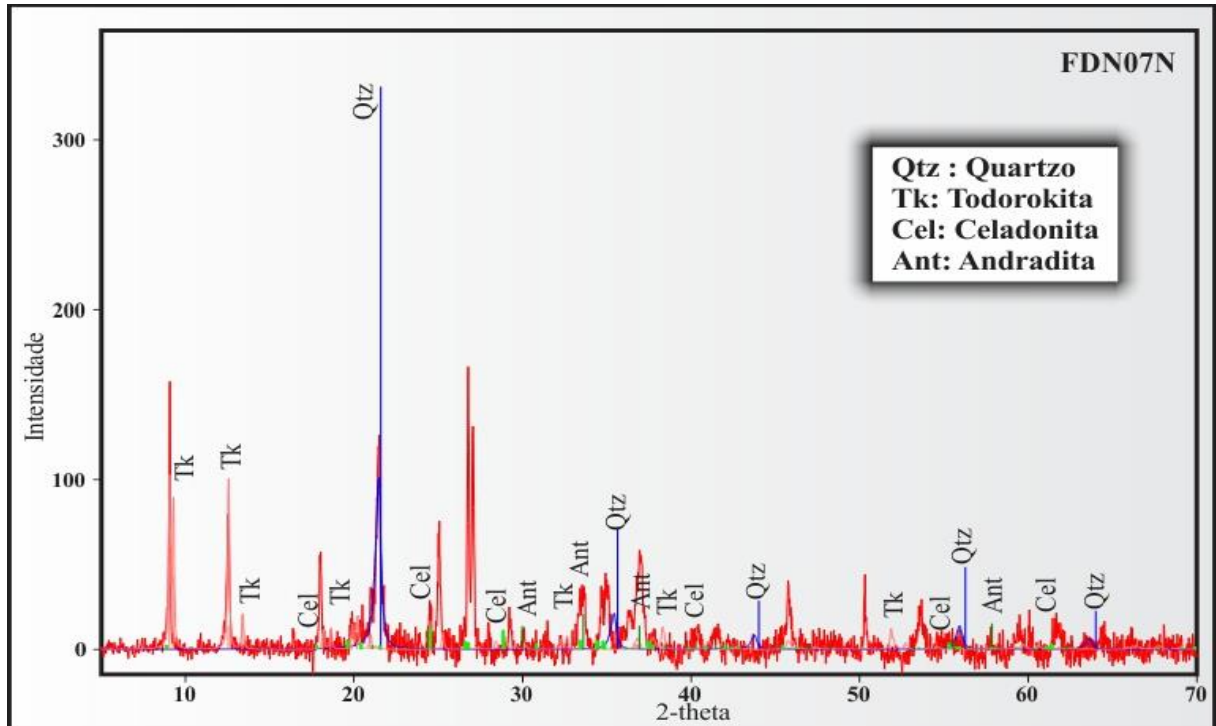
5.1.5 Sericita xisto (16,40 a 21,55m de profundidade).

Este litotipo é representado pela amostra FDN-07, coletada a 18,00m de profundidade, o intervalo correspondente a esta litologia varia de 16,40 a 21,55m, trata-se de uma rocha de coloração alaranjada, argilo-arenosa, não magnética, com fragmentos localizados de Mn maciço de tamanho milimétrico (Figura 22). A mineralogia identificada através do DRX foi quartzo, celadonita, todorokita e andradita (Figura 23).

Figura 22: Amostra FDN - 07.



Figura 23: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-07 (Qtz – Quartzo; Tk – Todorokita; Cel – Celadonita; Ant – Andradita).



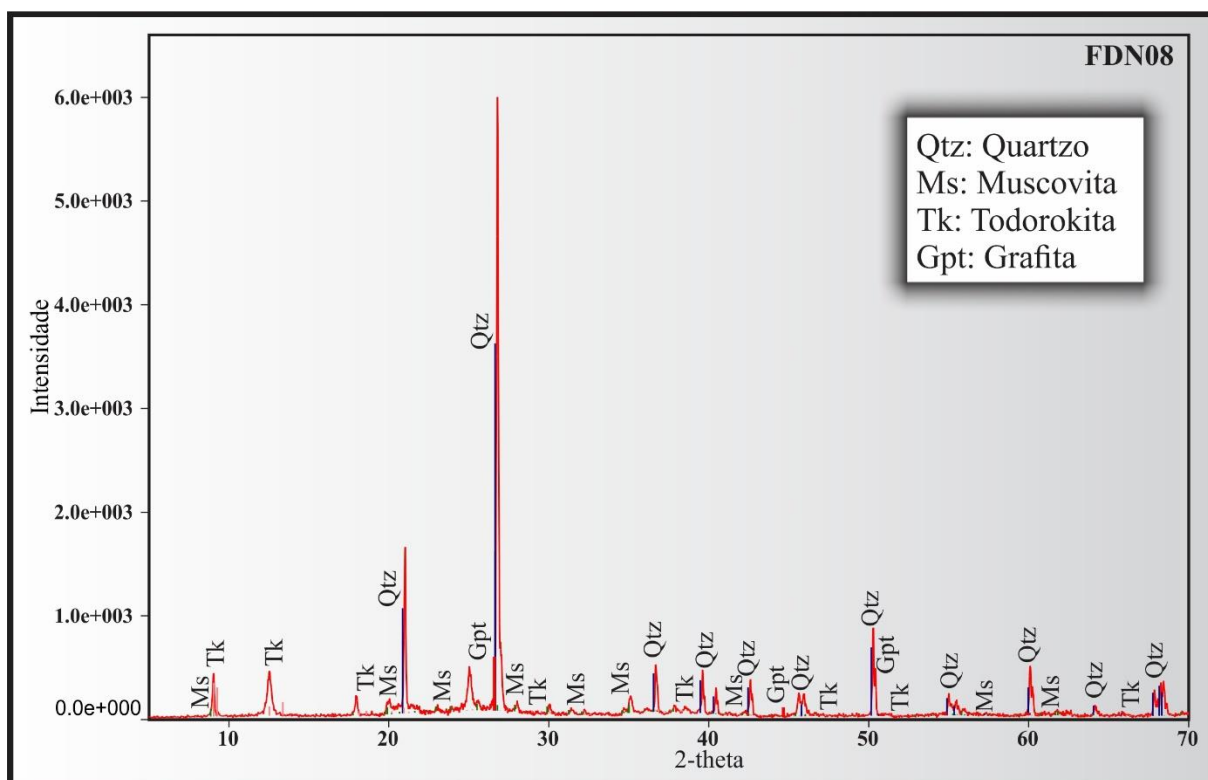
5.1.6 Xisto grafitoso (21,55 a 30,15m de profundidade)

A amostra FDN-08 representa esta litologia, foi coletada a 28,50m de profundidade. No testemunho este intervalo varia de 21,55 a 30,15m. Trata-se de rocha com coloração cinza clara, foliado, não magnético, localmente presença de micro fraturas preenchidas por veios e quartzo e material ferruginoso, reage fracamente a H_2O_2 , localmente presença de sericita (Figura 24). Possui porções inconsolidadas. A mineralogia identificada através de DRX foi quartzo, todorokita, grafita e muscovita (Figura 25).

Figura 24: Amostra FDN - 08.



Figura 25: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-08 (Qtz – Quartzo; Ms – Muscovita; Tk – Todorokita; Gpt – Grafita)



5.1.7 Quartzito intemperizado (63,20 a 91,75m de profundidade)

As amostras correspondentes a esta litologia são a FDN-10 e FDN-11, coletadas em 65,00m e 80,90m respectivamente. No testemunho, este intervalo varia de 63,20 a 91,75m. Trata-se de rocha foliada, intemperizada, apresentando coloração marrom clara; não magnética, com presença de Mn nos planos de foliação dando um aspecto bandado a rocha, as bandas escuras são de Mn e as claras são de quartzo (Figura 26a e Figura 26b). O Mn também se apresenta de forma disseminada; intervalo reage a H₂O₂. A mineralogia identificada através de DRX na amostra FDN-10 foi quartzo, hausmanita, siderofilita e muscovita (Figura 27). Na amostra FDN-11, a mineralogia observada através de DRX foi quartzo, hausmanita e muscovita (Figura 28).

Figura 26: (a) Amostra FDN – 10 e (b) Amostra FDN - 11.

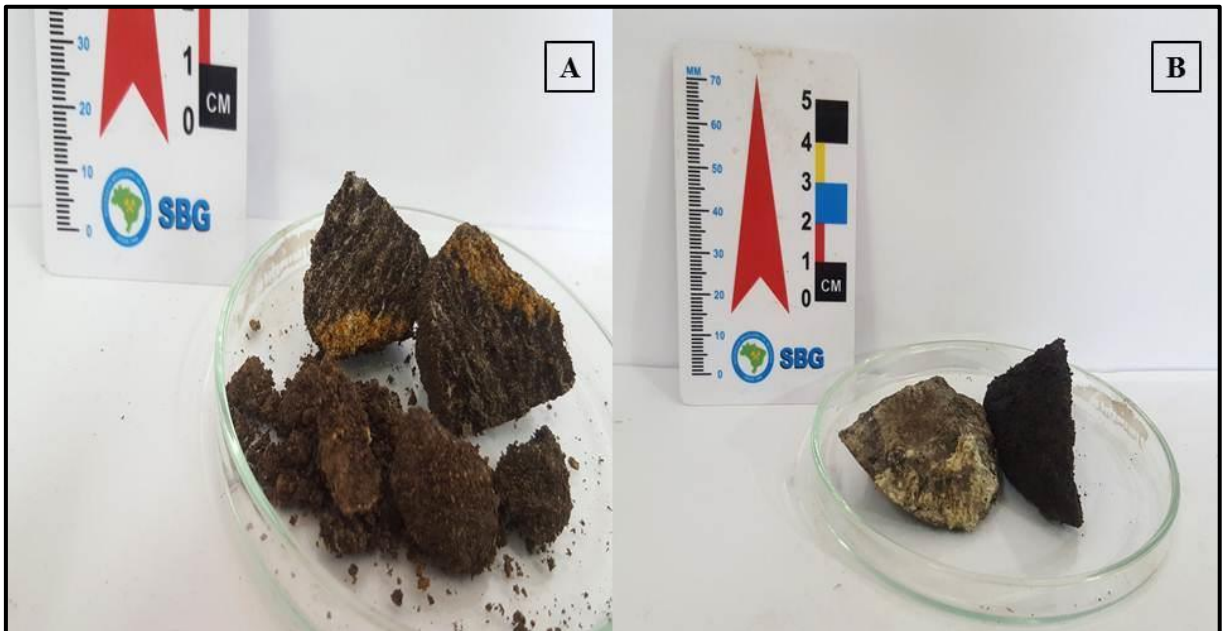


Figura 27: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-10 (Qtz – Quartzo; Ms - Muscovita; Sdf – Siderofilita; Hs – Hausmanita).

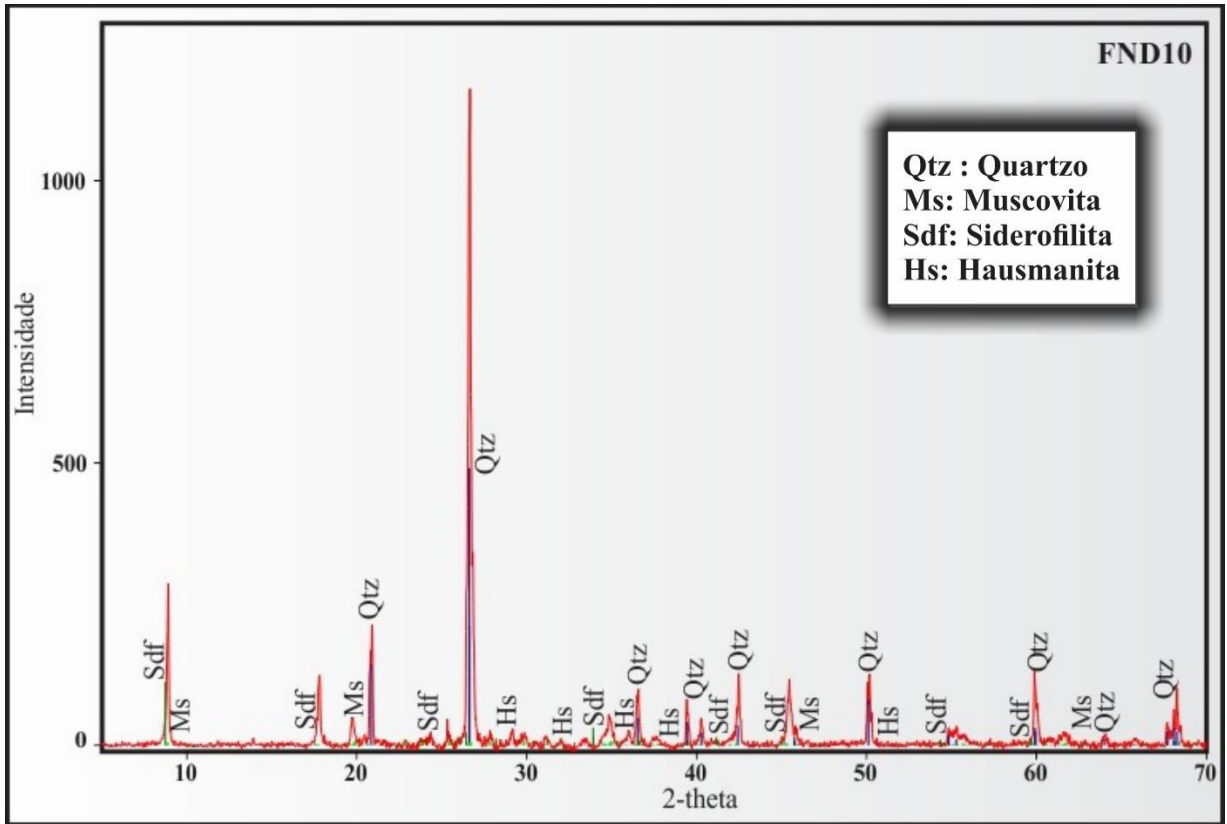
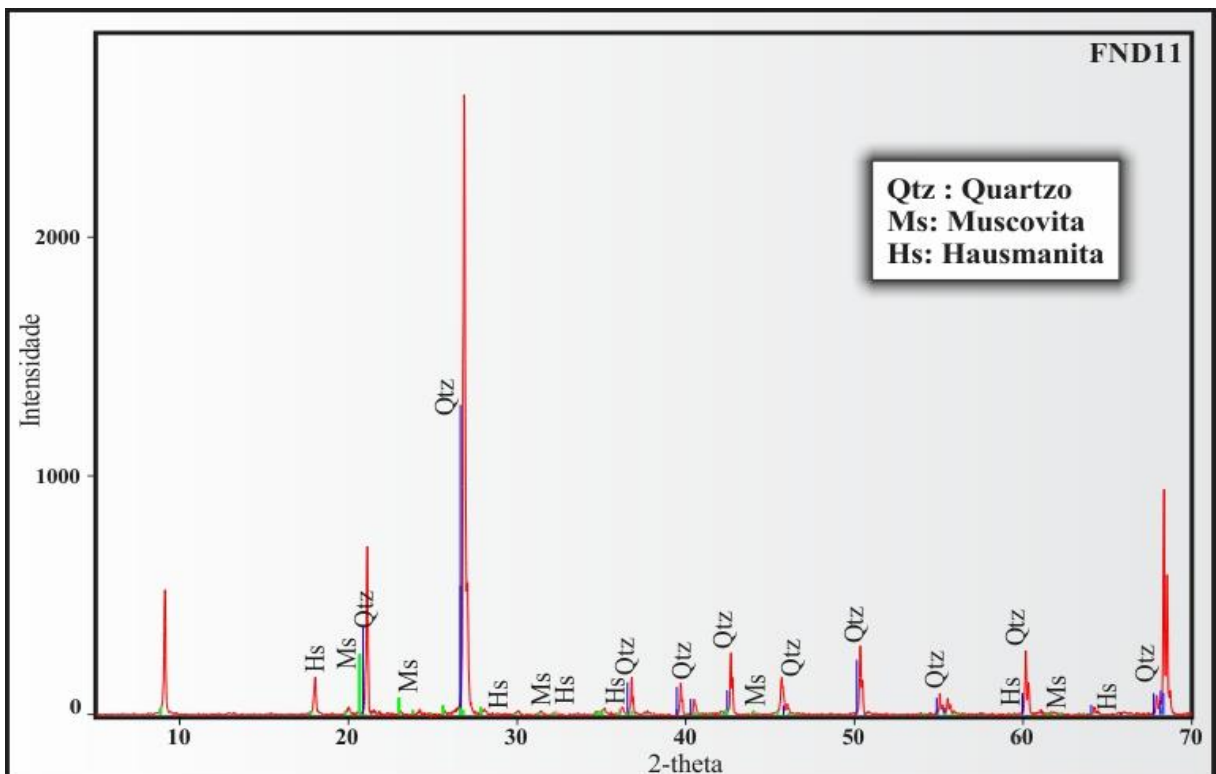


Figura 28: Resultado da análise em DRX correspondente a amostra FDN-11 (Qtz – Quartzo; Ms – Muscovita; Hs – Hausmanita).



A identificação dos minerais acima ocorreu por meio de análises em DRX para a classificação dos litotipos presentes no furo de sondagem.

O método de EDX fornece uma análise elementar (Figura 29), quantificando a porcentagem de cada elemento contido em cada amostra de rocha. Através deste método, foi possível identificar o teor do minério e os elementos contaminantes para uma classificação do minério no padrão de comercialização abordado no tópico 6.2.

Figura 29: Síntese do resultado elementar das amostras obtido através de análise em EDX.

FDN - 1701											
Amostra	Easy										
	Mn	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Ba
FDN-01	4,08	3,39	-	21,76	52,33	-	3,39	0,31	1,45	16,02	-
FDN-02	2,11	-	-	26,28	52,22	-	3,36	-	1,27	13,87	-
FDN-03	0,24	-	-	19,42	61,08	-	5,64	-	1,04	12,42	-
FDN-04	22,30	-	-	10,58	30,11	0,42	2,26	-	0,44	32,86	-
FDN-05	89,96	-	-	-	6,18	-	0,95	0,19	0,14	1,66	-
FDN-06	7,14	-	-	25,49	31,59	-	3,57	0,13	0,76	30,84	-
FDN-07	2,47	-	-	19,40	23,03	0,84	4,92	-	1,12	46,89	-
FDN-08	0,06	-	-	21,65	65,25	-	6,40	-	1,15	4,81	-
FDN-09	60,19	-	-	7,22	11,13	-	2,01	0,45	0,19	17,83	-
FDN-10	1,01	-	-	25,04	50,05	-	13,79	-	1,00	8,66	-
FDN-11	8,84	-	-	16,38	57,70	-	9,73	0,27	0,41	5,52	0,68
FDN-12	0,08	-	-	19,08	41,65	-	10,92	1,54	2,88	23,34	-

6 DISCUSSÃO

6.1 Caracterização Mineralógica e Litológica

O elemento manganês possui número atômico 25 e peso atômico de 54,9380 g, sendo o décimo elemento mais abundante na crosta terrestre (0,09%). De acordo com Roy (1981) e Maynard (2010) *apud* Borges (2012), esse elemento ocorre em um único isótopo e nas valências positivas 2, 3, 4, 6 e 7. Do ponto de vista geoquímico, é considerado como elemento litófilo (Mason, 1974), sendo um metal refratário e facilmente oxidável (Roy, 1981). Na tabela periódica é classificado como elemento de transição. O manganês não é encontrado em seu estado elementar, ocorrendo assim em forma de compostos, principalmente óxidos, carbonatos, silicatos, e, subordinadamente, sulfetos. Na figura a seguir estão alguns minerais de manganês.

Figura 30: Minerais de manganês.

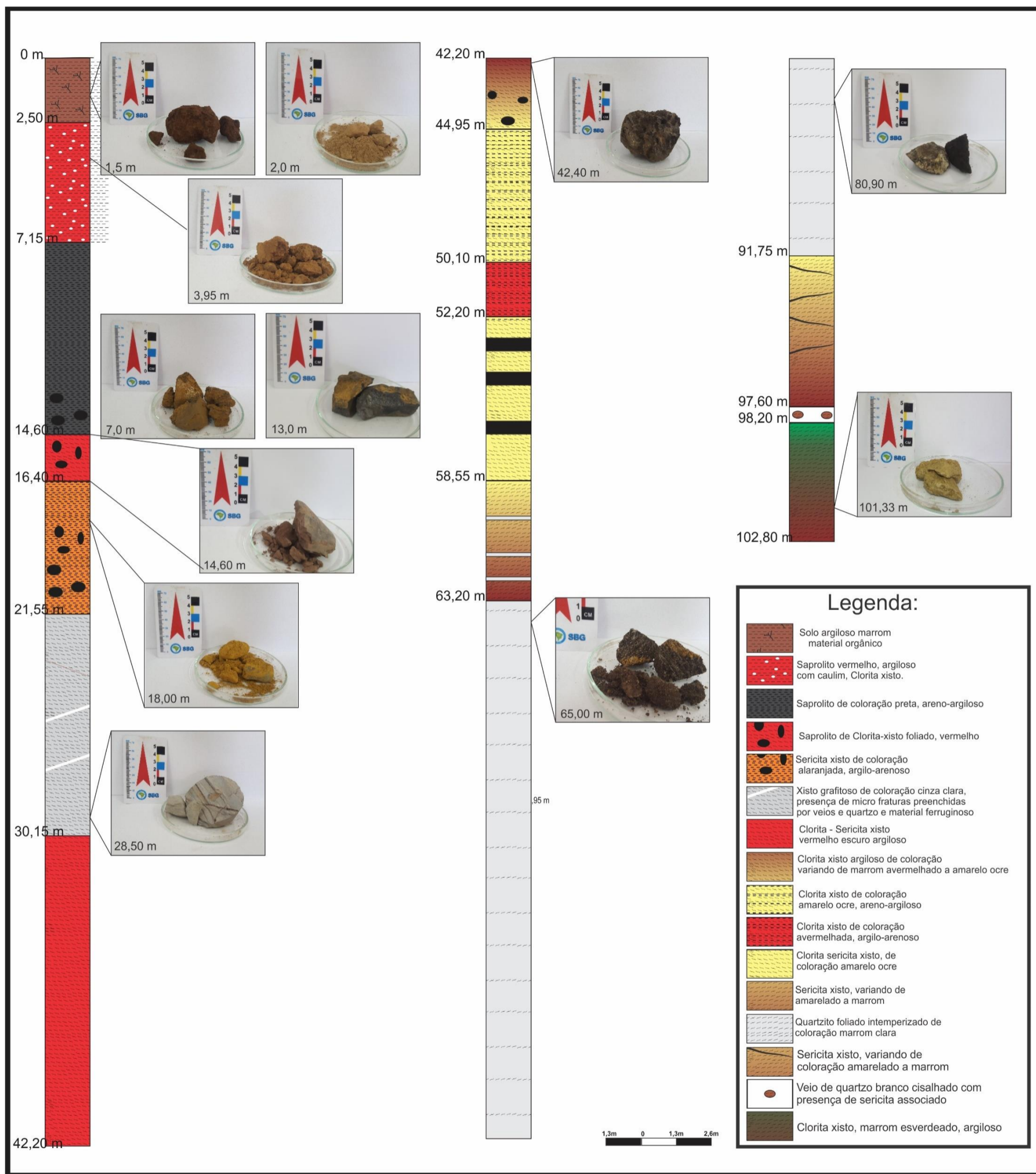


Os resultados obtidos a partir das análises macroscópicas complementadas por difração de raios X e espectrometria de raios X permitiram propor algumas considerações sobre o depósito de Manganês da Serra do Sereno.

Desta forma, a partir dos métodos de estudo realizados no presente trabalho, foi possível caracterizar os constituintes mineralógicos das amostras, viabilizando individualizar sete litotipos distintos: (1) perfil de solo, formado por quartzo, muscovita, caulinita, manganita e birnessita; (2) saprólito avermelhado, formado por quartzo, muscovita, caulinita e pirocroíta; (3) saprólito com fragmentos de Mn, formado por quartzo, pirolusita e MnO_2 ; (4) sericita xisto, formado por quartzo, andradita, celadonita e todorokita; (5) clorita xisto formado por quartzo, clorita, muscovita, ramsdellita, manganita e pirocroíta; (6) xisto grafitoso, formado por quartzo, muscovita, grafita e todorokita; e (7) quartzito intemperizado, formado por quartzo, muscovita, siderofilita e hausmanita.

Confirmadas as unidades geológicas presentes no furo foi possível gerar um perfil geológico (figura 30) em que é apresentado como cada litotipo está disposto e a profundidade em que ocorrem.

Figura 31: Amostras coletadas a partir do furo FDN 17-01, com as respectivas fotos das amostras de acordo com a profundidade.



6.2 Potencial Econômico do Minério

De acordo com a CETEM (2008), a maioria do minério de manganês lavrado é de origem sedimentar. Como esses minérios passam por processo de intemperismo, os mesmos se concentram em zonas lateríticas, as frações resistentes dos minérios ocorrem, com frequência, em nódulos e cascalhos de superfície intercalados com argila. Para ser considerado minério, ou seja, atribuir valor comercial ao mineral, o mesmo deve obedecer a parâmetros exigidos pela empresa compradora, parâmetros estes que podem variar dependendo na forma que o minério será empregado, por exemplo, quando é utilizado na metalurgia, o minério a ser comercializado deve possuir entre 38 e 55% de Mn. Aqueles com 48% de Mn são considerados como padrão pela indústria, outro aspecto levado em consideração, é a razão Mn/Fe, de preferência em torno de 7,5/1, dentre outras especificações. Hoje, as aplicações dos produtos de manganês exigem um teor mais elevado do metal e uma quantidade cada vez menor de impurezas. Tais exigências resultaram na prática de beneficiamento mais rigorosos dos minérios.

O uso do minério de manganês é feito na forma de minério natural com adição no alto forno de gusa e como adição nos fornos para a produção de ferro-ligas a base de manganês. As ferro-ligas posteriormente são consumidas na indústria siderúrgica em praticamente todos os tipos de aço e fundidos de ferro, devido a sua propriedade de dessulfurização (retirada do enxofre). Na indústria não-metalúrgica, o manganês é utilizado para fabricação de fertilizantes, pilhas eletrolíticas, cerâmicas, tintas, vernizes, reagentes químicos, existe também outro mercado pouco conhecido deste minério que é o de algumas vitaminas, pois o manganês é essencial para todas as formas de vida, inclusive o ser humano, que precisa consumir de 1 a 5 mg por dia deste minério que é absorvido no intestino delgado, acabando na maior parte no fígado, de onde se dirige para as diferentes partes do organismo. Entretanto, o manganês em excesso é tóxico, exposições prolongadas aos compostos de manganês, de forma inalada ou oral, podem causar efeitos adversos no sistema nervoso, respiratório e em diferentes partes do organismo, a máxima concentração admissível em ambientes (mesmo por curtos períodos de exposição) está na faixa de 5mg/m³.

Para atender os critérios de comercialização acima citados, a empresa RMB Manganês teve que fazer adequações quanto ao produto a ser ofertado e assim chegar aos teores especificados de um de seus compradores (figura 32).

Figura 32: Especificações do mercado para o minério de manganês fornecido pela empresa RMB Manganês.

Elemento	Garantido
Mn	40% Min.
Fe	10% Máx.
Si	16% Máx.
Al	8% Máx.

Desta forma, de acordo com as análises em EDX (figura 29) realizada nas (12 amostras analisadas neste trabalho), somente a amostra FDN - 05 apresenta teores que se enquadram igual ou acima do teor de corte para jazimentos de manganês requeridos pela empresa em síntese na figura 32.

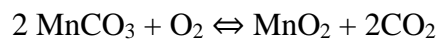
Figura 33: Identificação da amostra que se enquadra nos parâmetros para a comercialização do minério.

FDN - 1701											
Amostra	Easy										
	Mn	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Ba
FDN-01	4,08	3,39	-	21,76	52,33	-	3,39	0,31	1,45	16,02	-
FDN-02	2,11	-	-	26,28	52,22	-	3,36	-	1,27	13,87	-
FDN-03	0,24	-	-	19,42	61,08	-	5,64	-	1,04	12,42	-
FDN-04	22,30	-	-	10,58	30,11	0,42	2,26	-	0,44	32,86	-
FDN-05	89,96	-	-	-	6,18	-	0,95	0,19	0,14	1,66	-
FDN-06	7,14	-	-	25,49	31,59	-	3,57	0,13	0,76	30,84	-
FDN-07	2,47	-	-	19,40	23,03	0,84	4,92	-	1,12	46,89	-
FDN-08	0,06	-	-	21,65	65,25	-	6,40	-	1,15	4,81	-
FDN-09	60,19	-	-	7,22	11,13	-	2,01	0,45	0,19	17,83	-
FDN-10	1,01	-	-	25,04	50,05	-	13,79	-	1,00	8,66	-
FDN-11	8,84	-	-	16,38	57,70	-	9,73	0,27	0,41	5,52	0,68
FDN-12	0,08	-	-	19,08	41,65	-	10,92	1,54	2,88	23,34	-

6.3 Evolução e modelo de formação do depósito

Ao longo do registro geológico da Terra os depósitos de manganês são geneticamente associados à atividade hidrotermal, aos processos de intemperismo continental e sedimentares (Roy 1992, 1997, 2006; Varentsov, 1996; Robb, 2007; Pinho, 2009; Maynard, 2010). Estes processos estão intimamente relacionados com a disponibilidade de oxigênio do planeta. De acordo com (Kasting, 1978 citado por Borges 2012), somente no início do Paleoproterozóico foi que houve grande disponibilidade de oxigênio na Terra favorecendo a deposição do manganês na forma de compostos.

O depósito da Serra do Sereno apresenta poucos trabalhos feitos na área. Em grande maioria, na literatura, o mesmo é correlacionado com o depósito do Buritirama, porém, uma das fontes de manganês na Serra do Buritirama é a rodocrosita, um carbonato de manganês, já no furo FDN 17-01 não foi identificado carbonato. A ausência de rodocrosita sugere um ambiente bastante oxigenado e, encontra-se descrito pela reação sugerida por Krauskopf (1995): rodocrosita + O₂ libera pirolusita + CO₂, gerando um equilíbrio com a grafita, por isso, neste furo foi constatado somente o xisto grafitoso.



A ocorrência de manganês tem início a partir de dois metros de profundidade, ou seja, a partir da amostra FDN-02, estando presente por todo o perfil variando em no teor de manganês contido em cada amostra.

De acordo com Krauskopf (1995), a hausmanita é um mineral primário de manganês, se cristaliza em temperaturas mais elevadas, sendo assim, um dos primeiros minerais de manganês a se formar. No furo em questão, este mineral ocorre em maior quantidade nas zonas mais profundas do perfil, nas amostras FDN-11 e FDN-10, com 80,90 e 65,00 metros respectivamente, sugerindo assim como sendo umas das fontes para o enriquecimento deste elemento, visto que não foi observado, através das análises, outros tipos de minerais primários portadores de manganês, como tefroíta, espessartita, etc. Secundariamente observamos a pirolusita e ramsdelita (polimorfo da pirolusita), que ocorrem numa fase onde a percolação de água não teve tanta relevância para a formação dos minerais de manganês.

Em contraponto, a partir da amostra FDN-08 até a parte mais superficial do testemunho, nota-se que houve intenso processo de alteração envolvendo água no sistema, onde os minerais de manganês apresentam-se na forma de hidróxido, como a todorokita, manganita, birnessita e pirocroíta. Segundo Mason (1971) e Robb (2007) a solubilidade dos elementos na água depende

de uma variedade de fatores, tais como: condições físico-químicas do meio, morfologia do terreno, fatores climáticos, padrão geológico-estrutural, além da disponibilidade de matéria orgânica.

De acordo com Mason (1971), íons em solução atraem moléculas de água, sendo que o grau de hidratação desse íon é função do seu raio e da sua carga iônica. O potencial iônico de um íon é a razão entre sua carga e seu raio iônico, sendo este um fator que determina a mobilidade dos elementos no meio aquoso, ou seja, o manganês devido ao seu potencial iônico tende a ser insolúvel, se ligando a água para a formação de óxidos e hidróxidos estáveis no meio exógeno.

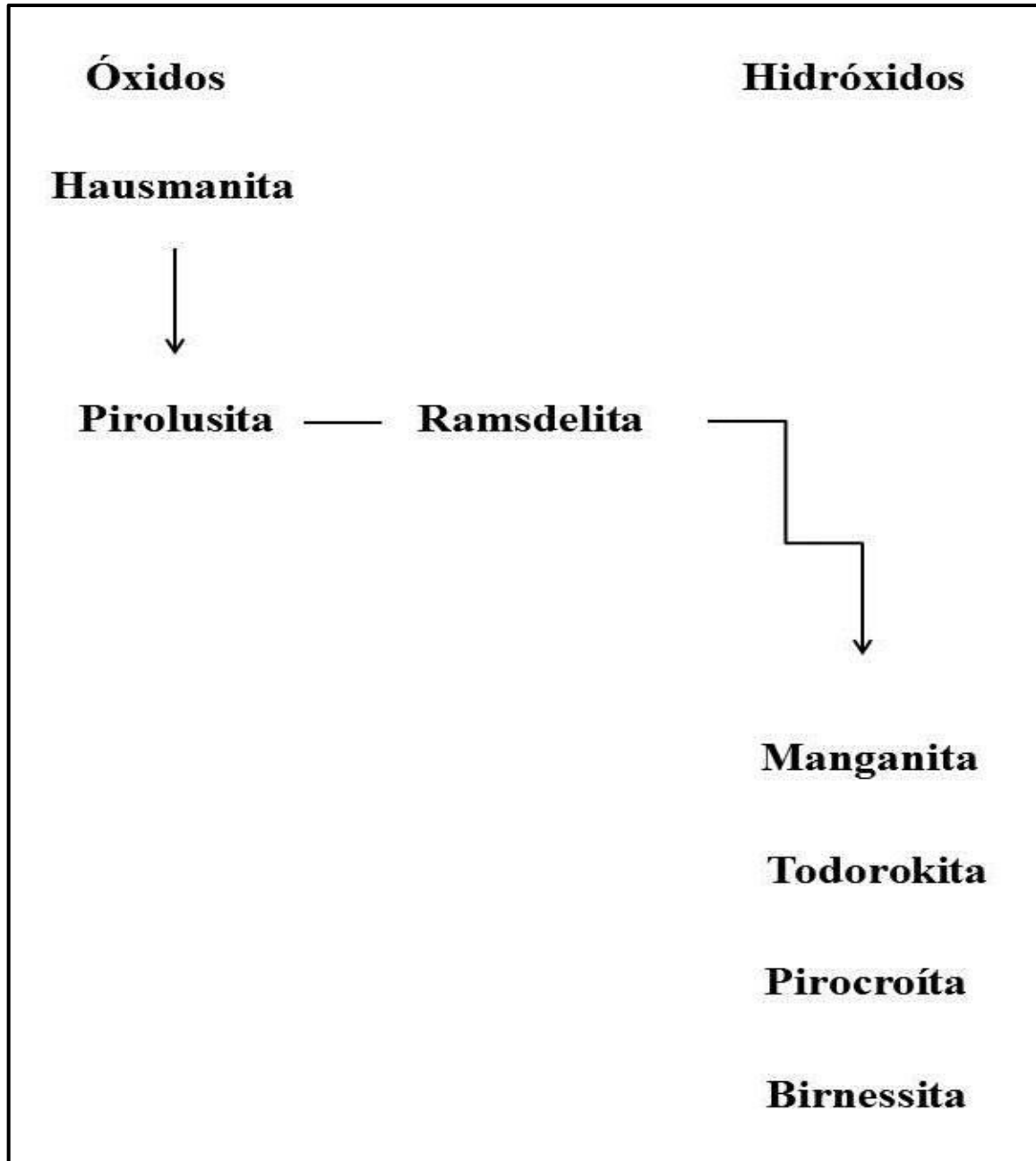
Os principais fatores que afetam a composição dos minerais de Mn são o pH e Eh. Em um ambiente oxigenado, por exemplo, óxidos de manganês são comumente formados, incluindo oxihidróxidos e filomanganatos.

A todorokita aparece como mineral secundário ou neoformado, ou seja, formada a partir da transformação de outros minerais de manganês por processos de intemperismo e/ou alteração hidrotermal.

Conforme citado por B. A. M. Figueira *et al.*, 2016, a birnessita é considerada um filomanganato e é liberado de minerais como biotita, piroxênio, anfibólios, hausmanita, dentre outros. Confirmando a origem dos depósitos de manganês de Serra do Sereno, que são pertencentes ao Grupo Rio Novo formado por rochas metavulcano-sedimentares, composto por rochas máficas a ultramáficas. Manganita e pirocroíta também ocorrem como produto da interação com água.

Com base na mineralogia identificada e nos dados apresentados acima, foi proposto uma sequência de formação dos minerais de manganês no ambiente supergênico (figura 34).

Figura 34: Sequência de formação dos minerais de manganês em ambiente supergênico mostrando a hausmanita como mineral primário portador de manganês para a formação da associação da assembleia mineral secundária.



Outros minerais que confirmam o processo de hidratação das rochas são clorita e sericita, produto da alteração de biotitas, plagioclásios e anfibólios e outros filossilicatos que compunham os protólitos da mineralização.

Na amostra FDN-07 foi identificada a andradita, mineral do grupo da granada rico em Fe, a análise de DRX é confirmada pela análise elementar em EDX, onde é o horizonte com maior concentração de ferro no perfil, com teor de 46,89%.

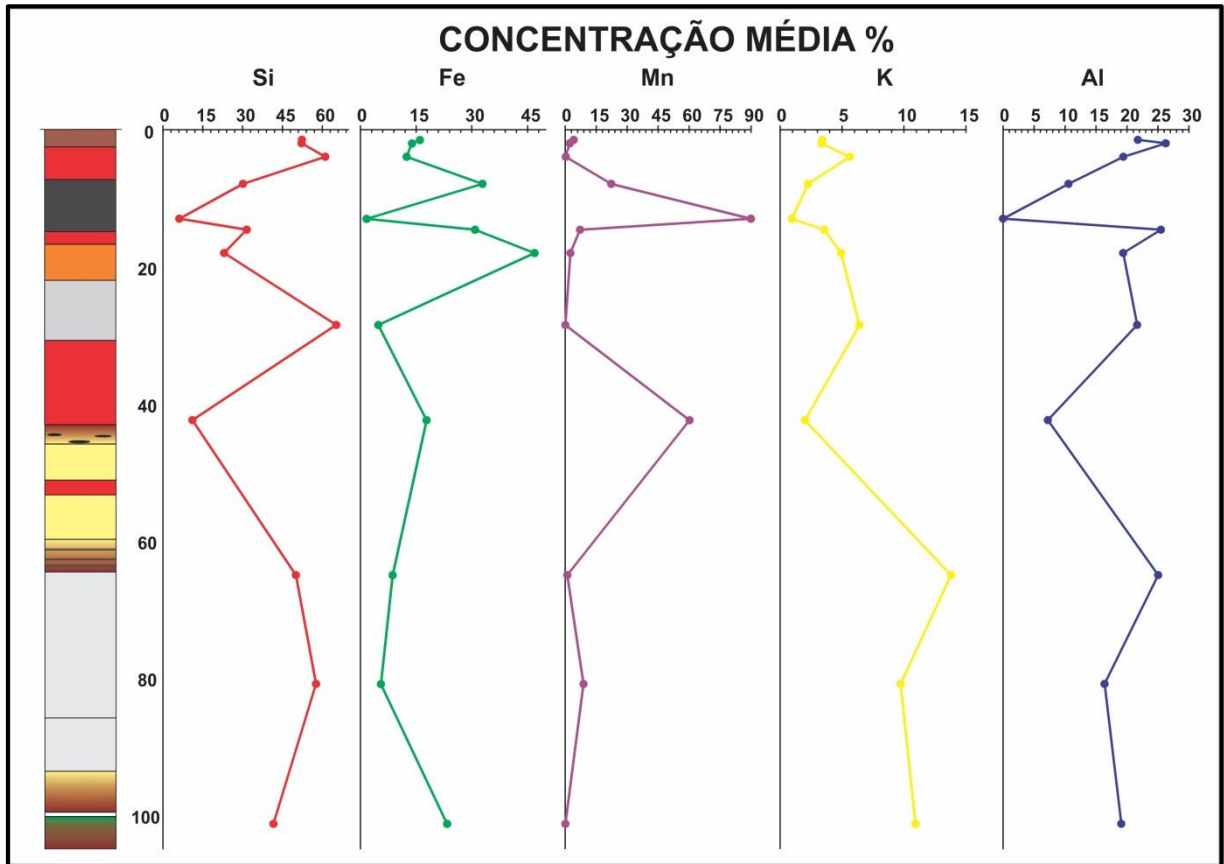
As rochas caracterizadas neste trabalho sofreram metamorfismo e/ou hidrotermalismo, e atualmente os produtos do processo supergênico representam os hospedeiros da maior parte do minério de manganês (Varentsov, 1996; Roy, 2006). O modelo de mineralização supergênica é baseado, principalmente, nos parâmetros ligados à questão da maturação de um perfil de intemperismo (Delvigne, 1981; Freyssinet 2005; Costa, 2010; Vasconcelos, 2010), que são controlados por fatores climáticos, da ação dos agentes tectônicos, bem como de aspectos geomorfológicos e da rocha hospedeira. A atuação desses agentes, em conjunto, pode levar à concentração do manganês a partir de rochas com baixo teor nesse elemento, como por exemplo, folhelhos, xistos, calcissilicáticas, gonditos, granulitos, queluzitos e carbonatos.

Para os depósitos do Sereno é possível inferir esta classificação de hidrotermalismo, a partir da presença de minerais secundários. Processos intempéricos posteriores à formação do depósito ocasionaram a intensa destruição de estruturas primárias de rochas do perfil em toda sua extensão, inclusive os quartzitos, que são considerados rochas mais resistentes ao intemperismo, no entanto, estão intemperizadas.

Um exemplo da ação dos processos intempéricos para a concentração de manganês foi observado através de análise química realizada neste trabalho, onde o maior teor de manganês ocorre em zonas mais rasa, como visto na amostra FDN-05 com treze metros de profundidade, com a presença do minério formando blocos.

O manganês, como já citado, possui comportamento geoquímico que propicia sua concentração em ambientes superficiais, Em resumo, como descrito por Borges (2012), através do potencial iônico pode-se sugerir, que elementos como Mn, Cu, Ni, Al e Fe tendem a formar concentrações residuais quando sujeitos às condições superficiais com disponibilidade razoável de água. Os valores médios das concentrações dos elementos ao longo de todo perfil descrito neste trabalho, corroboram com um caráter supergênico para a origem do minério, tendo em vista o aumento na concentração de manganês e ferro em níveis mais rasos, e em todo perfil, o alumínio varia em porcentagem ao longo do furo FDN 17-01, porém sempre é presente. É possível identificar também que quando o manganês apresenta seus maiores picos (FDN-05 e FDN-09), ferro e sílcio possuem valores baixos. (Figura 35).

Figura 35: Distribuição dos principais elementos químicos no perfil.



Informações diretas a respeito da composição dos fluidos mineralizantes, petrografia, dentre outros métodos, ainda são necessárias para a determinação da origem dos mesmos e para a definição de um modelo genético apropriado, porém, a seguir, foi proposto um modelo de evolução para os minerais de manganês e com base nos depósitos mais próximos da região, também foi proposto um modelo genético.

O Planeta Terra na sua evolução formou e forma depósitos de manganês por três processos mineralizadores: sedimentar, hidrotermal e supergênico. (Roy 1997 citado por Pinho 2009). A fonte primária de manganês é vulcanismo submarino em bacias rift e aporte terrígeno (Lydon 1988; Beukes 1993; Scott 1997; Roy 2006). Após a dissolução do metal em bacias marinhas, o íon de manganês se movimenta até que encontre condições de precipitação (Glasby 1988; Beukes 1993; Roy 2006).

Em bacias continentais ricas em sedimentos manganésíferos podem-se formar depósitos de manganês hidrotermais, com a compactação ocorre uma expulsão de fluidos associada a eventos tectônicos (Glasby 1988; Roy 1997). Onde ocorrem mineralizações de manganês, seja sedimentar ou hidrotermal, essas concentrações ou mesmo

depósitos, estão sujeitos ao intemperismo, podendo enriquecer ou formar depósitos de baixas profundidades por enriquecimento supergênico (Roy 1997).

De acordo com os dados coletados nas análises realizadas no presente trabalho, juntamente com levantamento bibliográfico acerca da geologia regional da área de estudo, é discutido a seguir o modelo de mineralização proposto para o depósito de manganês de Serra do Sereno, apesar de ser necessário complementar com outros dados para uma melhor discussão. Com base na mineralogia e litologia identificada. Para o modelo metalogenético da mineralização, é proposta a combinação de três processos: o primeiro sedimentar, o segundo por ação de fluidos hidrotermais e o terceiro por enriquecimento supergênico.

6.3.1 Sistema Sedimentar

O processo sedimentar é proposto com base nos dados bibliográficos sobre a geologia do grupo Rio Novo, no qual o depósito faz parte, devido às rochas caracterizadas neste trabalho apresentarem alto grau de alteração, mascarando estruturas que poderiam evidenciar melhor este processo. Mantendo a proposta de Hirata et al. (1982), Meireles et al. (1984) descreveu que os clorita xistos, quartzo xistos, provavelmente são de origem sedimentar, denominaram a sequência como rochas metavulcânicas máficas a ultramáficas com sedimentos clásticos e químicos ricos em Mn, subordinados. Uma evidência que corrobora este processo sedimentar é que os corpos de manganês estão sempre associados aos xistos, ocorrendo no quartzito apenas como impregnações.

6.3.2 Sistema Hidrotermal

A participação dos fluidos hidrotermais na gênese do depósito é inferida considerando as estruturas geológicas, as rochas encontram-se fraturadas e possuem veios de quartzo leitoso. Outro fator que contribui para esta classificação de hidrotermalismo é assembleia mineralógica identificada, onde é composta por minerais secundários, como clorita e sericita. Além disso, conforme descrito por (Roy 1968; Mosier & Campbell 1995; Jordan & Burgess 2007), depósitos de manganês hidrotermais formados em ambientes epizonais são constituídos em grande parte por óxidos de manganês, e, observamos isto também na caracterização mineralógica.

6.3.3 Sistema Supergênico

O último estágio para a formação do depósito, este processo é confirmado através da assembleia mineral encontrada, onde os minerais portadores de manganês são oxi-hidróxidos produtos da ação do intemperismo, como hidratação. Além disso, a mineralização com os teores de Mn mais elevados estão presentes em níveis mais superficiais. Uma hipótese para o que pode ter provocado esse enriquecimento é que posterior à liberação do manganês houve uma concentração residual do elemento em questão, que, após os processos de alteração, como resultado de intensas mudanças climáticas favoráveis e possíveis reativações tectônicas, gerou posteriormente ao processo de liberação de manganês e a concentração residual do mesmo, um enriquecimento a partir dos protominérios e uma migração para níveis superficiais com a precipitação de manganês em níveis mais rasos.

7 CONCLUSÕES

- I. Os resultados obtidos a partir das análises em DRX e EDX possibilitaram a caracterização das amostras, permitindo assim, agrupá-las em sete litologias distintas: (1) perfil de solo, formado por quartzo, muscovita, caulinita e birnessita; (2) saprólito avermelhado, formado por quartzo, caulinita e pirocroíta; (3) saprólito com fragmentos de Mn, formado por quartzo, óxido de manganês e pirolusita; (4) clorita xisto formado por quartzo, clorita, muscovita, ramsdellita, manganita, dióxido de manganês, todorokita e pirocroíta; (5) sericita xisto, formado por quartzo, andradita, celadonita e todorokita; (6) xisto grafitoso, formado por quartzo, muscovita, grafita e todorokita; e (7) quartzito intemperizado, formado por quartzo, muscovita, siderofilita e hausmanita.
- II. A partir dos dados gerados através da análise em EDX, onde foi fornecido o teor dos elementos, foi possível enquadrar a amostra FDN-05 como sendo a única que atende as exigências estipuladas pela empresa utilizada como guia neste trabalho.
- III. O depósito de manganês da Serra do Sereno, através dos métodos utilizados no presente trabalho, juntamente com dados bibliográficos, embora, seja importante salientar a carência de outros métodos, como, por exemplo, estudos petrográficos, para uma melhor caracterização acerca da gênese e evolução do depósito. Foi possível sugerir três processos para a formação do depósito, sedimentar, fluidos hidrotermais e enriquecimento supergênico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, J. A. C., Dall’Agnol, R., Oliveira, M. A., Macambira, M. J. B., Pimentel, M. M., Rämö, O. T., Guimarães, F. V., Leite, A. A. S., 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **120**:235-257.
- ANDERSON W. L.; DYER R. C., TORRES D. D. *Ocorrências de manganês na Bacia do rio Itacaiunas, Centro-leste do Estado do Pará*. CBG – Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, 1974.
- Araújo, O. J. B. de & Maia, R. G. N. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás, Serra dos Carajás. Folha SB. 22-Z-A Estado do Pará; texto explicativo. Brasília: DNPM/CPRM, 1991. 136p. il. 30cm. Bibliografia, p. 131-136.
- B. A. M. Figueira¹, R. S. Angélica², M. L. Costa², J. M. R. Mercury³, M. R. P. Santos¹, H. *Caracterização química e mineralógica de birnessita natural da Mina do Azul (Província Mineral de Carajás, Brasil) e seu análogo sintético (K-OL-1) obtido pelo método sol-gel*. Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, R. Vera Paz, Campus Tapajós, Santarém-PA; Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, R. Augusto Correa, N- 1, Belém-PA; Instituto Federal do Maranhão, Campus Monte Castelo, Departamento de Química. São Luis-MA; Universidade Martin-Luther Wittenberg, Instituto de Geociências, Domstr. 6, D-06108, Halle-Salle, Alemanha.
- BELLO, R. M. S. *Condições de metamorfismo de Buritirama, Pará e Serra do Navio, Amapá*. São Paulo: 1978.
- BORGES, J. O. *Geologia e evolução metalogenética do minério de manganês da mina Lagoa d’anta, subdistrito ferro-manganesífero de Caetité-Licínio de Almeida, Bahia*. Dissertação de Mestrado, Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.
- CETEM. Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para a metalurgia. Série estudos e Documentos – Centro de Tecnologia Mineral CETEM. Rio de Janeiro, 2006.
- COSTA, M. L. C. Depósitos Brasileiros associados à evolução da paisagem e aos Processos de Laterização: Al, Au, Mn, Ni e (Fe). Simexmin. Apresentação Oral. 2010.
- Dall’Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineral Petrology*, 50:113-118.

DALL'AGNOL, R. et al. *Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil*. *Lithos*, v. 80, p. 101-129, 2005.

DELVIGNE, J. Curso de Micromorfologia das alterações minerais. Universidade de São Paulo Instituto de Geociências. 171p. 1981.

Docegeo. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e principais depósitos minerais. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, CVRD: SBG.

EDERFIELD, H., GRAVES, M. J. Negative cerium anomalies in the rare earth element patterns of oceanic ferromanganese nodules. *Earth and Planetary Science Letters*, 55, 163-170. 1981.

FREYSSINET, P. Gold dispersion related to ferricrete pedogenesis in South Mail: application to geochemical exploration. *Chron. Rech.Min.* p510: 25-40. 2005.

Glasby, G.P. 1988. Manganese deposition through geological time: Dominance of the post Eocene deep-sea environment: *Ore Geology Rev.* 4, p. 135-144.

Hirata, W. K. et al. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Belém, 1982. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 1982, V1, p 100-110.

I. C.do Mar¹, B. A. M. Figueira¹, L. N. da Silva², J. M. R. Mercury³. *Síntese e caracterização de óxido de Mn nanoestruturado em camada (ca-ol-2) a partir de minérios da antiga mina de Serra do navio (amapá)*. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 06 a 10 de novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

Jordan, B.D., Burgess, R. 2007. A Miocene fault in south-east Ireland revealed by ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of hydrothermal cryptomelane. *Irish journal of Earth sciences*, 25, p 55-61.

Jorge João, X. da S., Neves, A. P., Leal, J. W. L. Ouro da Serra Pelada , aspectos da geologia e garimpagem. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1. Belém, 1982. Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. V.2 p. 52-61.

KASTING, J. F. Theoretical constraints on oxygen and carbon dioxide concentrations in the Precambrian atmosphere. *Precambrian Research*, 34: 205-29. 1978.

KRAUSKOPF, K.B. & BIRD, D.K. Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill, 647 pp. 1995.

Leite, A. A. S., Dall'Agnol, R., Macambira, M. J. B., Althoff, F. J., 2004. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do terreno granito-greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências* 34, 447-458.

Lydon, J.W. 1988. Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 2: genetic models. *Geoscience Canada*, 15, p. 43-65.

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

Machado, N.; Lindenmayer, Z.; Krogh, T.H.; Lindenmayer, D. 1991. U-Pb geochronology of Archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49:329-354.

MAYNARD, J. B. *The Chemistry of Manganese Ore through Time: A Signal of Increasing Diversity of Earth-Surface Environments*. *Econ. Geol.*, 105, 535-552. 2010.

Meireles, E. de M., Teixeira, J. T. Depósito de ouro de Serra Pelada. Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Belém, 1982. Anexo aos Anais. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, 1982, 1, p 75-85.

MASON, B. H. *Princípios de Geoquímica*. São Paulo: Polígono, 381p. 1974.

MORETO, C. P. N. 2010. O DEPÓSITO DE ÓXIDO DE FERRO–COBRE–OURO BACABA, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, PA: GEOCRONOLOGIA U-Pb DAS ROCHAS HOSPEDEIRAS. Campinas, São Paulo.

Mosier, D.L., and Campbell, David L., 1995, Epithermal Mn deposits, in du Bray, Edward A., ed., Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-831, p. 170-173

Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite–Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, 27:146-16.

PIDGEON, R.T.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. *Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from the pium complex, Carajás Province, Brazil:*

evidence for the ages of the granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. Chemical Geology, v. 166, p. 159-171, 2000.

Pinheiro R.V.L., Holdsworth R.E. 1997. The structure of the Carajás N-4 ironstone deposit and associated rocks: relationship to Archaean strike-slip tectonics and basement reactivation in the Amazon region, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10: 305-319.

PINHO, R. R. Caracterização e Gênese do Minério de Manganês do Depósito da Mina Fazenda dos Penas, Borda oeste da Serra do Espinhaço Meridional, MG. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 104p. 2009.

Robb, L. J. 2007. Introduction to ore-forming processes. Blackwell Publishing, fourth published, Austrália.

ROLANDO, A.P.; MACAMBIRA, M.J.B. *Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes.* In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., Salvador. Short Papers. Salvador: CBPM, 2003. p. 268-270.

Roy, S. Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits. 1968. *Economic Geology*, 63, p. 760-786.

ROY, S. Genetic diversity of manganese deposition in the terrestrial geological record. In: Nicholson, K., Hein, J., Bühn, B., Dasgupta, S. (Eds.), *Manganese Mineralisation: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits.* Special Publication—Geological Society of London. vol. 119, pp. 5–27. 1997

Roy, S. 2006. Sedimentary manganese metallogenesis in response to the evolution of the Earth system. 2006 *Earth-Science reviews*, vol 77. p. 273-305.

RMB Manganês. 2017. Relatório de Renovação da Guia de Utilização. Relatório Interno.

Sampaio, J. A., Andrade, M. C., Dutra, A. J. B. e Penna, M. T. M.; *Rochas e Minerais Industriais – Capítulo 28 – Manganês.* CETEM, 2008.

SANTOS, J.O.S. 2003. *Geotectônica do Escudo das Guianase e Brasil-Central.* In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.* Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil.

Scott, S.D. 1997. Submarine hydrothermal systems and deposits. In: Robb, L. J. 2007. Introduction to ore-forming processes. Blackwell Publishing, fourth published, Austrália. P. 269

VARENTSOV, I. M. Manganese ores of supergene zone: Geochemistry of formation: Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 342p. 1996.

VASCONCELOS, P. Weathering, Landscape Evolution, Supergene Enrichment, and Genesis: Implications to Exploration Mineral. Simexmin. Apresentação Oral. 2010.

VASQUEZ L., V., et al. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*. Organizadores: Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

ANEXO

Descrição geológica do furo de sondagem FDN – 1701

0,00 - 2,50m: Solo argiloso marrom com fragmentos de pisólitos de Mn e material orgânico; reage a H₂O₂.

2,50 - 7,15m: Saprólito vermelho, argiloso, não magnético com fragmentos de caulim e resquícios de clorita xisto.

7,15 - 14,60m: Saprólito de coloração preta, areno-argiloso, não magnético com presença de fragmentos de Mn maciço (12,80 a 14,15m), reage fortemente a H_2O_2 .

14,60 - 16,40m: clorita xisto foliado, vermelho, não magnético com fragmentos mm de Mn maciço localizado; reage moderadamente a H_2O_2 .

16,40 - 21,55m: Sericita xisto de coloração alaranjada, argilo-arenoso, não magnético, com fragmentos localizados de Mn maciço de tamanho mm.

21,55 - 30,15m: Intervalo de xisto grafitoso variando de inconsolidado a consolidado de coloração cinza clara, foliado, não magnético; localmente presença de micro fraturas preenchidas por veios e quartzo e material ferruginoso; reage fracamente a H_2O_2 ; localmente presença de sericita.

30,15 - 42,20m: clorita - sericita xisto vermelho escuro argiloso; não magnético, foliado, bastante presença de sericita fina ao longo do intervalo; reage muito fraco a H_2O_2 , no final do intervalo presença de fragmentos de Mn maciço.

42,20 - 44,95m: Intervalo de clorita xisto argiloso de coloração variando de marrom avermelhado a amarelo ocre, com presença de blocos de Mn maciço variando de tamanhos mm a cm.

44,95 - 50,10m: Clorita xisto de coloração amarelo ocre, areno-argiloso, não magnético com presença de Mn fino disseminado a longo do intervalo; reage forte a H_2O_2 .

50,10 - 52,20m: Intervalo clorita xisto de coloração avermelhada, argilo-arenoso, foliação incipiente, não magnético reage muito fracamente a H_2O_2 .

52,20 - 58,55m: Clorita sericita xisto, de coloração amarelo ocre, com intervalos de Mn pulverulento dentro do pacote; reage forte a H_2O_2 .

58,55 - 63,20m: Intervalo de sericita xisto, variando de coloração amarelado a marrom, não magnético, localmente presença de níveis de Mn pulverulentos e de quartzito com Mn disseminado.

63,20 - 91,75m: Intervalo de quartzito foliado intemperizado; coloração marrom clara; não magnético, com presença de Mn nos planos de foliação dando um aspecto bandado a rocha, as bandas escuras são de Mn e as claras são de quartzo. O Mn também se apresenta de forma disseminada; intervalo reage a H_2O_2 .

91,75 - 97,60m: Intervalo sericita xisto, variando de coloração amarelado a marrom, não magnético, reage fracamente a H_2O_2 , localmente micro fraturas preenchidas por óxidos de Fe e/ou Mn.

97,60 - 98,20m: Veio de quartzo branco cisalhado com presença de sericita associado.

98,20 - 102,80m: Intervalo de clorita xisto, marrom esverdeado, argiloso, não magnético, reage muito fracamente a H_2O_2 .