ROSA MARIA DA SILVEIRA BELLO

CONDIÇÕES DE METAMORFISMO DE
BURITIRAMA, PARÁ E SERRA DO NAVIO, AMAPÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Departamento de Mineralogia e Petrologia
do Instituto de Geociências da
Universidade São Paulo.

Orientador:

Prof. Dr. José Vicente Valarelli

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004619

SÃO PAULO

1978

ÍNDICE

RESUMO	ix
CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	4
MATERIAIS E MÉTODOS	4
CAPÍTULO III	7
JAZIDA DE MANGANÊS DE BURITIRAMA	7
III - 1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DE BURITIRAMA	7
III - 2 - ESTUDO DOS PROTOMINÉRIOS E ENCAIXANTES DE BURITIRAMA	13
III - 2 - 1 - GENERALIDADES	13
III - 2 - 2 - DESCRIÇÃO DE FUROS DE SONDA	15
III - 2 - 2 - 1 - Furo B5-10	15
III - 2 - 2 - 2 - Furo B5-22	19
III - 2 - 2 - 3 - Furo B5-14	19
III - 2 - 3 - TIPOS DE PROTOMINÉRIOS	20
III - 3 - MINERALOGIA DOS PROTOMINÉRIOS	23
III - 3 - 1 - CARBONATOS	23
III - 3 - 2 - PIROXMANGITA	24
III - 3 - 3 - RODONITA	27
III - 3 - 4 - CLINOPIROXÊNIO MANGANESÍFERO	30
III - 3 - 5 - TEFROITA	30
III - 3 - 6 - ANFIBÓLIOS MANGANESÍFEROS	33
III - 3 - 7 - GRANADAS	34
III - 3 - 8 - FLOGOPITA MANGANESÍFERA	34

III - 3 - 9 - MINERAIS METÁLICOS	37
CAPÍTULO IV	59
JAZIDA DE MANGANÊS DE SERRA DO NAVIO	59
IV - 1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DE SERRA DO NAVIO	59
IV - 2 - ESTUDO DOS PROTOMINÉRIOS E ENCAIXANTES DE SERRA DO NAVIO	63
IV - 2 - 1 - GENERALIDADES	63
IV - 2 - 2 - DESCRIÇÃO DE FUROS DE Sonda	64
IV - 2 - 2 - 1 - Furo C-2-37	64
IV - 2 - 2 - 2 - Furo C-2-40	67
IV - 2 - 2 - 3 - Furo F-12-76	68
IV - 2 - 2 - 4 - Outras Amostras	70
IV - 2 - 3 - TIPOS DE PROTOMINÉRIO	70
IV - 3 - MINERALOGIA DO PROTOMINÉRIO	71
IV - 3 - 1 - CARBONATOS	71
IV - 3 - 2 - PIROXENÓIDES	74
IV - 3 - 3 - TEFROITAS	75
IV - 3 - 4 - ESPESSARTITA	78
IV - 3 - 5 - FLOGOPITA MANGANESÍFERA	78
IV - 3 - 6 - ANFIBÓLIOS	80
IV - 3 - 7 - MINERAIS METÁLICOS E ACESSÓRIOS	85
CAPÍTULO V	103
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	103
V - 1 - CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO METAMORFISMO DE BÚRITIRAMA	103
V - 2 - CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO METAMORFISMO DE SERRA DO NAVIO	111

V - 3 - PARTIÇÃO DE ELEMENTOS	120
V - 4 - CORRELAÇÃO ENTRE O METAMORFISMO, A GEOTEC TÔNICA E A GEOCRONOLOGIA	145
AGRADECIMENTOS	147
BIBLIOGRAFIA	149

TABELAS

Tabela I - Análises de microsonda de carbonatos de protominérios de Mn de Buritirama	25
Tabela II - Análises de microsonda de piroxenóides de protominérios de Mn de Buritirama	29
Tabela III - Análises de microsonda de clinopiroxênios de protominérios de Mn de Buritirama	31
Tabela IV - Análises de microsonda de tefroitas de protominérios de Mn de Buritirama	32
Tabela V - Análises de microsonda de anfibólios de protominérios de Mn de Buritirama	35
Tabela VI - Análises de microsonda de espessartitas de protominérios de Mn de Buritirama	36
Tabela VII - Análises de flogopitas manganíferas de protominérios de Mn de Buritirama	38
Tabela VIII - Dados ópticos de piroxenóides e clinopiroxênios de protominérios de Mn de Buritirama	40
Tabela IX - Dados ópticos de olivinas de protominérios de Mn de Buritirama	41
Tabela X - Análises de microsonda de carbonatos de protominérios de Mn de Serra do Navio	72

Tabela XI - Análises de microsonda de piroxenóides de protominérios de Mn de Serra do Navio	76
Tabela XII - Análises de microsonda de tefroitas de protominérios de Mn de Serra do Navio	77
Tabela XIII - Análises de microsonda de espessartitas de protominérios de Mn de Serra do Navio	79
Tabela XIV - Análises de microsonda de flogopitas manganêsíferas de protominérios de Mn de Serra do Navio	81
Tabela XV - Análises de microsonda de anfibólios de protominérios de Mn de Serra do Navio	82
Tabela XVI - Dados ópticos de piroxenóides de protominério de Mn de Serra do Navio	83
Tabela XVII - Dados ópticos de olivinas de protominérios de Mn de Serra do Navio	84

FOTOS

Fotos 1 e 2 - Calco xistos encaixantes de Buritirama	42
Fotos 3 e 4 - Mármore calcossilicáticos encaixantes de Buritirama	43
Fotos 5 a 10- Protominério - Braunita mármore de Buritirama	44 a 46
Fotos 11 a 18- Xistos calcossilicáticos encaixantes de Buritirama	47 a 50
Fotos 19 a 21- Protominério - mármore calcossilicáticos de Buritirama	51 e 52

Fotos 22, 23 e 24 - Protominério - piroxmangita mármore de Buritirama	52 e 53
Foto 25 - Protominério - mármore manganêsífero de Buritirama	54
Foto 26 - Protominério - braunita mármore de Bu ritirama	54
Fotos 27a, 27b, 28 e 29 - Protominério - tefroi ta mármore de Buritirama	55 e 56
Foto 30 - Protominério - piroxmangita mármore de Buritirama	57
Foto 31 - Encaixante calcossilicática de Buriti rama	57
Foto 32 - Protominério - braunita mármore de Buritirama	58
Fotos 33 a 41 - Xistos encaixantes de Serra do Navio	86 a 90
Fotos 42 e 43 - Protominério - mármore manganê síferos de Serra do Navio	90 e 91
Fotos 44 a 47 - Sillimanita xistos encaixantes de Serra do Navio	91 a 93
Fotos 48 e 49 - Encaixantes calcossilicáticas de Serra do Navio	93 e 94
Fotos 50 a 53 - Protominério - tefroita mármore de Serra do Navio	94 a 96
Fotos 54 e 55 - Protominério - piroxmangita már more de Serra do Navio	96 e 97
Fotos 56 a 59 - Protominérios sílico carbonáti cos e mármore silicáticos de Serra do Navio	97 a 99
Fotos 60 a 63 - Encaixantes metapelíticas (xis tos) de Serra do Navio	99 a 101
Foto 64 - Encaixante calcossilicática de Serra do Navio	101
Foto 65 - Xisto encaixante de Serra do Navio	102
Foto 66 - Protominério - sílico carbonático de Serra do Navio	102

FIGURAS

-vi-

Figura 1 - Mapa geológico da região de Serra dos Carajás	8
Figura 2 - Mapa geológico da Serra de Buritirama	10
Figura 3 - Mapa geológico do corpo de minério B-5	12
Figura 4 - Seção geológica 200 N do corpo de minério B-5	14
Figura 5 - Perfil litológico esquemático do furo de sonda B5-9 e do furo de sonda B5-10	16
Figura 6 - Solução sólida no sistema $\text{CaCO}_3\text{-MnCO}_3$	26
Figura 7 - Diagrama triangular em porcentagem molar de (Mn)-(Ca)-(Fe+Mg) de carbonatos, rodonitas, piroxmangitas, clinopiroxênios e tefroitas de amostras de protominérios de manganês de Buritirama	28
Figura 8 - Mapa geológico do distrito de Serra do Navio	60
Figura 9 - Perfil geológico da jazida C-2 - Seção 14 + 20	65
Figura 10- Perfil geológico da jazida F-12. Seção 7 + 60	69
Figura 11- Diagrama triangular em porcentagem molar de (Mn)-(Ca)-(Fe+Mg) de carbonatos, rodonitas, piroxmangitas e tefroitas de amostras de protominérios de manganês de Serra do Navio	73
Figura 12- Diagrama isobárico T-log $f\text{O}_2$ para o sistema Mn-C-Si-O-H. PT = 2.000 bars; $X_{\text{CO}_2}=1$	105
Figura 13- Diagrama isobárico T- X_{CO_2} para o sistema $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ a várias pressões totais	109
Figura 14- Densidades críticas de CO_2 (g/cm^3) e temperaturas de homogeneização de 394 inclusões fluidas em cristais de quartzo.	110

Figura 15 - Diagrama isobárico T-X _{CO₂} para o sistema CaO-MgO-SiO ₂ -H ₂ O-CO ₂ a Pf = 1Kb e Pf = 5 Kb	113
Figura 16 - Diagrama P-T: reações metamórficas em rochas pelíticas	117
Figura 17 - Diagrama P-X _{FeO} de granadas e cordieritas coexistentes a 700°C	117
Figura 18 - Diagrama P-T para a associação cordierita + almandina + sillimanita + quartzo	117
Figura 19a- Relação Ca ²⁺ /ΣM ²⁺ entre carbonatos e <u>es</u> pessartitas coexistentes. Buritirama.	123
Figura 19b- Idem, Serra do Navio	124
Figura 19c- Idem, Buritirama e Serra do Navio	125
Figura 20a- Distribuição Ca ²⁺ /ΣM ²⁺ entre carbonatos e rodonitas coexistentes. Buritirama.	126
Figura 20b- Idem, Serra do Navio	127
Figura 20c- Idem, Buritirama e Serra do Navio	128
Figura 21a- Distribuição Ca ²⁺ /ΣM ²⁺ entre carbonatos e piroxmangitas coexistentes. Buritirama	129
Figura 21b- Idem, Serra do Navio	130
Figura 21c- Idem, Buritirama e Serra do Navio	131
Figura 22a- Distribuição Ca ²⁺ /ΣM ²⁺ entre carbonatos e anfibólios manganêsíferos coexistentes. Buritirama	132
Figura 22b- Idem, Serra do Navio	133
Figura 22c- Idem, Buritirama e Serra do Navio	134
Figura 23a- Distribuição Ca ²⁺ +Mn ²⁺ /ΣM ²⁺ entre carbonatos e tefroitas coexistentes. Buritirama	135
Figura 23b- Idem, Serra do Navio	136
Figura 23c- Idem, Buritirama e Serra do Navio	137
Figura 24 - Distribuição Ca ²⁺ /ΣM ²⁺ entre carbonatos e os piroxenóides de Serra do Navio	138
Figura 25 - Resultados experimentais de síntese através da reação (Mn,Ca) CO ₃ + SiO ₂ = (Mn,Ca)SiO ₃ +CO ₂ a P total = 2 Kb e X _{CO₂} variando entre 0,3 e 0,6	140

- Figura 26 - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e os piroxenóides de Buritirama 141
- Figura 27 - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e rodonitas, piroxmangitas, espessartitas e anfibólios manganêsíferos de Buritirama e Serra do Navio 142
- Figura 28 - Soluções sólidas no sistema CaCO_3 - MgCO_3 - MnCO_3 à pressão total de 10 Kb (a) 500°C (b) 600°C 144

RESUMO

Amostras frescas de furos de sonda das jazidas de manganês de Serra do Navio, Amapá, e de Buritirama, Pará foram estudadas

Em Buritirama ocorrem os seguintes tipos de protominérios de manganês: mármores calcossilicáticos, piroxmangita mármores, braunita mármores, tefroita-alabandita mármores e xistos calcossilicáticos manganíferos. As rochas encaixantes são constituídas por mármores, rochas calcossilicáticas, xistos e quartzitos dobrados, de atitude geral: direção N60W e mergulho 20-30° NE. Este pacote de rochas metassedimentares faz parte do Grupo Grão Pará que é sobrejacente às rochas do Complexo Xingú.

Os protominérios de manganês de Buritirama caracterizam-se pela sua natureza sílico-carbonática, ausência de grafita e presença de braunita e hausmanita, além de carbonatos da série Mn-calcita - Mn-kutnahorita, piroxenóides manganíferos (piroxmangita e rodonita), olivina (tefroita), espessartita, clinoanfíbolios manganíferos, manganoflogopita (manganofilita) e acessórios (alabandita, esfalerita, espinélio manganífero e pirofanita).

Soluções sólidas dos carbonatos indicam temperaturas superiores a 550° C para o pico do metamorfismo sofrido pelo protominério. A paragênese: braunita + hausmanita + carbonato manganífero indica temperatura semelhante e $\log f_{O_2} \approx -8$.

As associações das encaixantes calcossilicatadas (calcita-dolomita-quartzo-diopsídio-tremolita) e das metapelíticas indicam temperaturas entre 500 e 600°C. Estudo de inclusões fluidas em grãos de quartzo, somados aos dados acima, indicam que em Buritirama, o pico do metamorfismo atingiu as seguintes condições: $T = 550 \pm 50^\circ C$; $P = 3.000 \pm 300 \text{ atm}$; $\log f_{O_2} \approx -8$; e, X_{CO_2}

maior que 0,8.

Estas condições devem ter ocorrido durante metamorfismo regional progressivo no ciclo orogenético Transamazônico. Datas K/Ar e Rb/Sr dessas rochas fornecem idades concordantes de 1.960 m.a. Nenhum outro fenômeno de monta ocorreu depois desse evento a não ser pequenos cisalhamentos, remobilizações e accommodations.

Em Serra do Navio ocorrem protominérios do tipo mármore manganífero, em forma de lentes envolvidas por estratos de protominério sílico-carbonático, encaixados em quartzo-biotita-granada xistos, xistos grafitosos e quartzitos.

Essa sequência metassedimentar sobrepõe-se a rochas do Complexo Guianense. Localmente considerada como Grupo Serra do Navio da Série Amapá, este pacote modernamente pertence ao Grupo Vila Nova, de idade Rb/Sr 2.090 m.a. (ectinitos) e K/Ar 1.800-1.700 m.a.

O protominério carbonático de Serra do Navio é caracterizado pela associação Ca-kutnahorita - Ca-rodocrosita, olivina (tefroita), piroxenóides e espessartita, tendo grafita como acessório constante. Outros minerais menos comuns são: mangano flogopita, clinopiroxênios manganíferos - anfibólios manganíferos, pirofanita e sulfetos.

O protominério sílico-carbonático contém a mesma associação porém com maior quantidade de granada e piroxenóides em detrimento de olivina e carbonato.

A associação grafita-piroxenóide-olivina-carbonato manganífero estabelece para o protominério temperaturas de 600°C e fugacidade de oxigênio $\log f_{\text{O}_2} \approx -20$, supondo pressões da ordem de 2.000 atm.

As paragêneses das rochas calcossilicáticas indicam elevada fração molar de CO_2 e temperatura da ordem de 620°C a 4 Kb, ou temperaturas maiores a pressões mais elevadas (calcita-tremolita-diopsídio-quartzo).

As rochas xistosas, metapelíticas mais ou menos silicáticas são mais favoráveis à observação das condições reinantes no metamorfismo sofrido pelas rochas da região. O climax do metamorfismo deve ter sido atingido a temperaturas da ordem de $700 \pm 40^{\circ}\text{C}$ e pressões da ordem de $5,5 \pm 1 \text{ Kb}$ (sillimanita-cordierita - quartzo-granada; muscovita-quartzo-sillimanita-ortoclásio; es tauroлита-muscovita-quartzo-sillimanita-biotita).

Efeitos de metamorfismo de grau mais baixo, tais como a passagem de sillimanita em biotita e andalusita, transformação de sillimanita e ortoclásio para andalusita e microclínio ou para muscovita e quartzo, etc, são abundantes nas rochas pelíticas. Este metamorfismo de grau médio tem seus reflexos também nos protomínérios, mármore e rochas calcossilicáticas.

O primeiro metamorfismo do tipo regional progressivo atingiu temperaturas suficientes para a fusão de rochas de composições favoráveis, atribuindo-se aos chamados granitos sintectônicos de Serra do Navio, uma origem anatética. Após um resfriamento houve um segundo metamorfismo de grau médio (fácies anfibolito), provavelmente responsável pelas datações K/Ar desses metassedimentos.

Objetivando a comparação das condições de metamorfismo de Serra do Navio e de Buritirama, confeccionaram-se diagramas de porcentagem molar e diagramas de partição de elementos (em peso por cento dos cátions) entre fases coexistentes, com dados de microsonda eletrônica dos minerais dos respectivos protomínérios manganésiferos. A interpretação desses diagramas evidenciou condições de equilíbrio e diferenças no grau de metamorfismo das duas áreas.

Descontinuidades nos "trends" de composição dos carbonatos de Buritirama confirmam dados de miscibilidade dos minerais do sistema $\text{MnCO}_3 - \text{MgCO}_3 - \text{CaCO}_3$, indicando nessa ocorrência, condições térmicas mais baixas daquelas que prevaleceram em

Serra do Navio.

A natureza dos piroxenóides manganésíferos mereceu atenção especial. Estrutura do tipo piroxmangita existe até um teor limite de CaO, passando para estrutura do tipo rodonita com o aumento desse teor. O conteúdo em CaO das piroxmangitas é menor em Serra do Navio e maior em Buritirama, colaborando com da dos experimentais que sugerem ser esse limite dependente da temperatura. Mais uma vez confirmam-se condições metamórficas mais drásticas na primeira área.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mangnês e a maioria das jazidas em exploração sistemática é constituída de minérios formados por enriquecimento supérgeno de rochas mãe, de natureza metassedimentar, carbonáticas com quantidades variáveis de silicatos que podem ser genericamente denominadas de Queluzitos.

Entre as jazidas com protominérios queluzíticos podem ser destacadas as de Buritirama e Sereno no Pará; as de Serra do Navio, Amapá; as de Lafaiete, Saúde e São João del Rey em Minas Gerais.

A potencialidade dessas jazidas de enriquecimento supérgeno, além de outros fatores, está intimamente relacionada com a natureza carbonática dos protominérios.

Vários trabalhos sobre a mineralogia e origem secundãria desses minérios são encontrados na literatura (LEINZ, 1948; PARK, 1956; NAGELL, 1962; CASTRO, 1960; VALARELLI, 1966, 1967, 1975; SCARPELLI, 1973; ANDERSON *et al.*, 1974; MELFI *et al.*, 1973; BITTENCOURT, 1973; DORR *et al.*, 1958). Entretanto quando se referem ao protominério, poucos são os autores (SCARPELLI, 1963, 1968; da SILVA *et al.*, 1961; BELLO *et al.*, 1976; COUTINHO *et al.*, 1976; RIBEIRO FILHO, 1968; EBERT, 1963) que tratam das condições metamórficas a que foram submetidos os antigos sedimentos. Em alguns trabalhos, a natureza silicática, pelítica, carbonática ou química é correlacionável a antigos ambientes de sedimentação (SCARPELLI, 1973 e EBERT, 1963).

Os melhores estudos sobre o metamorfismo dessas rochas dão maior ênfase aos aspectos estruturais e texturais e ao cadastro dos minerais identificados. Em alguns casos, o inven

tário mineralógico das jazidas possui nomes dos vários minerais, sem levar em conta as associações em equilíbrio.

O objetivo principal do presente trabalho é de contribuir para o conhecimento das condições metamórficas a que foram submetidos os protominérios carbonáticos e sílico-carbonáticos de Buritirama e de Serra do Navio.

A escolha de Buritirama foi ditada por vários fatores:

1) trata-se de jazida cujo estudo preliminar (ANDERSON *et al.*, 1974) demonstrou ter protominério constituído por carbonatos, silicatos e óxidos de manganês. As considerações genéticas sobre Buritirama poderiam servir de base para estudos semelhantes das jazidas de Sereno, Urandi e Maraú, respeitando-se as respectivas particularidades. Além disso as encaixantes carbonáticas, calcossilicáticas e metapelíticas seriam favoráveis a um estudo paragenético.

2) O estudo do metamorfismo do protominério e das rochas encaixantes de Buritirama poderiam contribuir para o estudo do Grupo Grão Pará que adquire, no momento, grande importância devido ao desenvolvimento das pesquisas minerais na região.

3) A jazida de Buritirama possui reservas médias em comparação com outras jazidas, mas seu melhor conhecimento e aproveitamento econômico ajudaria a viabilidade da implantação do complexo industrial da região (Marabá - Carajás - Itaqui).

4) O trabalho de ANDERSON *et al.* (1974) sobre Buritirama, e os estudos regionais da área da Serra dos Carajás (TOLBERT *et al.*, 1971, 1973 e BEISEGEL *et al.*, 1973) e do Projeto RADAM (LIMA *et al.*, 1974), representavam um suporte adequado para o estudo proposto.

5) Havia disponibilidade de testemunhos de sondagem.

Escolheu-se Serra do Navio pelos seguintes motivos:

1) trata-se de jazida cujo protominério é constituído por carbonatos, silicatos, grafita e sulfetos. A semelhança da

jazida de Serra do Navio com as de Minas Gerais (Lafaiete, Saúde e São João del Rey) é flagrante, justificando uma previsão de que a metodologia de estudo e algumas considerações gerais pudessem ser aproveitadas no estudo destas últimas.

2) O estudo do metamorfismo do protominério de Serra do Navio e das rochas encaixantes (mármore, rochas calcossilicáticas, metapelitos xistosos e rochas quartzo feldspáticas) contribuiria para o conhecimento dos metassedimentos, que constituem o cinturão metamórfico, sobrejacentes às rochas do Complexo Guianense, localmente denominado de Grupo Serra do Navio da Série Amapá (NAGELL, 1962), hoje denominado Grupo Vila Nova (LIMA *et al.*, 1974).

3) A jazida de Serra do Navio é, no Brasil, uma das mais importantes do ponto de vista de reservas. Seu protominério, conforme trabalhos anteriores (da SILVA *et al.*, 1961), deverá ser incorporado às reservas do minério, da mesma forma que acontece com o protominério de Lafaiete que está sendo explorado economicamente.

4) Do ponto de vista prático, contava-se com muitas informações geológicas, tectônicas, petrográficas e mineralógicas da jazida, além de se dispor, de um grande acervo de testemunhos de sondagem.

Trabalhos geocronológicos colocam as duas jazidas estudadas dentro do mesmo cinturão móvel denominado Maroni-Itacaiunas, dentro do ciclo orogenético tranzamazônico de idades absolutas Rb/Sr entre 1.800 e 2.200 m.a. (GOMES *et al.*, 1975; MONTALVÃO, 1976; CORDANI, 1974; CORDANI *et al.*, 1977; HURLEY *et al.*, 1967). Seria interessante o estudo metamórfico dessas duas áreas e a sua correlação com os eventos tectônicos evidenciados pelos dados geocronológicos.

Para atingir os objetivos propostos foram efetuados estudos mineralógicos, petrográficos, paragenéticos, químicos e de inclusões fluidas.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras estudadas neste trabalho são constituídas por testemunhos de furos de sonda coletados nos arquivos das jazidas.

Baseando-se na descrição do perfil dos furos de sonda e na observação dos arquivos, coletaram-se, a cada intervalo amostras de aspecto macroscópico característico (mineralogia e textura).

De Buritirama foram amostrados sistematicamente os testemunhos dos furos números 10, 22 e 14 da Mina B-5, contando-se também com várias amostras esparsas de outros furos.

De Serra do Navio foram amostrados os testemunhos dos furos 74, 76 e 96 da Mina Faria, F-12; números 32, 37 e 40 da Mina Chumbo, C-2; 12, 25 e 50 da Mina Antunes, A-12; e dos furos T-12-12 e T-6-59 da Mina Therezina.

Foram confeccionadas 86 lâminas delgadas dessas amostras seguindo-se sua descrição petrográfica e mineralógica.

Posteriormente, foram realizados estudos ópticos mais acurados, tais como: determinação dos índices de refração das granadas e de n_w dos carbonatos pelo método de imersão; determinação do ângulo $2V$ entre os eixos ópticos, ângulo entre as clivagens e ângulo entre direções cristalográficas e direções ópticas dos piroxênios, piroxenóides e olivinas, através da Platina Universal de Federov, a três eixos.

A difratometria de raios X foi utilizada rotineiramente, obtendo-se numerosos difratogramas comuns de agregados e de minerais individuais, coletados de amostra de mão por meio de broca à diamante, com controle óptico de lupa. Foram utilizados os aparelhos de difratometria "Philips Norelco 2 KVA" e "Geol

1KVA". Filmes especiais em câmaras "Debye-Scherer" e de "Guinier" possibilitaram a obtenção de dados cristalográficos necessários à correlação composição-propriedades dos diversos minerais. Para os carbonatos, foram efetuadas medidas de $d_{10.4}$ - $d_{10.2}$ e medidas de Δd_{104} com padrão interno de calcita (GOLDSMITH & GRAF, 1957). Para as granadas empregou-se método analítico para determinação de a_0 a partir de diagramas de pó.

Após cuidadosos estudos ópticos e roentgenográficos estabeleceram-se as principais paragéneses das quais foram selecionadas amostras para o estudo da composição química dos minerais através da microsonda eletrônica. As associações interessantes foram fotografadas indicando-se na foto e na secção de microsonda os minerais em equilíbrio, os quais seriam posteriormente analisados. Foram examinados os seguintes minerais: granadas, carbonatos, olivinas, piroxenóides e em alguns casos também clinopiroxênios, anfibólios e micas manganêsíferas, com respeito a Mg, Fe, Mn, Ca, SiO_2 , Al_2O_3 e outros elementos de amostras dos protominérios de Serra do Navio e de Buritirama.

A partir dos dados de microsonda eletrônica obtiveram-se gráficos de partição de elementos entre as fases coexistentes na mesma lâmina. Para isso, converteu-se a porcentagem em peso dos óxidos em porcentagem em peso dos cátions.

Utilizou-se a partição $\text{Ca}^{2+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ entre rodonita, piroxmangita, espessartita, clinofanfibólios e carbonatos coexistentes, assim como a relação $\text{Mn}^{2+} + \text{Ca}^{2+}/\Sigma$ cátions bivalentes entre tefroitas e carbonatos.

Os dados obtidos foram submetidos a cálculos estatísticos em computador.

Para as considerações referentes ao tipo de metamorfismo foram usados todos os dados de observação disponíveis e os dados de estudos termodinâmicos das reações concernentes às paragéneses encontradas. Constantes de equilíbrio para fases impu

ras, atividades dos componentes, pressão parcial de oxigênio, presença ou não de grafita ou óxidos de manganês, relação X_{CO_2} - X_{H_2O} na fase fluida, temperatura e pressão total foram levadas em consideração.

Estudos de inclusões fluidas em grãos de quartzo preservados entre diferentes minerais de manganês, utilizando platina aquecedora "Chaix-Meca" enriqueceram os dados de densidade crítica do CO_2 e as correlações entre temperatura e pressão nas paragens de Buritirama.

CAPÍTULO III

JAZIDA DE MANGANÊS DE BURITIRAMA

III - 1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DE BURITIRAMA

Os depósitos de manganês de Serra do Sereno, Serra de Buritirama e Azul, localizam-se na parte centro leste do Estado do Pará, numa região drenada pelo rio Itacaiunas, afluente ocidental do rio Tocantins, entre as coordenadas geográficas $5^{\circ}30'$ e $6^{\circ}06'$ S e $49^{\circ}32'$ e $50^{\circ}18'$ W Gr. (ANDERSON, DYER & TORRES, 1974) (Figura 1).

A região é caracterizada por planícies recobertas por florestas tropicais, numa altitude média da ordem de 250m. Ocasionalmente aparecem cristas alongadas com relevo de cerca de 100 a 200m, onde se destaca a região serrana que constitui a Serra dos Carajás cujo desnível é de 350 a 450m.

Os terrenos Pré-Cambrianos da Bacia do rio Itacaiunas fazem parte do chamado Craton do Guaporé, unidade cratonizada no ciclo Transamazônico. Esse ciclo é bem caracterizado na Serra dos Carajás, onde ocorrem rochas de ambiente possivelmente geosinclinal, representadas pelo Complexo Xingu e Grupo Grão Pará.

As rochas mais antigas da região, representadas por gnaisses e anfibolitos polimetamórficos, pertencem ao Complexo Xingu. (Figura 1).

O Grupo Grão Pará é formado na região da Serra dos Carajás, por uma seqüência metassedimentar, sobreposta discordantemente ao embasamento mais antigo. A litologia é representada por xistos, quartzitos e duas seqüências metavulcânicas básicas que contêm a formação ferrífera, denominadas de "seqüência paleovul-

Figura 1 - Mapa geológico da região de Serra dos Carajás. Localização e geologia regional da área, incluindo a região de Serra de Buritirama. Segundo GALEÃO DA SILVA *et al.*, 1974. Modificado: como em GOMES *et al.*, 1975.

cânica superior e inferior" e constituídas por metabasitos espezitizados.

TOLBERT *et al.* (1971) e GOMES *et al.* (1975) obtiveram para as rochas metavulcânicas afetadas pelo ciclo orogênico transamazônico, idades K/Ar em torno de 2 000 m.a.-Pré-Cambriano Médio.

Sobrepondo-se discordantemente às unidades do Grupo Grão Pará, existe uma seqüência sedimentar molassoide com espessura superior a 1.500m, constituída por rochas areníticas e conglomeráticas além de siltitos, folhelhos e calcários alternados, que pertence ao Grupo Uatumã. A parte superior dessa seqüência, designada por TOLBERT *et al.* (1971) por Membro Azul, contém os pelitos e calcários manganíferos primários que originaram o depósito do Azul. Essa seqüência contém depósitos de manganês semelhantes aos da Série Francevilliana, do Gabão. (VALARELLI, J.V. 1977).

Na região da Serra de Buritirama as rochas do embasamento (Complexo Xingu) são representadas por biotita gnaisses, hornblenda gnaisses e anfibolitos.

A seqüência metassedimentar que constitui o Grupo Grão Pará, inicia-se, nessa região, por um quartzito basal seguido por um pacote de xistos de litologia diversificada que contém os horizontes de protominérios manganíferos sílico-carbonáticos e camadas de quartzito. Esses horizontes foram oxidados e sofreram enriquecimento supérgeno originando os depósitos de manganês de Buritirama.

A Serra de Buritirama se estende rumo NW, a partir do rio Itacaíunas, por uma distância de 47 km. Nas proximidades desse rio, a Serra se divide em dois ramos, chamados respectivamente de Serras A e B, que são duas abas de um anticlinal. (Figura 2).

A Serra B que apresenta um relevo de 150 a 200m de altura, sustentado pelo quartzito basal, parcialmente sobreposto pelo minério de manganês supérgeno, possui as maiores ocorrências de manganês.

MAPA GEOLÓGICO DE B-5

Figura 2 - Mapa geológico da Serra de Buritirama - segundo ANDERSON, DYER & TORRES 1974.

A SE do rio Itacaiunas desaparece o quartzito responsável pelo relevo de Buritirama devido talvez a mudança faciológica, reaparecendo porém cerca de 65 km depois de maneira predominante, na Serra do Sereno. Essa Serra se estende na direção ENE, possuindo cerca de 45 km de comprimento, até 4 km de largura e um relevo máximo da ordem de 200m.

As mesmas feições litológicas e estruturais de Buritirama são encontradas na Serra do Sereno, sendo as ocorrências de manganês das duas serras consideradas do mesmo tipo genético (ANDERSON *et al.*, 1974).

As ocorrências de manganês dos dois ramos constituintes da Serra de Buritirama (A e B) são, na maior parte, corpos de formas lenticulares com extensões médias de 180m, sendo exceções as ocorrências B4 e B5 com extensões sensivelmente maiores. O corpo B4 apresenta três áreas mineralizadas, totalizando 3,3 km de comprimento. Na parte mediana da Serra B está localizada a maior ocorrência conhecida, corpo B5, Figura 3, que tem 1.400m de comprimento, 35 a 240m de largura (em planta) e 5 a 30m de espessura. Esse corpo desaparece a NW por acunhamento e a SE seu desaparecimento parece estar relacionado a falhamento (ANDERSON *et al.*, 1974). Na Figura 4 é mostrada uma seção transversal desse corpo e sua forma irregular que segundo esses autores é devida à perda de volume e conseqüente afundamento causados por processos de oxidação e de enriquecimento supérgeno. Essa seção mostra protominérios de manganês intemperizados, intercalados com micaxistos e quartzitos, todos com a mesma atitude geral N60W, 20-30° NE:

Material manganífero duro e maciço, com teores de 46 a 47% de Mn está limitado a uma zona superficial. Esse material gradua rapidamente para baixo a um material mais fino, friável, formado por óxidos de manganês e minerais de argila, que constitui o total do minério bruto (32-46% de Mn) até o nível mais baixo de intemperismo. A zona de ocorrência do protominério está situada abaixo desse nível, cerca de 60m de profundidade.

Zonas de xistos intemperizados, impregnados com óxidos

Figura 3 - Mapa geológico do corpo de minério B-5. Segundo ANDERSON, DYER & TORRES, 1974.

e óxidos hidratados de manganês, envolvem as concentrações lenticulares de minério ou são às vezes intercaladas com elas.

Minerais autigênicos do minério supêrgeno são: criptomelana, litioforita, nsutita e busserita (ou MnO_2 amorfo). Em protominérios intemperizados e em lama de sondagem do minério aparecem braunita e hausmanita como minerais reliquiais. Os principais minerais de ganga são: mica, clorita, minerais de argila, gibbsita, goethita e espessartita intemperizada. (ANDERSON *et al*, 1974).

III - 2 - ESTUDO DOS PROTOMINÉRIOS E ENCAIXANTES DE BURITIRAMA

III - 2 - 1 - GENERALIDADES

O depósito de manganês de Buritirama é composto por 9 afloramentos situados na Serra A e por 30 afloramentos na Serra B, os maiores sendo B4 e B5.

A partir do estudo mineralógico e petrográfico de amostras do corpo B5 (furos de sonda, 2, 5, 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16 e 22), Figura 3, obteve-se a maioria das informações a respeito da natureza e tipos de protominérios e das rochas encaixantes.

De uma maneira geral o protominério é constituído de mármore e xistos calcossilicatados manganíferos, e está encaixado em calco-mica xistos com intercalações de camadas de mármore.

Na Figura 4, seção geológica - 200 N do corpo B5, vêem-se protominérios e minérios intercalados nos micaxistos. O pacote de xistos contendo os protominérios está situado abaixo de um quartzito sacaróide e acima de quartzito sericítico com atitude geral N60W e mergulhos de 20-30°NE.

A alteração supêrgena atinge em média 60 m de profundidade.

FIG. 4

Figura 4 - Seção geológica 200 N do corpo de minério B-5 - Segundo ANDERSON, DYER & TORRES, 1974

dade. O protominério só pode ser estudado baseando-se em furos profundos e de localização favorável ou seja, furos que cortem lentes de protominério abaixo de 60m como B-5-10, B-5-22, B-5-14.

III - 2 - 2 - DESCRIÇÃO DE FUROS DE SONDA

A Figura 5 mostra os furos verticais B-5-9 e B-5-10 do perfil 200 N. Nesse perfil pode-se observar a natureza dos protominérios e suas relações com as encaixantes na zona de rochas frescas do furo B-5-10 e o caráter supérgeno do minério na zona intemperizada do furo B-5-9. O protominério de manganês sobrepõe-se a um calco mica-xisto com intercalações de mármore calcossilicático tendo como capa um calco xisto grafitoso que gradualmente passa para um hedembergita-granada-mica xisto.

III - 2 - 2 - 1 - Furo B5-10

Na parte mais profunda deste furo (99,5-115m) encontra-se um pacote onde intercalam-se faixas de calco-anfibólio-mica xistos e de mármore calcossilicáticos. As primeiras tem coloração cinza, composição e textura variáveis: leitos milimétricos de granulação fina e textura lepidoblástica (0,2-0,6 mm) formados por clinopiroxênio, flogopita e calcita (esta última granoblástica) e leitos onde predominam clinopiroxênios porfiroblásticos e poiquiloblásticos, parcialmente transformados em agregados de clinoanfibólios (tremolita), dolomita e serpentina e ocasionalmente epidoto. Os acessórios desses calco xistos são microclínio, apatita e magnetita. (Fotos 1 e 2).

As faixas de mármore possuem textura lepidoblástica e são formadas por carbonatos (40%), flogopita orientada (20-30%) e salita (~20%), apresentando também microclínio e clinoanfibólio

Figura 5 - Perfil litológico esquemático da zona intemperizada do furo de sonda B5-9 e da zona de rochas frescas do furo de sonda B5-10.

em quantidades subordinadas. Os carbonatos, mangano calcita e dolomita, juntamente com salita constituem às vezes leitos mais grosseiros (0,5-2,0mm). (Fotos 3 e 4).

Entre os níveis 98 e 99,5m, encontra-se mármore calcítico com orientação dada por concentrações de flogopita. Como acessórios existem granada e minerais opacos.

Acima dessa sequência, entre 98 e 89m, encontra-se um pacote de mármore contendo manchas, disseminações ou partes maciças (lembrando fragmentos) de minerais metálicos, constituídas essencialmente de braunita com quantidades subordinadas de hausmanita. As partes maciças contêm, em geral, pequenas inclusões de carbonato e flogopita. (Fotos 5 a 9).

Ainda são encontrados veios silicosos onde é comum a presença de feldspato potássico, barita e apatita, e veios formados por carbonato de granulação grosseira com flogopita ou manganofilita, ($2V \approx 40^\circ$). Veios submilimétricos de clinoanfíbólios e carbonatos cortam as partes opacas. (Foto 10).

Existem algumas zonas de transição entre os opacos e os veios silicáticos que são constituídas por massa granoblástica de ortoclásio englobando quartzo arredondado, albita (pequena quantidade) e também cummingtonita incolor passando a amarelada nas bordas. (Foto 10).

Os carbonatos da matriz e dos veios apresentam composições variáveis. Baseando-se em dados ópticos e roentgenográficos encontrou-se uma variação nos carbonatos de Mn-kutnahorita, (predominantemente Mg-kutnahorita) até Mn-calcita com 20% de $MnCO_3$. Dentro deste pacote ocorre uma intercalação métrica de mármore dolomítico de textura granoblástica brechóide, constituído essencialmente de Mn-dolomita e disseminações de minerais opacos, cortado por veios de carbonatos mais manganíferos posteriores associados a manganofilita. (Amostras: B5-10-94,3m; B5-10-96,80-96,95m).

Segue-se um pacote espesso, entre 89 e 72m, constituído por intercalações de rochas calcossilicatadas e mármore com teor de manganês de 6 a 9%.

As rochas calcossilicatadas dessa seqüência são orientadas, com textura granoblástica contendo concentrações variáveis de diopsídio, microclínio, flogopita e carbonato conforme os estratos. (Fotos 11 e 12). O microclínio possui inclusões de quartzo. Pode ser encontrado também feldspato alcalino homogêneo. A calcita possui inclusões de granadas de granulação muito fina. (Foto 12). Nessas rochas são ainda encontrados veios constituídos por associações de sericita, biotita, carbonato e barita - (Amostra B5-10-80,2 m).

As intercalações de mármore possuem uma quantidade de carbonato superior a 45% com textura granoblástica pavimentosa contendo inclusões de granadas de granulação fina. O carbonato está associado a flogopita.

São também observadas algumas lentes irregulares mais grosseiras (2-3mm) constituídas por rodonita, diopsídio, granada, flogopita, apatita, barita e opacos (amostra: B5-10-83,3 m). O carbonato encontrado é a calcita de uma maneira geral, existindo alguns leitos de kutnahorita.

A seguir, entre os níveis 60 e 70m, ocorre um pacote constituído por rochas calcossilicatadas inalteradas, ricas em hedembergita, biotita, granada, microclínio e quantidade subordinada de clinoanfibólio, titanita e turmalina, de textura granoblástica (Fotos 13, 14, 15 e 16), que gradua as rochas de textura lepidoblástica ricas em biotita contendo ainda microclínio e acessórios: turmalina e zoizita (Fotos 17 e 18). Em certos níveis a rocha tem textura granoblástica e é constituída predominantemente de diopsídio (67%) (Foto 31) com calcita e microclínio, tendo titanita como acessório comum. Em outros a textura é lepidoblástica e o diopsídio é menos abundante aparecendo muita flogopita, calcita, granada e clinoanfibólio (cummingtonita). Como acessórios aparecem: opacos, apatita e clorita (amostra: B5-10-62,3 m).

III - 2 - 2 - 2 - Furo B5-22

O furo B5-22 entre 50 e 60m cortou xistos alterados enriquecidos em óxidos de manganês que dificultam um estudo microscópico mais detalhado.

Entre 60 e 70m este furo atravessou o protominério de manganês que se constitui numa rocha mais ou menos homogênea, mármore de textura granoblástica com 40 a 80% de carbonato contendo ainda granada, piroxmangita, Mn-flogopita, (olivina, em alguns casos) e acessórios: clinopiroxênio, serpentina, pirofanita e opacos (Amostras: B5-22-64,3m -B5-22-65,8m -B5-22-67,1m) (Fotos 19, 20 e 21).

Em alguns casos a rocha apresenta granulação muito uniforme. Os minerais kutnahorita, piroxmangita e Mn-flogopita tem granulação entre 0,2-0,4mm, destoando somente as granadas mais finas (~0,01 mm); em outros, a piroxmangita forma porfiroblastos (2-10mm) as vezes serpentinizados, estando associada a olivina (0,2-0,4mm) e kutnahorita (0,1-0,3mm) com granada e pirofanita finas (0,01-0,03mm). (Amostra: B5-22-65,8m).

Alguns veios de 0,5-1mm constituídos de serpentina, sericita e opacos são vistos em certas lâminas.

III - 2 - 2 - 3 - Furo B5-14

O furo B5-14 atravessou o protominério entre 65 e 80m. Trata-se de uma sequência de calcoxistos com intercalações de mármore manganêsíferos. Nos níveis 80,8 e 78,8m existem olivinas mármore com carbonatos do tipo kutnahorita-rodocrosita que contêm inúmeras inclusões de granada fina perfazendo mais de 50% das lâminas.

Trata-se de rochas com textura granoblástica orientada (carbonatos e olivinas 0,2-1mm) com porfiroblastos isorientados

de olivina (3-8mm), contendo inclusões finas de carbonato e granada. Acessórios comuns são flogopita e piroxmangita. No nível 80,8m aparece alabandita disseminada e isolada em cristais de 0,5-2,0mm, ausentando-se mais acima no nível 78,8m. (Amostras: B5-14-78,8m e B5-14-80,8m).

Nas sequências superiores de mármore, nível 72m a olivina e os opacos desaparecem dando lugar a mármore de textura granoblástica orientada, de granulação uniforme (0,1-0,5mm) com kutnahorita (60%), Mn-flogopita (25%), granada (10%) e piroxmangita (5%). (Foto 22).

Acima, níveis 69,9m e 67,8m aparecem mármore de textura granoblástica orientada onde a piroxmangita pode constituir até 35% dos minerais presentes (kutnahorita, granada, restos de olivina serpentinizada), ocorrendo as vezes como porfiroblastos de 2-7mm. (Fotos 23, 24 e 30). Veios de piroxenóide, anfibólio, granada e carbonato, assim como faixas formadas por serpentina + barita + esfalerita atravessam as lâminas. (Amostra: B5-14-69,9m). Algumas vezes, Mn-flogopita predomina sobre piroxenóides (piroxmangita) constituindo 30% da lâmina, que apresenta textura granoblástica pavimentosa com 60% de carbonato (kutnahorita) possuindo ainda granada e opacos (espinélio?) como acessórios. (Foto 25).

Existem também algumas intercalações de mármore dolomítico, brancos com textura granoblástica, em que o piroxênio (diopsídio) toma o lugar dos piroxenóides manganíferos, contendo ainda anfibólio incolor (tremolita) e acessórios.

III - 2 - 3 - TIPOS DE PROTOMINÉRIOS

Em vista dos dados apresentados acima, os protominérios de manganês de Buritirama podem ser considerados numa primeira aproximação como mármore manganíferos mais ou menos silicáticos intercalados e/ou gradando para calco-xistos manganíferos.

O estudo petrográfico e mineralógico pormenorizado, no entanto, permite a descrição dos seguintes tipos de protominérios, alguns dos quais se distinguem pela originalidade de sua paragénese.

Mármorees calcosilicáticos

São rochas (Fotos 19, 20 e 21) constituídas principalmente por Mn-clinopiroxênios poiquiloblásticos, carbonatos com composição variando de Mn-calcita a Mn-kutnahorita e flogopita manganésifera. Ainda pode ser encontrado feldspato potássico como maior constituinte em algumas amostras.

Trata-se de rocha com textura granoblástica contendo teor de carbonato superior a 45%, o qual possui inclusões finas de granada.

Em veios, observa-se anfibólio de manganês substituindo os clinopiroxênios e a rocha apresenta-se ainda cortada por vênulas de clorita.

O pacote de calcoxistos, com intercalações de mármorees calcosilicáticos, contém teor de manganês variando entre 6 e 9% no furo B5-10.

Piroxmangita mármorees

São rochas (Fotos 22, 23 e 24) constituídas essencialmente de carbonato (kutnahorita) de granulação 0,2 a 0,4 mm e es pessartita mais fina (0,01mm) numa textura em mossaico, com porfiroblastos de piroxmangita de 2 a 10mm que apresentam geminação lamelar. Em alguns casos a piroxmangita pode constituir mais que 35% dos minerais presentes, estando associada a restos de olivinas serpentinizadas. Nessas rochas, o teor de carbonato encontrado é de 40%. Os porfiroblastos de piroxmangita apresentam-se também ocasionalmente serpentinizados. Em outros casos, a piroxman-gita juntamente com a kutnahorita e Mn-flogopita constituem uma rocha de granulação uniforme a menos das granadas mais finas.

Em algumas amostras desse protominério ainda são ob-

servados veios de 0,5 - 1mm, algumas vezes paralelos, de serpentina manganêsífera secundária. (Foto 22).

Braunita mármores

Nessas rochas, (Fotos 6,7,8,9,10,26 e 32), encontram-se massas e/ou disseminações de braunita intercrescidas com Mn-calcita, manganoofilita, feldspato potássico e clinofibrolito de manganês. Manchas de concentração de óxidos de manganês contêm minúsculas inclusões de manganoofilita e são separadas por material mais grosseiro constituído por manganoofilita e dolomita.

Nesses protominérios ainda são encontrados veios silicáticos onde aparecem rodonita, espessartita e quartzo, além de veios submilimétricos de clinofibrolitos e carbonatos.

Tefroita alabandita mármores

São Rochas (Fotos 27, 28 e 29), cujo carbonato varia em composição de kutnahorita a rodocrosita, com inclusões de granadas finas. A textura é granoblástica orientada, ocorrendo a tefroita como porfiroblastos com inclusões poiquilíticas finas de carbonato e granada. As dimensões dos porfiroblastos de olivina são de 2 a 3mm. Alabandita aparece tanto disseminada fina como sob a forma de cristais de 0,5 a 2,0mm.

Além desses minerais ainda é encontrada a esfalerita e como acessórios piroxena e hausmanita.

Os sulfetos de manganês foram constatados no nível 80,8 do furo de sonda B5-14, estando ausentes em níveis superiores a 78,8m.

Xistos calcossilicáticos

São rochas (Fotos 11 e 12) orientadas apresentando estratos com porcentagens variadas de Mn-flogopita ou manganoofilita, clinopiroxênio, espessartita e carbonato de manganês.

Ainda podem ocorrer nessas rochas: feldspato potássico,

pirrotita e barita. Clorita também pode ser encontrada, tendo se formado a partir da manganofilita.

Essas rochas apresentam textura granoblástica e/ou lepidoblástica dependendo da concentração dos minerais presentes nos estratos distintos.

Algumas amostras ainda apresentam clinoanfibólio incol^{or}, salita e carbonato em veios com feldspato potássico de baixa triclinicidade. Outras mostram orientação dada por concentrações de flogopita, apresentando também, além de carbonatos e granada, óxidos de manganês disseminados.

O carbonato de textura granoblástica pavimentosa contém inclusões de granadas finas e está associado à flogopita isorientada. São encontradas, ainda, lentes irregulares de agregados mais grosseiros (até 3mm) contendo essencialmente diopsídio, associado à granada, flogopita, apatita, barita e opacos.

III - 3 - MINERALOGIA DOS PROTOMINÉRIOS

Neste item serão descritas as principais propriedades dos minerais encontrados nos protominérios de manganês de Buritirama. Para a determinação destas propriedades vários métodos foram utilizados, destacando-se: difração de raios-X, óptica petrográfica, medidas de propriedades ópticas na Platina Universal de Federov, e análises químicas em microsonda eletrônica.

As texturas desses minerais acham-se descritas e ilustradas anteriormente. As associações além das descrições prévias, serão novamente discutidas no item V-1, "Condições de metamorfismo de Buritirama".

III - 3 - 1 - CARBONATOS

Medidas do índice de refração n_w , estudo de microsonda.

da e determinações de Δd_{104} , ou seja, $d_{104}(\text{calcita}) - d_{104}(\text{carbonato desconhecido})$, mostram que os carbonatos encontrados no protominério são quase que inteiramente compostos por MnCO_3 , CaCO_3 e MgCO_3 com pequenas quantidades de FeCO_3 . (menos que 1 mol %).

Os valores n_w medidos pelo método de imersão variaram de 1,675 a 1,780 enquanto que os valores de Δd_{104} , de 0,03 a 0,14.

A Tabela I contém análises de microsonda dos carbonatos de Buritirama em porcentagem em peso e em porcentagem molar dos componentes MnCO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 e FeCO_3 . A razão Ca/Mn apresenta grande variação em diferentes amostras, variando pouco porém entre grãos de uma mesma lâmina. A quantidade de Mg está relacionada com a razão Ca/Mn. Quanto maior a relação Ca/Mn, tanto menor é o conteúdo de Mg devido à substituição isomorfa do Ca pelo Mg.

Comparando-se as composições dos carbonatos encontrados no protominério, que pertencem ao sistema $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$ com os dados de GOLDSMITH & GRAF (1957) para o sistema MnCO_3 , CaCO_3 , nota-se que, acima de 500°C , a maioria deles está dentro da região de completa miscibilidade, que estende-se do CaCO_3 até $\text{Ca}_{0,42}\text{Mn}_{0,58}\text{CO}_3$. (Figura 6).

Em uma amostra foram encontrados carbonatos coexistentes com composições: $\text{Ca}_{0,19}\text{Mn}_{0,70}\text{Mg}_{0,11}\text{CO}_3$ e $\text{Ca}_{0,29}\text{Mn}_{0,60}\text{Mg}_{0,10}\text{CO}_3$, que se distribuem na região de duas fases imiscíveis dos dois lados do solvus à temperatura de 535°C do sistema puro $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3$. É possível no entanto que o conteúdo em Mg e Fe desses carbonatos faça com que o solvus do sistema Ca-Mn-Mg-Fe- CO_3 encontre-se à temperatura mais elevada, como será discutido adiante. (Figura 28).

III - 3 - 2 - PIROXMANGITA

Entre os piroxenóides manganíferos a piroxmangita é

TABELA 1 - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE CARBONATOS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

AMOSTRA Nº	Peso %				Mol. %			
	MnCO ₃	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃
B5-14-80,8 I	64,2	26,3	7,8	0,7	60,7	28,6	10,1	0,6
B5-14-80,8 II	64,4	25,7	7,5	0,7	61,5	28,1	9,8	0,6
B5-14-80,8 III	71,9	16,9	8,3	0,7	69,6	18,7	11,0	0,6
B5-10-80,2 I	19,1	77,2	2,6	0,2	17,1	79,5	3,2	0,2
B5-10-80,2 II	19,3	73,3	3,1	0,2	18,3	79,7	3,9	0,2
B5-10-80,2 III	16,3	82,8	1,3	nd	14,4	84,1	1,5	-
B5-10-92,0 I	20,8	78,3	1,9	nd	18,3	79,2	2,3	-
B5-10-92,0 II	20,1	82,1	1,1	nd	17,3	81,4	1,3	-
B5-10-97,8 II	11,7	90,3	0,4	nd	10,1	89,4	0,5	-
B5-14-67,1 I	50,4	38,9	8,3	0,7	47,1	41,7	10,6	0,6
B5-14-67,1 II	51,5	38,9	8,0	0,7	47,8	41,5	10,1	0,6
B5-14-69,9 I	45,2	47,5	5,8	0,7	41,8	50,3	7,3	0,6
B5-14-69,9 II	44,1	47,5	5,7	0,7	41,2	51,0	7,2	0,6
B5-14-72,0 I	52,4	37,4	3,2	0,7	48,3	39,6	11,6	0,6
B5-14-72,0 II	51,1	36,3	9,0	0,6	48,4	39,5	11,6	0,6
B5-14-72,0 III	52,0	35,7	9,0	0,6	49,1	38,7	11,6	0,6
B5-14-72,0 IV	52,1	36,5	9,1	0,6	48,7	39,2	11,5	0,6
B5-14-78,8 I	50,2	38,8	8,7	0,7	46,8	41,5	11,0	0,6
B5-14-78,8 II	49,1	40,5	8,6	0,7	45,5	43,0	10,8	0,6
B5-14-78,8 III	49,0	40,7	8,7	0,7	45,2	43,2	11,0	0,6
B5-14-78,8 IV	51,0	37,8	8,7	0,7	47,7	40,6	11,1	0,6
B5-22-64,6 I	39,8	53,3	6,6	0,6	36,0	55,3	8,1	0,5
B5-22-64,6 II	38,8	52,4	6,5	0,6	35,4	56,0	8,1	0,5
B5-22-64,6 III	38,0	53,8	6,5	0,6	35,3	56,0	8,1	0,5
B5-22-64,6 IV	39,0	52,0	6,5	0,6	35,7	55,6	8,1	0,6
B5-22-65,8 I	40,9	50,5	7,1	0,7	37,4	53,1	8,9	0,6
B5-22-65,8 II	41,2	51,2	6,7	0,7	37,5	53,5	8,3	0,6
B5-22-65,8 III	42,0	49,0	7,6	0,7	37,8	51,9	9,6	0,7
B5-22-65,8 IV	38,9	53,1	6,5	0,7	35,5	55,7	8,1	0,7

Figura 6 - Solução sólida no sistema CaCO_3 - MnCO_3 segundo GOLDSMITH & GRAF, 1957.

encontrada com mais frequência no protominério, ocorrendo sempre associada a carbonatos mais ricos em Mn o que pode ser visto nas Figuras 7 e 27 e Foto 30 entre outras. Foram efetuadas 27 medidas de propriedades ópticas, em seis lâminas delgadas que continham esse piroxenóide. A variação encontrada para o valor do ângulo axial $2V$ foi de $40,0^\circ$ a $47,0^\circ$. valores de $\gamma\Delta z$ variaram de $37,0^\circ$ a $43,0^\circ$ e o ângulo entre as clivagens (110) e (1T0) entre $89,5$ e $92,0^\circ$ (Tabela VIII).

A Tabela II contém os dados das análises de microsonda eletrônica de piroxmangitas. Dela constam porcentagem em peso de SiO_2 , MnO , CaO , MgO e FeO bem como número de ions com base em 3 oxigênios ($\text{M}^{2+}\text{SiO}_3$).

Pela análise da Tabela II e da Figura 7 ve-se que o conteúdo molar de CaSiO_3 nas piroxmangitas apresenta pouca variação enquanto que MnSiO_3 , FeSiO_3 e MgSiO_3 variam consideravelmente.

III - 3 - 3 - RODONITA

Ocorre em veios e também como mineral formador de rocha. (Foto 32).

Foram efetuadas sete medidas de propriedades ópticas através de Platina Universal sendo os dados apresentados na Tabela VIII. O ângulo axial $2V_z$ varia de $62,0^\circ$ a $64,0^\circ$; $\gamma\Delta z$ varia de $36,0^\circ$ a $40,0^\circ$ e os ângulos entre as clivagens (110) e (1T0) variam de $88,0^\circ$ a $91,5^\circ$.

As análises de microsonda eletrônica, Tabela II, mostram uma variação no seu conteúdo de CaSiO_3 de 9 a 11 mol % sendo que o conteúdo em MgSiO_3 e FeSiO_3 não excede 15 mol %.

Pela Figura 7 constata-se ainda que a rodonita é mais rica em Ca que a piroxmangita, coexiste com carbonatos mais ricos em cálcio, (Figura 7 e 27), e às vezes também com clinopiro-

Figura 7 - Diagrama triangular em porcentagem molar de (Mn)-(Ca)-(Fe+Mg) de carbonatos, rodonitas, piroxmangitas, clinopiroxênios e tefroitas de amostras de protominérios de manganês de Buritirama.

TABELA II - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE PIROXENÓIDES DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

AMOSTRA Nº	Peso %					Número de ions com base em 3 oxigênios				
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	FeO	Si	Mn	Ca	Mg	Fe
Piroxmangitas										
B5-14-80,8 III	47,71	44,52	1,09	5,73	0,95	1,00	0,79	0,03	0,18	0,02
B5-14-67,1 I	49,76	42,57	1,45	6,31	1,46	1,01	0,73	0,03	0,19	0,02
B5-14-67,1 II	48,18	42,66	1,47	6,49	1,34	1,00	0,75	0,03	0,20	0,02
B5-14-69,9 I	48,92	41,78	2,09	6,23	1,86	1,00	0,73	0,05	0,19	0,03
B5-14-72,0 I	49,53	42,40	1,43	6,88	1,34	1,00	0,74	0,03	0,21	0,02
B5-14-72,0 II	48,18	42,44	1,43	7,13	1,30	0,99	0,74	0,03	0,22	0,03
B5-14-72,0 IV	48,72	42,51	1,39	6,55	1,30	1,00	0,73	0,03	0,20	0,02
B5-14-78,8 II	48,19	42,88	1,57	6,75	1,28	0,99	0,75	0,03	0,21	0,03
B5-14-78,8 III	48,06	42,06	1,41	7,31	1,29	0,99	0,74	0,03	0,23	0,02
B5-14-78,8 IV	47,83	42,22	1,38	7,36	1,26	0,99	0,74	0,03	0,23	0,02
B5-22-64,6 II	52,62	30,17	1,70	14,98	1,62	1,01	0,49	0,03	0,43	0,03
B5-22-64,6 IV	52,75	30,41	1,61	14,50	1,65	1,01	0,49	0,03	0,43	0,03
B5-22-65,8 I	52,28	30,58	1,46	14,97	1,77	1,01	0,50	0,03	0,42	0,03
B5-22-65,8 II	50,10	41,18	1,72	6,82	1,84	1,01	0,70	0,04	0,21	0,03
B5-22-65,8 IV	50,21	41,37	1,94	6,44	1,94	1,01	0,71	0,04	0,19	0,02
Rodonitas										
B5-10-80,2 II	48,93	41,63	5,01	4,50	0,62	1,01	0,73	0,11	0,14	0,01
B5-10-92,0 I	46,84	42,99	4,83	4,15	0,05	0,99	0,77	0,11	0,13	0,01
B5-10-97,8 IV	48,51	45,02	6,00	1,61	0,15	1,01	0,79	0,13	0,05	0,00

xênio rico em manganês.

III - 3 - 4 - CLINOPIROXÊNIOS MANGANESÍFEROS

Ocorrem associados a rodonita e a carbonatos mais ricos em cálcio da série calcita-kutnahorita (Figura 7). Efetuaram-se 22 determinações ópticas em Platina Universal tendo sido encontradas as seguintes variações:

ângulo $2V$: de $50,0^{\circ}$ a $60,0^{\circ}$

ângulo entre γ e z : de $37,0^{\circ}$ a $40,0^{\circ}$

ângulo entre as clivagens (110) e (1T0): de $86,0^{\circ}$ a $94,0^{\circ}$.

Tabela VIII.

Pela Tabela III vemos que seu conteúdo em Fe e Mg é razoavelmente constante e que a razão Mn/Ca varia consideravelmente.

Análises feitas com raios-X, mostram padrão de difração quase indistinguível da johansenita.

III - 3 - 5 - TEFROITA

Aparece predominantemente como cristais poiquiloblásticos orientados às vezes com dimensões maiores que 3mm, englobando carbonatos, granadas e às vezes piroxenóides. (Fotos 27, 28 e 29).

Medidas em Platina Universal forneceram para 5 grãos, as seguintes variações:

Ângulo $2V_X$: de $62,0^{\circ}$ a $69,0^{\circ}$. As clivagens geralmente apresentaram-se mal definidas havendo variação nos ângulos de $86,0^{\circ}$ a $88,0^{\circ}$ (Tabela IX).

A Tabela IV apresenta as análises de microsonda das

TABELA III - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE CLINOPIROXÊNIO DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

AMOSTRA Nº	Peso %						
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	FeO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O
B5-10-80,2 I	53,00	14,93	15,62	14,90	1,02	0,23	0,24
B5-10-80,2 II	53,31	14,60	12,37	14,60	1,33	0,12	-
B5-10-97,8 II	53,69	13,25	19,42	13,66	0,17	0,10	-
B5-10-97,8 IV	54,07	11,37	20,43	14,36	0,12	0,07	-

Número de ions com base em 3 oxigênios

AMOSTRA Nº	Si	Mn	Ca	Mg	Fe	Al	Na
B5-10-80,2 I	1,00	0,24	0,32	0,42	0,02	0,01	0,01
B5-10-80,2 II	1,01	0,29	0,25	0,41	0,02	-	-
B5-10-97,8 II	1,01	0,21	0,39	0,38	-	-	-
B5-10-97,8 IV	1,01	0,18	0,40	0,40	-	-	-

TABELA IV - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE TEFROITAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

		Peso %					
AMOSTRA Nº		SiO ₂	MnO	CaO	MgO	FeO	ZnO
B5-14-80,8	I	30,68	59,37	0,06	6,24	3,49	nd
B5-14-80,8	II	30,90	59,37	0,08	6,38	3,42	nd
B5-14-80,8	III	31,64	58,98	0,07	6,73	3,55	nd
B5-14-78,8	I	31,56	54,16	0,06	9,98	4,46	0,16
B5-14-78,8	II	30,96	54,41	0,07	9,70	4,72	0,12
B5-14-78,8	III	31,29	54,00	0,07	9,98	4,63	0,21
B5-14-78,8	IV	31,02	53,40	0,06	9,49	4,58	0,22

Número de ions com base em 4 oxigênios

AMOSTRA Nº		Si	Mn	Ca	Mg	Fe	Zn
B5-14-80,8	I	0,99	1,61	-	0,30	0,09	-
B5-14-80,8	II	0,99	1,60	-	0,31	0,09	-
B5-14-80,8	III	1,00	1,60	-	0,31	0,09	-
B5-14-78,8	I	0,99	1,42	-	0,46	0,12	-
B5-14-78,8	II	0,98	1,42	-	0,45	0,12	-
B5-14-78,8	III	0,98	1,41	-	0,46	0,12	0,01
B5-14-78,8	IV	0,97	1,42	-	0,45	0,12	0,01

olivinas: além de Mn_2SiO_4 , as tefroitas também apresentam 15 mol % de Mg_2SiO_4 (forsterita) e pequena quantidade de Fe_2SiO_4 (faialita) e de Ca_2SiO_4 (larnita).

Nas análises de raios-X, o teor de forsterita é detectado, observando-se um deslocamento considerável nas reflexões, no sentido de valores mais baixos de $d_{(hkl)}$ do que os da tefroita pura (Mn_2SiO_4).

A tefroita é mineral comum tanto nos protominérios de Buritirama como em outros protominérios carbonáticos de manganês de Serra do Navio e de Lafaiete. Em todos os casos ela deve ser denominada de picrotefroita segundo alguns autores (CASTRO, 1960).

III - 3 - 6 - ANFIBÓLIOS MANGANESÍFEROS

Esses minerais são geralmente formados em partes da rocha onde a pressão parcial de água foi alta. Podem ser classificados como cummingtonita rica em Mn ou como uma danemorita rica em Mg. (Foto 7). Também foram observados anfibólios manganesíferos da série tremolita-actinolita (amostra B5-10-92,0m).

Estudos ópticos de anfibólios forneceram valores do ângulo axial $2V_x$ próximos de 85° . São minerais incolores, raramente apresentando cor amarela. Geminação polissintética também foi observada em alguns anfibólios. De maneira geral, sua formação parece ser relacionada a alteração de piroxenóides e piroxênios associados a veios carbonáticos.

A ação de fases hidrotermais pegmatíticas é sugerida pela presença de veios de quartzo dentro dos micaxistos situados a NE das ocorrências manganesíferas.

Em Buritirama conforme a variação dos teores de Ca, Mg, Fe, Mn, Al_2O_3 e H_2O pode-se prever a formação de clinopiroxênios normais ao lado da rodonita (Mn, Ca, Fe) SiO_3 (ABRECHT & PETERS, 1975), carbonatos e minerais hidratados tais como anfibólios e flogopitas (VALARELLI & CROSTA, 1977).

Os dados de microsonda eletrônica dos anfibólios analisados acham-se apresentados na Tabela V.

III - 3 - 7 - GRANADAS

A granada encontrada nos protominérios de Buritirama é a espessartita, usualmente com pequenas proporções de grossularia, piropo, almandina e andradita. Os dados de microsonda eletrônica dessas granadas encontram-se na Tabela VI.

Elas ocorrem intimamente associadas a carbonatos como pequenas inclusões nesses minerais ou ainda muitas vezes ocorrem como hospedeiros de fragmentos carbonáticos. (Fotos 19 a 21, 25 e 30).

Granadas de granulação grosseira estão geralmente associadas a partes mais ricas em piroxenóides.

Medidas dos índices de refração forneceram valores entre 1,817 e 1,790 indicando tratar-se do membro final espessartita.

Estudos de raios-X forneceram variação do parâmetro da cela unitária entre 11,570 e 11,634 Å, confirmando os dados acima.

III - 3 - 8 - FLOGOPITA MANGANESÍFERA

Flogopita de manganês é uma fase hidratada comum em grande parte das associações estudadas. (Fotos 8, 11, 12, 19, 20, 22, 23, 24 e 25). Ocorre como placas possuindo fórmula pleocrômica: X = castanha clara; Y = rosada ou castanha pálida; Z = amarela esverdeada. Seu ângulo axial $2V_x$ tem um valor aproximado de 35° .

TABELA V - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE ANFIBÓLIOS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

		Peso %							
AMOSTRA Nº		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	TiO ₂	Na ₂ O
B5-10-92,0	II	56,87	0,06	11,19	21,99	5,83	-	-	0,34
B5-14-69,9		56,43	0,06	0,85	20,06	18,70	2,41	-	0,05
B5-22-64,6	I	54,38	0,19	0,92	19,46	19,94	2,17	-	0,08
B5-22-64,6	IV	56,36	0,14	0,91	19,44	19,14	2,17	-	-

Número de ions com base em 23 oxigênios

AMOSTRA Nº		Si	Al	Ca	Mg	Mn	Fe	Ti	Na
B5-10-92,0	II	7,99	0,01	1,68	4,60	0,69	-	-	0,09
B5-14-69,9		8,03	0,01	0,13	4,25	2,25	0,29	-	0,01
B5-22-64,6	I	7,92	0,03	0,14	4,22	2,46	0,26	-	0,02
B5-22-64,6	IV	7,99	0,02	0,14	4,18	2,30	0,26	-	-

TABELA VI - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE ESPESSARTITAS DE PROTOMINÉRIOS
DE Mn DE BURITIRAMA

		Peso %						
AMOSTRA Nº		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	FeO	TiO ₂
B5-14-80,8	I	36,99	21,24	40,62	1,06	0,72	1,13	0,07
B5-14-80,8	II	36,64	21,27	40,41	1,54	0,75	0,76	0,31
B5-10-80,2	I	37,39	18,92	34,92	4,66	1,80	3,30	nd
B5-10-92,0	I	36,95	22,63	34,03	4,55	2,61	0,84	0,40
B5-14-72,0	I	36,95	21,21	38,20	1,90	1,54	1,11	0,20
B5-14-72,0	II	37,49	21,16	37,73	2,23	1,34	0,89	0,53
B5-14-72,0	IV	37,78	21,13	38,60	1,66	1,19	1,13	nd
B5-14-78,8	I	37,67	21,29	39,27	2,00	1,14	1,03	0,28
B5-22-64,6	I	37,76	21,19	38,20	2,16	1,26	1,03	0,33
B5-22-64,6	II	37,67	21,17	38,29	2,18	1,18	1,02	0,21
B5-22-64,6	III	37,54	21,18	37,94	2,26	1,23	1,03	nd
B5-22-65,8	I	37,36	21,24	38,66	2,12	1,06	1,19	nd
B5-22-65,8	V	38,04	21,28	38,27	2,10	1,09	1,25	nd

Número de ions com base em 12 oxigênios

AMOSTRA Nº		Si	Al	Mn	Ca	Mg	Fe	Ti
B5-14-80,8	I	2,98	2,02	2,77	0,09	0,09	0,08	-
B5-14-80,8	II	2,96	2,03	2,77	0,13	0,09	0,05	0,02
B5-10-80,2	I	3,03	1,81	2,39	0,40	0,22	0,22	-
B5-10-92,0	I	2,90	2,09	2,26	0,42	0,30	0,05	0,02
B5-14-72,0	I	2,98	2,01	2,61	0,16	0,18	0,07	0,01
B5-14-72,0	II	3,01	2,00	2,56	0,19	0,16	0,06	0,03
B5-14-72,0	IV	3,02	1,99	2,61	0,14	0,14	0,08	-
B5-14-78,8	I	2,98	2,00	2,63	0,17	0,13	0,07	0,03
B5-22-64,6	I	3,01	1,99	2,58	0,19	0,15	0,07	0,02
B5-22-64,6	II	3,00	2,00	2,60	0,19	0,14	0,07	0,01
B5-22-64,6	III	3,01	2,00	2,57	0,19	0,15	0,07	-
B5-22-65,8	I	2,99	2,00	2,62	0,18	0,13	0,08	-
B5-22-65,8	V	3,02	1,99	2,58	0,18	0,13	0,08	-

A Tabela VII mostra análises de microsonda eletrônica de mangano flogopitas. Ve-se que seu conteúdo em Mn varia muito pouco nas diferentes amostras e seu conteúdo de Fe, que é muito baixo quando comparado ao teor de Mg, varia bastante. Encontrou-se, em seis amostras analisadas, variação de 0,29 a 4,41, na porcentagem em peso do FeO. A porcentagem em peso de MgO varia de 21,73 a 23,84 e a de MnO de 3,42 a 6,17. Na mesma tabela, observa-se que a substituição de Na^+ por K^+ é pequena. A flogopita manganêsífera foi classificada como manganofilita.

III - 3 - 9 - MINERAIS METÁLICOS

Os minerais metálicos foram estudados opticamente, por difração de raios-X e submetidos ao estudo químico semi-quantitativo na microsonda eletrônica.

Nos protominérios constituídos por mármore com braunita, este mineral (braunita) aparece macroscopicamente em abundância apresentando um aspecto de fragmentos maciços com até 10 cm cortados e/ou envolvidos por massas de carbonato+manganofilita+clinoanfíbolio manganêsífero. (Fotos 10 e 26). Microscopicamente, a braunita contém inclusões desses minerais. (Fotos 6, 7, 8 e 9). Seu conteúdo em SiO_2 é aproximadamente constante podendo ser representada pela fórmula ideal $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$.

A substituição de Mn^{3+} por Fe^{3+} e Al^{3+} na primeira parte da fórmula assim como a de Mn^{2+} por Ca^{2+} e Mg^{2+} na sua segunda parte é muito pequena.

A alabandita geralmente ocorre como grãos xenomórficos contendo um pouco de Fe^{2+} e traços de Mg^{2+} substituindo o manganês na estrutura. Foi encontrada em apenas uma amostra analisada (furo B5-14), associada ao acessório pirrotita, numa rocha contendo rodocrosita, tefroita e espessartita.

Esfalerita ocorre como um acessório disseminado e contém Fe e Mn em pequenas proporções substituindo o Zn. Ao micros

TABELA VII - ANÁLISES DE FLOGOPITAS MANGANESÍFERAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

AMOSTRA Nº		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Peso % MgO	MnO	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
B5-10-80,1	I	39,41	12,97	0,051	21,73	3,96	4,41	10,20	0,04	2,08
B5-10-92,0	V	39,10	13,37	-	22,25	7,85	0,29	10,12	0,09	0,69
B5-10-94,5	I	39,17	14,29	-	21,93	6,17	0,33	10,16	0,07	0,55
B5-14-67,1	I	39,16	13,78	-	23,45	4,11	2,00	8,72	0,49	0,52
B5-14-72,0	III	39,15	13,27	-	23,84	3,56	1,74	8,34	0,40	0,84
B5-22-64,6	II	39,34	12,60	0,04	23,46	3,42	2,14	9,19	0,19	1,39

Número de ions com base em 22 oxigênios

AMOSTRA Nº		Si	Al	Ca	Mg	Mn	Fe	K	Na	Ti
B5-10-80,1	I	5,74	2,23	0,01	4,73	0,47	0,54	1,89	0,01	0,23
B5-10-92,0	V	5,74	2,31	-	4,87	0,98	0,04	1,90	0,03	0,08
B5-10-94,5	I	5,76	2,48	-	4,82	0,77	0,04	1,90	0,02	0,06
B5-14-67,1	I	5,74	2,38	-	5,13	0,51	0,25	1,63	0,14	0,06
B5-14-72,0	III	5,76	2,30	-	5,23	0,44	0,21	1,68	0,11	0,03
B5-22-64,6	II	5,79	2,19	0,01	5,15	0,43	0,26	1,73	0,05	0,13

cópio apresenta cor vermelha, sendo facilmente confundida com pirofanita (MnTiO_3) que constitui acessório comum nos protominérios. Análises de microsonda de pirofanita mostram que ela contém também pequenas quantidades de CaO e de FeO .

Hausmanita constitui um acessório raro encontrado no protominério constituído por mármore com braunita. Análise de microsonda constatou 5 mol % de Fe_2O_3 em sua composição.

TABELA VIII - DADOS ÓPTICOS DE PIROXENÓIDES E CLINOPIROXÊNIO DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA						
AMOSTRA Nº		Sinal Óptico	2V _γ	Clivagem (110/110)	γAz	Mineral
B5-10-51,4	1	B ⁺	52,0°	92,5°	40,0°	Clinopiroxênio
B5-10-51,4	2	B ⁺	52,5°	93,0°	30,0°	Clinopiroxênio
B5-10-51,4	3	B ⁺	55,0°	92,0°	38,0°	Clinopiroxênio
B5-10-51,4	4	B ⁺	61,0°	93,5°	35,0°	Clinopiroxênio
B5-10-51,4	5	B ⁺	54,0°	91,0°	21,0°	Clinopiroxênio
B5-10-51,4	6	B ⁺	50,0°	94,0°	37,0°	Clinopiroxênio
média			54,1°	92,6°	33,5°	
B5-10-89,6	1	B ⁺	62,0°	88,0°	40,0°	Rodonita
B5-10-89,6	2	B ⁺	63,0°	88,0°	38,0°	Rodonita
B5-10-89,6	3	B ⁺	61,0°	91,0°	38,0°	Rodonita
B5-10-89,6	4	B ⁺	60,0°	91,5°	40,0°	Rodonita
média			61,5°	89,6°	39,0°	
B5-10-92,0	1	B ⁺	52,0°	93,5°	38,0°	Clinopiroxênio
B5-10-92,0	2	B ⁺	56,0°	92,0°	38,5°	Clinopiroxênio
B5-10-92,0	3	B ⁺	51,0°	90,5°	36,0°	Clinopiroxênio
B5-10-92,0	4	B ⁺	51,0°	91,5°	32,0°	Clinopiroxênio
B5-10-92,0	5	B ⁺	54,0°	-	40,0°	Clinopiroxênio
média			52,8°	91,9°	36,9°	
B5-14-67,1	1	B ⁺	45,0°	94,0°	32,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	2	B ⁺	43,0°	91,0°	37,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	3	B ⁺	48,0°	92,0°	42,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	4	B ⁺	44,0°	91,5°	36,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	5	B ⁺	41,0°	88,0°	48,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	6	B ⁺	52,0°	-	54,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	7	B ⁺	50,0°	-	-	Piroxmangita
B5-14-67,1	8	B ⁺	54,0°	91,0°	48,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	9	B ⁺	43,0°	88,0°	36,0°	Piroxmangita
B5-14-67,1	10	B ⁺	47,0°	90,0°	50,0°	Piroxmangita
média			46,7°	90,7°	42,5°	
B5-14-69,9	1	B ⁺	45,0°	92,0°	47,0°	Piroxmangita
B5-14-69,9	2	B ⁺	45,0°	94,0°	32,0°	Piroxmangita
B5-14-69,9	3	B ⁺	42,0°	89,0°	40,0°	Piroxmangita
B5-14-69,9	4	B ⁺	39,0°	93,0°	38,0°	Piroxmangita
B5-14-69,9	5	B ⁺	44,0°	-	-	Piroxmangita
B5-14-69,9	6	B ⁺	40,0°	87,0°	31,0°	Piroxmangita
B5-14-69,9	7	B ⁺	40,0°	90,0°	40,0°	Piroxmangita
média			42,1°	90,8°	38,0°	
B5-14-72,0	1	B ⁺	42,0°	92,0°	43,0°	Piroxmangita
B5-14-72,0	2	B ⁺	42,0°	93,0°	39,0°	Piroxmangita
B5-14-72,0	3	B ⁺	42,0°	91,0°	43,0°	Piroxmangita
B5-14-72,0	4	B ⁺	43,0°	89,0°	39,0°	Piroxmangita
B5-14-72,0	5	B ⁺	38,0°	96,0°	56,0°	Piroxmangita
média			41,4°	92,2°	44,0°	
B5-14-78,8	1	B ⁺	43,5°	92,5°	39,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	2	B ⁺	44,0°	90,0°	44,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	3	B ⁺	45,0°	88,0°	35,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	4	B ⁺	40,0°	90,0°	46,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	5	B ⁺	40,0°	88,0°	34,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	6	B ⁺	43,0°	88,0°	45,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	7	B ⁺	53,0°	91,0°	40,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	8	B ⁺	51,0°	90,0°	46,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	9	B ⁺	51,0°	89,5°	45,0°	Piroxmangita
B5-14-78,8	10	B ⁺	37,0°	90,0°	44,0°	Piroxmangita
média			44,8°	89,7°	41,8°	

TABELA IX - DADOS ÓPTICOS DE OLIVINAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE BURITIRAMA

AMOSTRA Nº		Sinal Óptico	2V α	Clivagem	Mineral
B5-14-69,9	1	B ⁻	69,0 ⁰	-	Tefroita
B5-14-78,8	1	B ⁻	58,0 ⁰	86,0 ⁰	Tefroita
B5-14-78,8	2	B ⁻	66,0 ⁰	87,0 ⁰	Tefroita
B5-14-78,8	3	B ⁻	65,0 ⁰	86,0 ⁰	Tefroita
B5-14-78,8	4	B ⁻	62,0 ⁰	88,0 ⁰	Tefroita
Média			62,7 ⁰	86,8 ⁰

Foto 1-Calco xisto. Partes em que a rocha apresenta granulação mais grosseira com macrocristais de clinopiroxênios com inclusões poiquilíticas de carbonato e flogopita associado a carbonato e flogopita. Amostra B5-10(505) 113,64-113,69m. N.descruzados, X 35.

Foto 2-Calco xisto. Associação de microclínio, calcita, tremolita e salita. Rocha de textura granoblástica e nematoblástica com clinopiroxênio parcialmente tremolitizado ao lado de calcita e microclínio. Amostra B5-10(507) 109,13-109,16. N.descruzados. X 88.

FOTO 3-Mármore calcossilicático. Rocha de textura lepidoblástica constituída por salita, flogopita orientada e carbonatos (Mn calcita e às vezes dolomita). Amostra B5-10-108,90m. N. descruzados, X 35.

FOTO 4- Mármore calcossilicático. Leitos mais grosseiros com textura granoblástica, onde ocorre clinopiroxênio (salita) associado a carbonato e tremolita. Amostra B5-10-108,90m. N. descruzados, X 35.

FOTO 5-Protominério carbonático de manganês-Braunita Mármore. Partes pretas são constituídas por braunita (e hausmanita), com aspecto de fragmentos (brechas) e manganofilita. Zonas de coloração parda são formadas por inter crescimentos de Mn-calcita e flogopita, contendo também algum óxido de man ganês. Zonas de coloração rosada são constituídas por rodonita bem crista lizada, com cristais de até 7mm com inclusões de carbonatos. Amostra B5-10 (501)-92,00-92,09 m.

FOTO 6-Protominério de manganês-Braunita Mármore. Faixa de braunita com inclu sões de carbonato em contato discordante com mármore calcítico (às vezes dô lomítico) de textura granoblástica. O mármore é constituído por calcita (dô lomita) e piroxenóide (rodonita). Amostra B5-10-95,5m.N.descruzados, X 35.

FOTO 7-Protominério carbonático de manganês. Braunita mármore. Mármore (calcíticos e às vezes dolomíticos) com flogopita e clinoanfíbólio (tremolita). Clinoanfíbólios crescendo dentro dos carbonatos. À direita - carbonatos e clinoanfíbólios. À esquerda - mármore. Em cima - braunita (e hausmanita) re cristalizada. Amostra B5-10-95,5m. N. descruzados, X 35.

FOTO 8-Protominério carbonático de manganês. Braunita Mármore. Associação de carbonato (Mn-calcita) braunita e hausmanita, flogopita, rodonita e plagioclásio. Braunita intercrescida granoblasticamente com os demais minerais. Amostra B5-10-90,7m. N. descruzados, X 88.

FOTO 9- Protominério de manganês. Braunita mármore. Associação de granada, clinoanfíbólio, plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, rodonita e braunita (disseminada e disposta em leitos). Amostra B5-10-91, 1m. N. descruzados, X 88.

FOTO 10-Protominério de manganês. Braunita mármore. Partes de coloração preta: braunita e hausmanita intercrescidas com manganofilita e carbonato fino. Essas zonas possuem manchas claras formadas por clinopiroxênios, feldspato, clinoanfíbólio e carbonatos. Zonas róseas são constituídas por rodonitas (cristais de 1 a 4mm). No contato entre rodonita e opacos temos clinopiroxênios finos. Partes de coloração parda constituídas por clinopiroxênios finos (0,2-0,4mm). Faixa de coloração cinza clara, situada à esquerda da foto, é formada por granada, flogopita e quartzo. Faixa de coloração branca rosa da situada à direita da foto é constituída por quartzo, feldspato e barita. Amostra B5-10(504)-92, 10-92, 16m.

FOTO 11-Rocha calcossilicática com textura granoblástica. Associação de grnada, flogopita, calcita, tremolita e diopsídio tendo como acessório apatita. Amostra B5-10-87,9m. N. descruzados, X 88.

FOTO 12- Rocha calcossilicática. Associação de calcita, tremolita, diopsídio, granada e flogopita. Textura granoblástica. Amostra B5-10-87,9m. N. descruzados, X 88.

FOTO 13-Rocha calcossilicática. Rocha de textura granoblástica com carbonato (calcita), clinopiroxênio (hedembergita) e microclínio, tendo como acessório, titanita. Amostra B5-10-69,6m. N. descruzados, X 35.

FOTO 14-Rocha calcossilicática de textura grano-nematoblástica com granadas (que se apresentam extintas), carbonato (calcita), hedembergita e clinoanfibólio. Amostra B5-10-69,9m. N. cruzados, X 35.

FOTO 15-Rocha calcossilicática de textura granoblástica. Associação de carbonato (calcita), plagioclásio, granada e tremolita, tendo como acessório comum a titanita. Amostra B5-10-67, 1m. N. descruzados, X 35.

FOTO 16-Rocha calcossilicática. Textura granoblástica com porfiroblastos de clinopiroxênio. Associação de carbonato (calcita), hedembergita, microclínio e como acessório a titanita (macrocristal escuro). A hedembergita ocorre ora como cristais pequenos, ora como porfiroblastos. Amostra B5-10-69, 6m. N. descruzados, X 88.

FOTO 17-Contato entre rocha xistosa e calcosilicática. A parte xistosa apresenta textura lepidoblástica e constitui-se essencialmente de biotita e microclínio. Subordinadamente ocorrem turmalina e quartzo. A parte calcosilicática contém grande quantidade de diopsídio ao lado de microclínio, granada, carbonato (calcita), quartzo e titanita, mostrando textura granoblástica. Amostra B5-10-62,3m. N. descruzados, X 35.

FOTO 18-Detalhe da parte calcosilicática da foto anterior. Associação de diopsídio, microclínio, calcita e granada. Titanita ocorre como acessório. Amostra B5-10-62,3m. N. descruzados, X 35.

FOTO 19-Protominério de manganês. Mármore calcossilicático. Associação de carbonato (Mn-calcita-Mn-kutnahorita), granadas de diferentes tamanhos, manganofilita e pirofanita (como acessório). A manganofilita encontra-se também incluída nos carbonatos. Textura granoblástica. Amostra B5-22-67, lm. N. descruzados, X 35.

FOTO 20-Protominério de manganês. Mármore calcossilicático. Associação de carbonato (Mn-calcita-Mn-kutnahorita) com textura em mosaico, manganofilita ligeiramente serpentinizada e granada. A granada se encontra incluída no carbonato e na manganofilita, e apresenta granulação mais fina que os outros minerais. Acessório, apatita. Amostra B5-22-67, lm. N. descruzados, X 35.

FOTO 21-Protominério de manganês. Mármore calcossilicático. Associação de carbonato (kutnahorita), granada, piroxmangita, manganofilita e opacos. Rocha de textura granoblástica e granulação relativamente uniforme a menos das granadas que são mais finas. Amostra B5-22-64,3m. N.descruzados, X 35.

FOTO 22-Protominério de manganês. Piroxmangita mármore. Mármore constituído por carbonato (kutnahorita) com textura em mosaico, piroxmangita porfiroblástica com inclusões poiquilíticas de granada e carbonato, manganofilita e granadas de granulação fina. Veio de serpentinização corta o piroxenóide e os carbonatos. Amostra B5-14-72,0m. N. descruzados, X 35.

FOTO 23-Protominério de manganês. Piroxmangita mármore. Mármore constitui-se do por carbonato (kutnahorita), mangano-filite orientada e granadas finas, com textura granoblástica orientada, em contato com porfiroblastos de pirox mangita com inclusões de carbonato e mangano-filite. Amostra B5-14-67,8m. N.cruzados, X 35.

FOTO 24-Idem, foto anterior. Amostra B5-14-67,8m. N.descruzados, X 35.

FOTO 25-Protominério de manganês. Mármore de textura granoblástica, constituído por carbonato (kutnahorita), espessartita e manganofilita, tendo como acessório titanita e esfalerita. Faixas em que a manganofilita predomina sobre a piroxmangita. Amostra B5-14-69,9m. N. descruzados, X 35.

FOTO 26-Protominério de manganês. Braunita mármore. Rocha com zoneamento de finido pela concentração de minerais diferentes. Zonas brancas e branco acinzentadas são constituídas por veios de quartzo grosseiro. Zonas pretas são formadas por braunita e hausmanita. Zonas róseas: cristais grandes de rodonita com algum quartzo e braunita em seu interior. A faixa cinza escura localizada no extremo esquerdo da foto é constituída por carbonato (calcita, às vezes, dolomita) e clinopiroxênios. As zonas de separação entre os opacos e a rodonita é formada por Mn-flogopita, Mn-calcita, clinoanfibólio e clinopiroxênio. Amostra B5-10 (506) 96,80-96,95m.

FOTO 27a-Protominério de manganês. Tefroita mármore. Mármore constituído por carbonato (kutnahorita-rodocrosita) com textura em mosaico, incluindo grana das finas, onde a tefroita aparece como porfiroblasto com inclusões poiquilíticas de carbonato e granada. Amostra B5-14-78,8m. N.des cruzados, X 35.

FOTO 27b-Idem, foto anterior. Amostra B5-14-78,8m. N. cruzados, X 35.

FOTO 28-Protominério de manganês. Tefroita mármore. Olivina porfiroblástica com inclusões poiquilíticas de carbonato e granada fina, associada a carbonato (kutnahorita-rodocrosita), piroxmangita, granada e manganofilita. A granada possui granulação mais fina que os demais minerais. Amostra B5-14-78,8m. N. descruzados, X 88.

FOTO 29-Protominério de manganês. Tefroita mármore. Carbonato (kutnahorita-rodocrosita) com textura em mosaico englobando granadas finas. Destacam-se os porfiroblastos de tefroita com inclusões de carbonato e granada. Opacos também são observados. Amostra B5-14-78,8m. N. descruzados, X 35.

FOTO 30-Protominério de manganês. Piroxmangita mármore. Porfiroblasto de piroxmangita, com inclusões poiquilíticas de carbonato e granada, em contato com olivina. A olivina (tefroita) também possui inclusões de carbonato e granada. Amostra B5-14-67, 1m. N. cruzados, X 88.

FOTO 31-Rocha calcossilicática. Clinopiroxênio (diopsídio) com inclusões de carbonato (calcita) e granada, apresentando geminação polissintética, associada à granadas (extintas), carbonato e microclínio. Textura granoblástica. Amostra B5-10-67, 1m. N. cruzados, X 88.

FOTO 32-Protominério de manganês. Braurita mármore. Porfiroblasto de rodo
nita sendo cortada ou englobando opacos (braunita e hausmanita) associado
a carbonatos (Mn-calcita), biotita e microclínio. Amostra B5-10-89,6m.
N.cruzados, X 88.

CAPÍTULO IV

JAZIDA DE MANGANÊS DE SERRA DO NAVIO

IV - 1 - ASPECTOS GEOLÓGICOS DE SERRA DO NAVIO

Os depósitos de Manganês de Serra do Navio estão localizados na parte este da Bacia Amazônica, no centro do Território Federal do Amapá, às margens do rio Amapari, a cerca de 1° de latitude norte e 52° de longitude este (SCARPELLI, 1963, 1968 e 1973, do qual a maioria dos dados deste tópico foram obtidos).

A região de Serra do Navio é uma das mais acidentadas de todo o território sendo recoberta por florestas densas. Suas elevações máximas, no entanto, não ultrapassam 360 m.

No Distrito de Serra do Navio são distinguidos três níveis de erosão estando o inferior situado ao redor da cota de 100 m.

O Distrito é parte do escudo Pré-Cambriano das Guianas que nessa região é composto principalmente por gnaisses, contendo ainda em menor quantidade anfibolitos, xistos e quartzitos além de pegmatitos e veios de quartzo (Figura 8).

As rochas mais antigas da região são constituídas por gnaisses polimetamórficos Pré-Cambrianos, predominantemente leucocráticos, contendo quartzo, microclínio, com ou sem oligoclásio e biotita, possuindo zonas ricas em hornblendas escuras geralmente paralelas à foliação.

Sobrepondo-se concordantemente aos gnaisses mais antigos, está a Série Amapá (denominação estratigráfica local) correspondente ao Grupo Vila Nova que começa por anfibolitos do Grupo Jornal, localmente com lentes de xistos, gnaisses e quartzitos.

tos.

Esses anfibolitos são heterogêneos apresentando variações consideráveis, na textura e composição mineralógica, mesmo a pequenas distâncias, sendo constituídos principalmente por hornblenda verde seguida por andesina-oligoclásio. Em quantidades menores são encontrados quartzo, magnetita, titanita, diopsídio, tremolita, carbonato e sulfetos. O quartzo ocorre também em veios.

SCARPELLI (1973) admite a possibilidade de que os anfibolitos sejam derivados de uma seqüência heterogênea de rochas, pela ocorrência das intercalações de quartzitos, gnaisses e biotita xistos de foliação concordante.

Segundo esse autor, as evidências de campo não permitem conclusões quanto à origem dos anfibolitos, entretanto, existem indícios de que pelo menos parte da seqüência anfibolítica seja de origem sedimentar constatada pelas intercalações de quartzitos. Por outro lado, alguns gnaisses intercalados possuem uma textura reliquiar tipicamente porfirítica indicando origem ígnea.

Análises químicas realizadas por HERZ & BANERJEE (1973) nos anfibolitos de Serra do Navio permitiram concluir que a origem ígnea é a mais provável.

Sobre os anfibolitos, existe uma nova seqüência de metassedimentos da Série Amapá, Grupo Serra do Navio, composta de quartzitos, xistos e camadas ricas em carbonato, unidades essas que se alternam num padrão relativamente cíclico repetido ao menos três vezes.

Essas unidades são divididas em três fácies distintas que contêm basicamente a mesma composição mineral, porém em porcentagens diferentes e que controlam a localização dos protominérios de manganês.

A fácies quartzítica é composta por camadas silicosas ricas em quartzo e plagioclásio, de granulação fina, com pequenas intercalações de rochas calcossilicatadas contendo minerais

tais como, diopsídio, tremolita, titanita ou mesmo hornblenda.

A fácies biotítica é representada por biotita xisto de granulação mais grosseira que as outras duas unidades, devido a recristalização mais intensa. Essa unidade é muito aluminosa e rica em minerais tipicamente produzidos por metamorfismo de sedimentos pelíticos, como: almandina, sillimanita, andalusita, biotita e cordierita.

A fácies grafitosa apenas se distingue das outras duas por sua alta concentração em grafita. Algumas vezes apresenta granulação fina, alto conteúdo em quartzo e acamamento bem preservado, assemelhando-se ao da fácies quartzítica. Outras vezes apresenta maior semelhança com a fácies biotítica, possuindo granulação mais grosseira, boa foliação e planos de acamamento pouco reconhecíveis.

Os protominérios de manganês ocorrem na parte superior da fácies grafitosa, como lentes de extensão e espessuras variáveis. Existem dois tipos de protominérios: protominério carbonático que ocorre na parte imediatamente superior à fácies grafitosa e protominério silicático no contato entre o protominério carbonático e os xistos encaixantes.

Ocasionalmente o protominério é associado as outras duas fácies, porém representando ocorrências menores (constituídas por lentes de apenas alguns decímetros de espessura).

A este do Distrito (SCARPELLI, 1966) ocorre uma intrusão granítica sintectônica encaixada no pacote de xistos do Grupo Serra do Navio da Série Amapá, ocupando o alto de uma dobra anticlinal. É formada por um granito leucocrático de granulação média a grossa e às vezes pegmatóide. A orientação das micas e os planos de cisalhamento conferem a esse corpo uma xistosidade incipiente.

Ocorrem ainda localmente no Distrito alguns pegmatitos, veios de quartzo, diques de diabásio e pequenos veios hidrotermais.

Estruturalmente, a região de Serra do Navio é pouco conhecida devido a escassez de afloramentos e a presença de rochas idênticas em diversos níveis da coluna estratigráfica o que dificulta as correlações laterais.

As dobras variam de abertas a fechadas, mergulhando a NW e SE com ângulos variando de pequenos a moderados, tendo seus planos axiais mergulhando a NE. Localmente se tornam isoclinais com os flancos paralelos mergulhando para NE.

Os depósitos de Manganês da região foram formados por enriquecimento secundário de protominérios carbonáticos e silicáticos que ocorrem no Grupo Serra do Navio.

Os principais minerais de minério são essencialmente: criptomelana, polianita e pirolusita e subordinadamente a litioforita (VALARELLI, 1967, 1975).

IV - 2 - ESTUDO DOS PROTOMINÉRIOS E ENCAIXANTES DE SERRA DO NAVIO

IV - 2 - 1 - GENERALIDADES

Normalmente os protominérios de manganês de Serra do Navio são referidos como: a) protominério carbonático ou mármore manganífero e, b) protominério granatífero, algumas vezes designado de "gondítico" ou sílico carbonático (SCARPELLI, 1963, 1968, 1973).

No capítulo referente aos aspectos geológicos de Serra do Navio foi vista de maneira geral a relação entre esses protominérios e as rochas encaixantes de acordo com SCARPELLI, 1963, 1968, 1973.

Os perfis das Figuras 9 e 10 são os que melhor representam as estruturas e as relações entre protominérios e encaixantes.

Nota-se na Figura 9 (secção C₂-14+20) que o protominério carbonático é como que capeado por protominério granatífero, ambos apresentando-se como lentes de dimensões variáveis intercaladas nos xistos encaixantes.

As lentes de protominério carbonático apresentam, de maneira geral, espessuras maiores que as de protominério granatífero, e constituem o principal protominério de manganês alcançando em média um teor de 30% de Mn. O protominério granatífero contém de 5 a 20% de Mn.

IV - 2 - 2 - DESCRIÇÃO DE FUROS DE SONDA

IV - 2 - 2 - 1 - Furo C-2-37

O furo 37 da jazida C-2 atingiu uma profundidade de 135 m, e cortou um pacote espesso de xistos encaixantes (Figura 9) até 80 m constituídos essencialmente de biotitas orientadas, sillimanita além de quartzo, plagioclásios, anfibólios, granadas, cloritas e opacos (Fotos 33 e 34).

Importante é a presença de sillimanita em grande quantidade em algumas amostras em forma de cristais fibrosos - (fibrolita), assim como a presença de cordierita (Fotos 34, 35, 36, 37, 38).

Em alguns casos foi constatada andalusita frequentemente em transformação, para sillimanita (Foto 39). Em alguns casos ela sofre alteração restando apenas cristais sericitizados, muitas vezes somente com o núcleo inalterado (Amostra C-2-37-99). Andalusita ocorre também preservada dentro de cristais de granada (Fotos 40 e 41).

A porcentagem relativa dos minerais mencionados varia de acordo com a profundidade. Foram observadas amostras cons

Figura 9 - Perfil geológico da jazida C-2 - Seção 14+20 - ICOMI - 1965 - Escala 1:1000 com redução de 38,5%

tituídas por grande quantidade de quartzo e feldspato em detrimento de minerais micáceos e amostras em que estes minerais predominam ao lado de sillimanita e grande quantidade de opacos finos.

Amostras situadas mais próximas ao contato com o protominério, apresentam porfiroblastos de granada em quantidade considerável (Fotos 40 e 41).

Acima do pacote de xistos, entre os níveis 80 m e 65m, aproximadamente, o furo 37 corta uma lente de mármore manganífero capeado no topo e na base por protominério sílico carbonático. A rocha sílico carbonática é constituída essencialmente de granada (espessartita) com uma quantidade relativa de 60 a 80%, ao lado de quartzo, anfibólio, carbonato, piroxenóides e/ou tefroita. Outro constituinte principal é a grafita, que ocorre disseminada por toda a rocha, e acessórios como apatita e pirofanita.

Os carbonatos apresentam textura granoblástica em mosaico podendo também aparecer com granulação fina e mal cristalizados principalmente dentro de granadas. Estas constituem, na maioria das vezes, porfiroblastos incluindo grafita e carbonatos finos, aparecendo também como cristais pequenos com muito pouca inclusão, ou mesmo sem nenhuma. Piroxenóides e olivinas são também encontrados como porfiroblastos distribuídos de maneira uniforme por toda rocha.

Os mármore manganíferos cortados pelo furo 37 são rochas de textura granoblástica contendo essencialmente carbonatos ao lado de espessartita, tefroita e grafita disseminada na massa de carbonatos. Em menor quantidade ocorrem piroxenóides e acessórios como anfibólios, pirofanita e sulfetos (Fotos 42 e 43).

Como no caso anterior, a granada contém grande quantidade de carbonato fino disseminado. Os carbonatos das amostras estudadas apresentam-se bem cristalizados com textura em mosaico, salvo carbonatos finos "incluídos" em granadas. As olivinas e piroxenóides apresentam-se como porfiroblastos. Os piroxenóides

foram também, em alguns casos, constatados em veios. Veios de sericita proveniente da alteração de piroxenóides também foram observados. Esta rocha constitui o principal protominério de manganês pelo seu alto teor, 30% Mn.

IV - 2 - 2 - 2 - Furo C-2-40

O furo 40 da jazida C₂ atinge uma seqüência de rochas xistosas que constituem as encaixantes de protominério.

Trata-se de rochas orientadas, constituídas principalmente de biotita, sillimanita, quartzo e em alguns casos de cordierita ao lado de granadas às vezes poiquiloblásticas. Como acessórios são comuns turmalina, apatita e titanita (Amostras C-2-40-84 m e C-2-40-66m) (Fotos 44, 45, 46 e 47).

Nesse mesmo pacote existem ainda intercalações de rochas calcossilicáticas constituídas por faixas alternadas de diferentes granulações, possuindo em sua maior parte quartzo situado em faixas de granulação mais grosseira, ao lado de porfiroblastos de granada, podendo ocorrer ainda epidoto, anfibólios, clinopiroxênios, flogopita e localmente carbonatos (Fotos 48 e 49). Nas faixas de granulação mais fina ocorrem epidoto, muscovita e prehnita, além de opacos finos e clorita. Os cristais de epidoto às vezes aparecem cortados por veios de prehnita (Amostra C-2-40-72 m). A titanita ocorre como acessório sendo que vários cristais estão sofrendo alteração apresentando-se rodeados por opacos finos.

Acima da seqüência de xistos e rochas calcossilicáticas, o furo de sonda atravessa uma lente de rochas formadas principalmente por porfiroblastos de granada (espessartita) ao lado de feldspatos, grafita, anfibólios e biotita, tendo como acessórios: apatita, pirofanita, titanita e alanita com uma textura granoblástica (Amostra C-2-40-55 m).

O mármore manganífero cortado por este furo (Figura 9) é constituído principalmente por carbonatos com textura em mosáico, granadas porfiroblásticas ou como cristais menores, sempre poiquiloblásticas com inclusões de carbonato, tendo como acessório constante a grafita (Fotos 50, 51).

Ocorrem ainda olivina, ora como pequenos cristais, ora como porfiroblastos incluindo carbonato e opacos (Fotos 50, 51, 52, 53); rodonitas localizadas em contato com as olivinas e em alguns casos clorita em veios. É comum a presença de clorita dentro de granada. Pirofanita e apatita ainda ocorrem como acessórios.

Acima dessas rochas existe uma seqüência de xistos com intercalações calcossilicáticas seguidas por uma lente com uma espessura de 10 m de protominérios granatíferos.

IV - 2 - 2 - 3 - Furo F-12-76

A Figura 10 mostra uma secção da Jazida F-12 onde se pode ver lentes mais espessas de protominério carbonático intercaladas com lentes de protominério silicático, assim como sua alteração a minérios de manganês.

O furo 76 dessa jazida atingiu espessa zona de protominério carbonático entre os níveis 86 e 135 m, cujas amostras foram estudadas em detalhe (vide dados de microsonda).

Os principais minerais encontrados nessa rocha são: carbonatos com textura em mosáico; granadas às vezes porfiroblásticas incluindo carbonatos finos; tefroitas ora porfiroblásticas poiquiloblásticas, englobando carbonatos, ora como cristais pequenos, ao lado de Mn-flogopita em quantidades variáveis de amostra para amostra. Piroxenóides de manganês são minerais comuns em muitas amostras às vezes em contato com tefroitas. Em alguns casos são também poiquiloblásticos englobando carbonatos. Ainda podem ocorrer anfibólios, pirofanita e opacos finos (grafi

Figura 10 - Perfil geológico da jazida F-12 - Seção 7+60 - ICOMI - 1965 - Escala 1:1000 com redução de 38,5%

ta) (Fotos 54, 55, 56, 57). Em algumas amostras é notável a quantidade de pirofanita, disposta em faixas inclusive dentro de granadas, ocorrendo ao lado de Mn-flogopita (Fotos 58 e 59). (Amostra F-12-76-117). A grafita encontra-se disseminada por toda a rocha (Fotos 54, 55, 58).

Em algumas amostras os cristais de carbonato mostram-se relativamente alongados e orientados conferindo a rocha uma textura granoblástica orientada (Amostra F-12-76-94,8 m) (Foto 56).

Amostras dessa sequência foram bem caracterizadas como protominérios de manganês carbonáticos.

IV - 2 - 2 - 4 - Outras Amostras

Foram também estudadas em detalhe amostras dos furos 74 da Jazida F-12, além da Jazida A-12 (Furos 12, 48, 25 e 50) e Jazida T₆ - furo 59, de grande semelhança na composição das rochas encaixantes bem como na dos protominérios já descritos, o que mostram as Fotos 60 a 66.

IV - 2 - 3 - TIPOS DE PROTOMINÉRIO

Com base nestes estudos, pode-se concluir que de maneira genérica existem dois tipos de protominérios em Serra do Navio - carbonático e granatífero.

O protominério carbonático (Fotos 42, 43, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59) ou mármore manganífero é formado essencialmente por Ca-kutnahorita-Ca-rodocrosita (carbonato) ao lado de espessartita, tefroita e grafita. Em menor quantidade ocorrem piroxenóides manganíferos e acessórios como anfibólios, biotita, feldspato potássico e sulfetos.

O protominério granatífero (ou sílico-carbonático, ou queluzito) possui um alto conteúdo de espessartita ao lado de quartzo, clinoanfibólio e grafita que constituem os principais minerais. Podem ainda ser encontradas quantidades variáveis de acessórios como carbonato, titanita, biotita, clinopiroxênio, pirofanita e sulfetos.

IV - 3 - MINERALOGIA DO PROTOMINÉRIO

Neste tópico serão descritas as propriedades dos minerais constituintes dos protominérios de manganês carbonático e granatífero, que foram determinadas através de técnicas de raios X, petrografia óptica, análises em Platina Universal de Federov e técnicas de microsonda eletrônica.

As descrições texturais e as paragêneses desses minerais, além de terem sido descritas e ilustradas anteriormente, serão objeto de novas considerações no item referente às condições de metamorfismo.

IV - 3 - 1 - CARBONATOS

Os carbonatos encontrados nos protominérios de Serra do Navio (Fotos 43, 44, 51, 52, 54, 56) pertencem à série Ca-kutnahorita-Ca-rodocrosita.

Os dados de composição química dos carbonatos determinados através da microsonda eletrônica encontram-se na Tabela X que fornece dados de porcentagem em peso e em porcentagem molar dos componentes detectados - MnCO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 e FeCO_3 .

Na mesma tabela, assim como na Figura 11 observa-se que a razão Ca/Mn é aproximadamente constante em uma mesma amostra, apresentando porém grande variação em diferentes furos.

TABELA X

ANÁLISES DE MICROSSONDA DE CARBONATOS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

AMOSTRA Nº	Peso %				Mol %			
	MnCO ₃	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃
C2-37-81,1 I	47,62	45,77	5,30	0,42	44,16	48,75	6,70	0,38
C2-37-81,1 II	48,13	44,20	6,20	0,43	44,70	47,10	7,80	0,40
C2-37-81,1 III	46,40	46,53	5,95	0,41	42,80	49,30	7,50	0,40
C2-37-81,1 IV	45,54	46,83	5,42	0,57	41,80	51,30	6,50	0,40
C2-37-81,1 V	50,29	42,69	5,54	0,39	46,90	45,70	7,00	0,40
C2-37-81,1 VI	46,68	46,00	5,49	0,57	43,40	49,10	7,00	0,50
C2-40-53,5 I	39,30	55,90	4,50	0,50	36,14	57,99	5,41	0,46
C2-40-53,5 II	39,10	56,20	4,50	0,48	35,92	58,24	5,40	0,43
C2-40-53,5 III	38,90	56,90	4,10	0,56	35,70	58,88	4,91	0,50
C2-40-53,5 IV	36,40	59,70	4,10	0,35	33,26	61,54	4,89	0,32
C2-40-53,5 V	40,20	54,40	4,90	0,54	37,05	56,56	5,89	0,49
C2-40-53,5 VI	40,40	54,90	4,90	0,68	36,93	56,61	5,84	0,62
F12-76-94,8 I	67,75	16,53	8,57	5,32	65,34	18,31	11,26	5,09
F12-76-94,8 II	69,19	14,83	9,02	5,39	66,61	16,40	11,84	5,15
F12-76-94,8 IV	68,43	16,19	8,52	5,32	65,86	17,89	11,17	5,08
F12-76-122 I	70,06	15,63	9,91	3,21	66,91	17,15	12,90	3,04
F12-76-122 II	69,66	16,99	8,90	2,60	67,00	18,77	11,67	2,56
F12-76-122 III	69,29	18,24	8,85	2,58	66,05	19,96	11,50	2,49
F12-76-122 IV	69,29	18,24	8,85	2,59	66,05	19,96	11,50	2,49
F12-76-111,7 I	70,45	15,23	9,45	2,12	68,40	17,05	12,51	2,05
F12-76-111,7 III	69,94	15,81	9,33	2,07	67,99	17,65	12,36	2,00
F12-76-111,7 IV	70,66	15,13	3,53	2,15	68,50	16,84	12,60	2,07
F12-76-111,7 V	71,20	15,15	9,43	2,15	68,74	16,80	12,41	2,06
F12-76-117 I	63,77	28,54	6,82	1,92	58,80	30,70	8,70	1,80
F12-76-117 IV	58,44	31,56	6,67	1,46	55,53	34,44	8,65	1,39
F12-76-117 V	56,05	35,31	6,06	1,43	52,73	38,15	7,78	1,34
F12-76-117 VI	54,63	36,63	5,72	1,41	51,59	39,72	7,36	1,32
F12-76-117 VII	61,59	28,78	7,07	1,66	58,10	31,20	9,10	1,60
T12-12-90,5 I	69,69	21,30	6,57	1,18	66,83	23,46	8,59	1,12
T12-12-90,5 III	67,36	21,36	7,93	1,22	64,82	23,61	10,41	1,17
T12-12-90,5 IV	69,21	20,51	7,82	1,27	66,11	22,50	10,19	1,21
T12-12-90,5 VI	68,08	21,24	7,93	1,28	65,11	23,33	10,34	1,21

Figura 11 - Diagrama triangular em porcentagem molar de (Mn)-(Ca)-(Fe+Mg) de carbonatos, rodonitas, piroxmangitas e tefroitas de amostras de protominério de manganês de Serra do Navio.

de sonda e em diferentes minas. A quantidade de Mg e Fe dos carbonatos está relacionada à razão Ca/Mn; quanto maior essa relação menor o conteúdo de (Fe + Mg) dos carbonatos.

Além desses dados foram feitas medidas do índice de refração n_w variando entre 1,72 e 1,78 e determinação de $\Delta d_{104} =$ (0,14 a 0,06) em estreita correlação com os dados de microsonda.

IV - 3 - 2 - PIROXENÓIDES

Dois tipos de piroxenóides, rodonita (Foto 42) e piroxmangita (Fotos 54, 55, 58) foram encontrados nos protominérios de Serra do Navio.

A piroxmangita é encontrada mais frequentemente e como pode ser observado pelas Figuras 11 e 27 é associada a carbonatos mais ricos na molécula $MnCO_3$.

Em três lâminas delgadas foram realizadas dezoito determinações de propriedades ópticas da piroxmangita tais como medida do ângulo 2V entre os eixos ópticos, medida do ângulo entre as clivagens (110) ($1\bar{1}0$) e medida do ângulo entre direções ópticas e direções cristalográficas ($\gamma\Lambda z$).

Para o ângulo axial 2V obteve-se uma variação média de 42,7 a 43,0°; o ângulo entre as clivagens variou de 89,6° a 90,8° (média) e o valor médio do ângulo entre o índice de refração maior γ e a direção cristalográfica Z variou de 43,0° a 44,0° (Tabela XVI).

Dados ópticos das rodonitas foram obtidos em várias secções delgadas. De uma maneira geral, o valor do ângulo axial 2V variou de 60,0° a 64,0°, o ângulo entre o índice γ e o eixo Z, de 34,0° a 40,0° e os ângulos entre as clivagens de 88,0° a 93,0°.

A porcentagem em peso dos componentes SiO_2 , MnO , CaO ,

MgO e FeO, obtidos por microsonda eletrônica, de piroxmangitas e rodonitas, bem como os dados relativos ao número de íons com base em três oxigênios, estão na Tabela XI. Observa-se que o conteúdo de CaSiO_3 das piroxmangitas não ultrapassa a 3,5 mol%, enquanto que para as rodonitas o mais baixo teor de CaSiO_3 é de 7 mol%.

Na Figura 11 vemos que a rodonita coexiste com carbonatos mais ricos em cálcio e a piroxmangita com carbonatos mais ricos na molécula MnCO_3 .

Ainda com base na Tabela XI constata-se que o teor de $\text{FeSiO}_3 + \text{MgSiO}_3$ das piroxmangitas varia de 12 a 27 mol% sendo, portanto, maior que para as rodonitas.

Nos protominérios de Serra do Navio não foram encontrados clinopiroxênios coexistentes com rodonita.

IV - 3 - 3 - TEFROITAS

A tefroita além dos carbonatos é o mineral mais comum nos protominérios carbonáticos de manganês. Aparece na maioria das vezes como porfiroblastos englobando outros minerais principalmente carbonatos (Fotos 42, 50, 51, 52, 53, 55, 57).

Dados ópticos de Platina Universal para as tefroitas são apresentados na Tabela XVII.

A variação média obtida para o ângulo $2V$ foi de $51,3^\circ$ a $60,1^\circ$ e os ângulos entre as clivagens muitas vezes mal definidas variaram de $87,5^\circ$ a $91,6^\circ$.

Dados de microsonda eletrônica de tefroitas (Tabela XII) mostram que ao lado de manganês, encontram-se quantidades apreciáveis de magnésio e ferro dependendo da composição dos carbonatos coexistentes, relação que também pode ser vista na Figura 11.

TABELA XI - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE PIROXENÓIDES DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

		Peso %					Número de ions com base em 3 oxigênios				
AMOSTRA Nº		SiO ₂	MnO	CaO	MgO	FeO	Si	Mn	Ca	Mg	Fe
Piroxmangitas											
F12-76-111,7	II	49,96	43,20	0,96	5,02	2,53	1,02	0,75	0,02	0,15	0,04
F12-76-117	II	47,71	43,08	1,26	5,12	3,25	1,00	0,76	0,03	0,16	0,06
F12-76-117	IV	49,05	43,62	1,17	5,10	2,90	1,01	0,76	0,03	0,16	0,05
F12-76-117	V	48,75	44,17	1,27	4,85	3,09	1,00	0,77	0,03	0,15	0,05
F12-76-117	VI	48,85	44,19	1,29	4,74	3,04	1,00	0,77	0,03	0,14	0,05
F12-76-117	VII	48,32	44,79	1,21	4,59	2,87	1,00	0,78	0,03	0,14	0,05
T12-12-90,5	I	48,97	46,27	1,07	3,77	1,78	1,01	0,81	0,02	0,12	0,03
T12-12-90,5	III	47,87	47,55	1,17	2,76	1,59	1,01	0,85	0,03	0,09	0,03
T12-12-90,5	IV	48,44	46,56	1,09	3,40	1,73	1,01	0,82	0,02	0,11	0,03
T12-12-90,5	VI	48,16	46,96	1,24	3,36	1,69	1,00	0,83	0,03	0,10	0,03
Rodonitas											
C2-37-81,1	I	48,43	45,94	3,31	3,20	0,89	1,00	0,81	0,07	0,10	0,02
C2-37-81,1	II	48,06	46,14	3,02	3,42	0,90	1,00	0,81	0,07	0,11	0,02
C2-37-81,1	III	48,38	45,24	3,24	3,41	0,99	1,00	0,80	0,07	0,11	0,02
C2-37-81,1	IV	48,70	46,64	3,27	3,18	0,71	1,00	0,81	0,07	0,10	0,01
C2-37-81,1	V	48,72	45,93	3,04	3,24	1,24	1,00	0,80	0,07	0,10	0,02
C2-40-53,5	I	47,32	44,39	3,50	3,38	1,28	1,00	0,79	0,08	0,11	0,02
C2-40-53,5	III	47,52	44,05	3,52	3,46	1,43	1,00	0,79	0,08	0,11	0,03
C2-40-53,5	IV	47,69	43,97	3,40	3,58	1,65	1,00	0,79	0,08	0,11	0,03
C2-40-53,5	VI	47,95	43,61	4,01	3,50	1,58	1,00	0,77	0,09	0,11	0,03

TABELA XII - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE TEFROITAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

		Peso %					Número de íons com base em 4 oxigênios				
AMOSTRA Nº		SiO ₂	MnO	CaO	MgO	FeO	Si	Mn	Ca	Mg	Fe
C2-37-81,1	I	31,54	59,95	0,10	5,32	4,57	1,00	1,62	-	0,25	0,12
C2-37-81,1	II	30,99	59,59	0,13	5,89	4,50	0,99	1,61	-	0,28	0,12
C2-37-81,1	IV	31,57	58,88	0,09	6,39	4,05	1,00	1,58	-	0,30	0,11
C2-37-81,1	V	31,45	60,58	0,13	6,65	3,76	0,99	1,62	-	0,29	0,10
C2-37-81,1	VI	31,47	58,01	0,11	5,62	6,34	1,00	1,56	-	0,27	0,17
C2-40-53,5	I	31,07	56,38	0,07	6,16	6,20	1,00	1,54	-	0,30	0,17
C2-40-53,5	II	30,89	57,63	0,09	5,86	5,34	1,00	1,58	-	0,28	0,14
C2-40-53,5	III	31,28	58,18	0,10	5,90	5,31	1,00	1,58	-	0,28	0,14
F12-76-94,8	I	30,92	46,13	0,07	3,85	20,25	0,99	1,27	-	0,19	0,55
F12-76-94,8	II	30,91	45,44	0,05	4,24	20,38	1,00	1,24	-	0,20	0,55
F12-76-94,8	IV	30,18	46,20	0,06	3,86	19,99	0,99	1,28	-	0,19	0,55
F12-76-122	I	31,11	52,12	0,05	5,01	12,66	1,00	1,42	-	0,24	0,34
F12-76-122	II	31,12	51,74	0,07	5,58	12,55	1,00	1,40	-	0,27	0,34
F12-76-122	III	31,04	51,71	0,06	5,60	12,42	1,00	1,41	-	0,27	0,33
F12-76-122	IV	31,09	52,20	0,10	5,95	12,10	0,99	1,41	-	0,28	0,32
F12-76-111,7	I	30,61	55,16	0,09	4,93	8,96	1,00	1,52	-	0,24	0,24
F12-76-111,7	III	31,45	53,80	0,08	5,55	8,92	1,01	1,47	-	0,27	0,24
F12-76-111,7	IV	31,34	54,03	0,07	5,76	9,19	1,00	1,47	-	0,27	0,25
F12-76-117	IV	31,25	53,98	0,07	5,69	10,08	1,00	1,46	-	0,27	0,27
F12-76-117	VII	30,10	62,15	0,06	0,45	9,33	1,00	1,73	-	0,02	0,26

Nas olivinas, as relações $(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}) / \text{Mn}^{2+}$ e $\text{Fe}^{2+} / (\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ são maiores que nos carbonatos e piroxenóides coeexistentes, ao mesmo tempo, as porcentagens de Ca_2SiO_4 (larnita) nessas tefroitas é muito baixa.

IV - 3 - 4 - ESPESSARTITA

A espessartita é encontrada principalmente nos protominérios queluzíticos, podendo porem aparecer em grandes quantidades nos protominérios carbonáticos. Espessartita ocorre como cristais grandes poiquiloblásticos ou pequenos, sendo que os maiores possuem muita inclusão de grafita e carbonato fino disseminado (Fotos 43, 50, 51, 53, 54, 55, 58, 59).

Os resultados das análises por microsonda eletrônica das granadas acham-se tabelados (Tabela XIII). Nessa tabela verifica-se que o conteúdo do componente espessartita é muito alto, cerca de 90%, possuindo em menores quantidades os componentes grossularia, almandina e piropo.

As quantidades de grossularia e almandina estão relacionadas à composição dos carbonatos coeexistentes; o conteúdo de piropo é aproximadamente constante o que indica que seu limite de solução sólida foi atingido.

Medidas de índices de refração assim como o estudo de raios X com medidas de parâmetros da cela das granadas confirmam dados de microsonda eletrônica (Tabela XIII).

IV - 3 - 5 - FLOGOPITA MANGANESÍFERA

Essa flogopita é um mineral muito comum em amostras que possuem carbonatos ricos em magnésio (Fotos 54, 55, 56, 57, 58, 59). Medidas ópticas forneceram ângulo entre os eixos op

TABELA XIII - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE ESPESSARTITAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

AMOSTRA Nº		Peso %							Número de ions com base em 12 oxigênios						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MnO	MgO	FeO	TiO ₂	Ti	Si	Al	Ca	Mn	Mg	Fe
C2-37-81,1	I	37,34	20,74	1,91	40,26	0,59	0,82	n.d.	-	3,01	1,97	0,16	2,75	0,07	0,06
C2-37-81,1	II	37,47	21,22	1,73	40,69	0,61	0,66	n.d.	-	2,99	2,00	0,15	2,75	0,07	0,04
C2-37-81,1	V	37,63	20,62	1,78	40,47	0,63	0,58	n.d.	-	3,02	1,95	0,15	2,75	0,07	0,04
C2-40-53,5	I	36,63	20,86	2,51	38,36	0,61	0,88	n.d.	-	2,99	2,01	0,22	2,65	0,07	0,06
C2-40-53,5	V	36,95	21,27	1,88	39,14	0,64	1,09	n.d.	-	2,98	2,02	0,16	2,68	0,08	0,07
F12-76-122	I	37,31	21,64	1,15	39,03	0,66	2,21	n.d.	-	2,99	2,04	0,10	2,64	0,08	0,15
F12-76-122	II	37,62	21,27	1,59	38,77	0,70	2,39	0,06	-	3,00	2,00	0,14	2,62	0,08	0,16
F12-76-122	III	37,28	21,51	1,97	38,72	0,66	2,19	n.d.	-	2,98	2,02	0,17	2,62	0,08	0,13
F12-76-111,7	IV	37,46	20,84	1,29	39,25	0,69	1,60	n.d.	-	3,02	1,98	0,11	2,68	0,08	0,11
F12-76-111,7	V	36,60	20,81	1,65	38,83	0,79	1,45	0,32	0,04	2,99	2,00	0,14	2,68	0,10	0,10
F12-76-117	II	37,20	20,89	1,81	39,25	0,66	1,57	0,16	0,02	3,00	1,99	0,16	2,68	0,08	0,11
F12-76-117	V	37,35	20,95	1,83	39,65	0,56	1,65	n.d.	-	3,00	1,98	0,16	2,70	0,07	0,11
F12-76-117	VI	37,21	21,20	1,95	39,06	0,53	1,64	n.d.	-	2,99	2,01	0,17	2,66	0,06	0,11
T12-12-90,5	I	37,46	21,39	1,28	40,42	0,60	0,32	n.d.	-	3,00	2,02	0,11	2,74	0,07	0,06
T12-12-90,5	III	36,90	21,23	1,21	40,47	0,50	0,96	n.d.	-	2,98	2,02	0,11	2,77	0,06	0,07
T12-12-90,5	IV	36,98	21,41	1,19	40,47	0,62	0,95	n.d.	-	2,98	2,03	0,10	2,76	0,07	0,06
T12-12-90,5	VI	37,32	21,13	1,57	39,73	0,64	0,06	n.d.	-	3,00	2,00	0,14	2,71	0,08	-

ticos (2V) aproximadamente igual a $34-35^{\circ}$. Ocorrem como placas com pleocroísmo variando de amarelo esverdeado a castanho claro.

Na Tabela XIV são vistos os dados de microsonda da flogopita. Seu conteúdo de manganês é aproximadamente constante, mas a razão $Fe^{2+}/Fe^{2+} + Mg^{2+}$ está relacionada com os carbonatos e tefroitas coexistentes.

IV - 3 - 6 - ANFIBÓLIOS

Anfibólios são raros nos protominérios carbonáticos, onde parecem ter sido formados a partir de piroxmangita e olivina (Fotos 57, 58).

Estudos ópticos mostraram tratar-se de um anfibólio incolor, às vezes amarelado e sem nenhum ou com muito pouco pleocroísmo. Geminação polissintética foi observada em alguns cristais e medidas dos ângulos entre os eixos ópticos 2Vx forneceram valores entre 83° e 86° .

Dados de microsonda eletrônica são apresentados na Tabela XV onde se observa a porcentagem em peso do MgO variando de 19,02 a 20,37; a do MnO de 17,04 a 19,19 e a de FeO de 0,53 a 2,64.

Esses anfibólios podem ser classificados como cummingtonita rica em manganês ou como uma danemorita rica em magnésio.

Em muitos casos o crescimento dos anfibólios é posterior à formação das principais assembléias metamórficas, provavelmente como resultado de valor maior de X_{H_2O} dos fluidos dos poros durante uma fase de metamorfismo retrógrado.

TABELA XIV - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE FLOGOPITAS MANGANESÍFERAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE
SERRA DO NAVIO

Peso %										
AMOSTRA Nº		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
F12-76-94,8	I	37,48	14,06	-	18,59	3,10	9,79	0,66	0,16	8,83
F12-76-94,8	II	37,59	13,06	0,02	18,37	2,99	9,76	0,61	0,15	9,05
F12-76-111,7	III	40,72	13,29	-	23,23	3,03	9,36	0,44	0,42	9,27
F12-76-117	II	39,72	12,71	-	22,25	3,43	5,45	0,76	0,12	9,46

Número de ions com base em 22 oxigênios

AMOSTRA Nº		Si	Al	Ca	Mg	Mn	Fe	Ti	Na	K
F12-76-94,8	I	5,65	2,50	-	4,18	0,40	1,23	0,07	0,05	1,70
F12-76-94,8	II	5,71	2,34	-	4,27	0,38	1,24	0,07	0,04	1,75
F12-76-111,7	III	5,89	2,27	-	5,01	0,37	0,41	0,05	0,12	1,71
F12-76-117	II	5,86	2,21	-	4,89	0,43	0,67	0,08	0,03	1,78

TABELA XV - ANÁLISES DE MICROSSONDA DE ANFIBÓLIOS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

		Peso %					
AMOSTRA Nº		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	FeO
F12-76-111,7	I	56,73	0,26	0,68	20,29	17,31	2,64
F12-76-111,7	III	57,36	0,32	0,64	20,37	17,04	2,66
T12-12-90,5	II	56,71	0,06	0,59	19,82	18,39	2,46
T12-12-90,5	III	56,54	0,05	0,60	19,76	19,19	2,26
T12-12-90,5	IV	56,66	0,07	0,53	19,33	19,05	0,53

Número de ions com base em 23 oxigênios

AMOSTRA Nº		Si	Al	Ca	Mg	Mn	Fe
F12-76-111,7	I	8,07	0,04	0,10	4,30	2,08	0,31
F12-76-111,7	III	8,09	0,05	0,09	4,28	2,84	0,31
T12-12-90,5	II	8,05	0,01	0,09	4,20	2,21	0,29
T12-12-90,5	III	8,03	0,01	0,09	4,18	2,31	0,27
T12-12-90,5	IV	8,14	0,01	0,08	4,14	2,32	0,06

TABELA XVI - DADOS ÓPTICOS DE PIROXENÓIDES DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

AMOSTRA	Nº	Sinal Óptico	2V _γ	Clivagem (110 AIT0)	γAz	Mineral
T12-12-90,5	1	B ⁺	43,0 ⁰	95,0 ⁰	28,0 ⁰	Piroxmangita
T12-12-90,5	2	B ⁺	46,0 ⁰	90,0 ⁰	39,0 ⁰	Piroxmangita
T12-12-90,5	3	B ⁺	48,0 ⁰	89,0 ⁰	52,0 ⁰	Piroxmangita
T12-12-90,5	4	B ⁺	39,0 ⁰	89,0 ⁰	73,0 ⁰	Piroxmangita
T12-12-90,5	5	B ⁺	42,0 ⁰	-	-	Piroxmangita
T12-12-90,5	6	B ⁺	40,0 ⁰	93,0 ⁰	30,0 ⁰	Piroxmangita
média			43,0 ⁰	91,2 ⁰	44,4 ⁰	
F12-76-117	1	B ⁺	42,0 ⁰	92,0 ⁰	53,0 ⁰	Piroxmangita
F12-76-117	2	B ⁺	46,0 ⁰	90,0 ⁰	40,0 ⁰	Piroxmangita
F12-76-117	3	B ⁺	46,0 ⁰	88,0 ⁰	39,0 ⁰	Piroxmangita
F12-76-117	4	B ⁺	41,0 ⁰	91,0 ⁰	50,0 ⁰	Piroxmangita
F12-76-117	5	B ⁺	38,0 ⁰	91,0 ⁰	34,0 ⁰	Piroxmangita
F12-76-117	6	B ⁺	43,5 ⁰	86,0 ⁰	42,0 ⁰	Piroxmangita
média			42,8 ⁰	89,7 ⁰	43,0 ⁰	

TABELA XVII - DADOS ÓPTICOS DE OLIVINAS DE PROTOMINÉRIOS DE Mn DE SERRA DO NAVIO

AMOSTRA Nº		Sinal Óptico	2Va	Clivagem	Mineral
C2-37-81,1	1	B ⁻	58,0°	86,0°	Tefroita
C2-37-81,1	2	B ⁻	53,0°	94,0°	Tefroita
C2-37-81,1	3	B ⁻	55,0°	95,0°	Tefroita
C2-37-81,1	4	B ⁻	60,0°	94,0°	Tefroita
C2-37-81,1	5	B ⁻	62,0°	89,0°	Tefroita
média			57,6°	91,6°	
C2-40-53,5	1	B ⁻	49,0°	89,0°	Tefroita
C2-40-53,5	2	B ⁻	65,0°	90,0°	Tefroita
C2-40-53,5	3	B ⁻	55,0°	87,0°	Tefroita
C2-40-53,5	4	B ⁻	51,0°	92,0°	Tefroita
C2-40-53,5	5	B ⁻	62,0°	88,0°	Tefroita
C2-40-53,5	6	B ⁻	63,0°	93,0°	Tefroita
C2-40-53,5	7	B ⁻	66,0°	91,0°	Tefroita
C2-40-53,5	8	B ⁻	64,5°	93,0°	Tefroita
C2-40-53,5	9	B ⁻	65,0°	89,0°	Tefroita
C2-40-53,5	10	B ⁻	60,5°	-	Tefroita
média			60,1°	90,2°	
F12-76-94,8	1	B ⁻	53,0°	92,0°	Tefroita
F12-76-94,8	2	B ⁻	52,0°	90,0°	Tefroita
F12-76-94,8	3	B ⁻	44,0°	94,0°	Tefroita
F12-76-94,8	4	B ⁻	53,0°	92,0°	Tefroita
F12-76-94,8	5	B ⁻	53,0°	89,0°	Tefroita
F12-76-94,8	6	B ⁻	47,0°	-	Tefroita
F12-76-94,8	7	B ⁻	55,0°	90,0°	Tefroita
F12-76-94,8	8	B ⁻	50,0°	92,0°	Tefroita
F12-76-94,8	9	B ⁻	55,0°	87,0°	Tefroita
média			51,3°	90,8°	
F12-76-111,7	1	B ⁻	55,0°	89,0°	Tefroita
F12-76-111,7	2	B ⁻	56,0°	85,0°	Tefroita
F12-76-111,7	3	B ⁻	59,0°	85,0°	Tefroita
F12-76-111,7	4	B ⁻	55,0°	82,0°	Tefroita
F12-76-111,7	5	B ⁻	47,0°	90,0°	Tefroita
F12-76-111,7	6	B ⁻	53,0°	86,0°	Tefroita
F12-76-111,7	7	B ⁻	52,0°	-	Tefroita
F12-76-111,7	8	B ⁻	46,0°	93,0°	Tefroita
F12-76-111,7	9	B ⁻	57,0°	-	Tefroita
F12-76-111,7	10	B ⁻	60,0°	90,0°	Tefroita
F12-76-111,7	11	B ⁻	55,0°	-	Tefroita
média			54,1°	87,5°	
F12-76-122	1	B ⁻	51,0°	-	Tefroita
F12-76-122	2	B ⁻	64,5°	-	Tefroita
F12-76-122	3	B ⁻	53,0°	91,0°	Tefroita
F12-76-122	4	B ⁻	56,0°	85,0°	Tefroita
F12-76-122	5	B ⁻	53,0°	91,5°	Tefroita
F12-76-122	6	B ⁻	46,0°	91,0°	Tefroita
F12-76-122	7	B ⁻	58,0°	-	Tefroita
F12-76-122	8	B ⁻	63,0°	94,0°	Tefroita
F12-76-122	9	B ⁻	53,0°	94,0°	Tefroita
F12-76-122	10	B ⁻	59,0°	-	Tefroita
F12-76-122	11	B ⁻	54,0°	90,0°	Tefroita
F12-76-122	12	B ⁻	58,0°	89,0°	Tefroita
F12-76-122	13	B ⁻	49,0°	-	Tefroita
F12-76-122	14	B ⁻	54,0°	-	Tefroita
média			51,5°	90,7°	

IV - 3 - 7 - MINERAIS METÁLICOS E ACESSÓRIOS

A grafita é o principal mineral opaco de Serra do Navio, encontrando-se sempre disseminada nos protominérios e nas rochas encaixantes, principalmente no xisto de fácies grafitosa (SCARPELLI, 1973).

A grafita encontra-se também incluída poiquiloblásticamente nos carbonatos, nas granadas, onde às vezes forma zonas concêntricas e/ou disposições radiais e na cordierita (GIRARDI *et al.*, 1965) (Fotos 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59).

O minério de Serra do Navio assemelha-se ao de Lafaiete, MG, e distingue-se daquele de Buritirama, pela presença de grafita que impede a formação de óxidos de manganês de alta temperatura nos protominérios das duas primeiras jazidas.

A pirofanita (Fotos 42, 51, 52, 56, 58, 59) e a apatita constituem acessórios comuns em muitas lâminas. A primeira apresenta-se também disseminada ou em massas informes de agregados de cristais vermelhos translúcidos e pleocrômicos (anisotropos).

Sulfetos comumente encontrados em veios cortando as encaixantes, como calcopirita e pirrotita, são mais raramente observados nos protominérios, próximos a veios serpentinizados. Além dos citados foram encontrados também alabandita e esfalerita, em raros cristais isolados.

FOTO 33-Rocha metapelítica. Sillimanita-biotita xisto. Rocha de textura lepidoblástica constituída por leitos de sillimanita fibrosa (fibrolita) discordantes de biotitas mais novas, ao lado de muscovita, quartzo e plagioclásio. Amostra C2-37-134m. N. descruzados, X 35.

FOTO 34-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada xisto. Textura lepidoblástica com porfiroblastos de granada. Associação de quartzo, biotita, granada (porfiroblástica) e sillimanita fibrosa (fibrolita). Amostra C2-37-120m. N. descruzados, X 35.

FOTO 35-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada xisto. Sillimanita fibrosa orientada (fibrolita) ocorre ao lado de quartzo, biotita e pequena quantidade de muscovita. Em alguns casos observa-se a sillimanita transformando-se em biotita. Textura lepidoblástica. Amostra C2-37-120m. N. descruzados, X 35.

FOTO 36-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada-biotita xisto com cordierita. Rocha de textura lepidoblástica com porfiroblastos de granada que se encontra associada a cordierita, quartzo e biotita orientada. A cordierita se apresenta pouco alterada. Amostra C2-37-99m. N. descruzados, X 35.

FOTO 37-Idem, foto anterior. Amostra C2-37-99m. N. cruzados, X 35.

FOTO 38-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada-biotita xisto com cordierita. Porfiroblasto de granada (extinto) com inclusões poiquilíticas de andalusita. Outros minerais associados são: sillimanita e biotita orientadas, cordierita com alguma alteração e opacos. Textura lepidoblástica. Amostra C2-37-99m. N. cruzados, X 35.

FOTO 39-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada-biotita xisto com cordierita. Granada porfiroblástica encontra-se associada à cordierita, biotita, andalusita, sillimanita, quartzo e opacos. A granada possui inclusões poiquilíticas de quartzo e opacos. Andalusita transformando-se em sillimanita. Textura lepidoblástica. Amostra C2-37-99m. N. descruzados, X 88.

FOTO 40-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada-biotita xisto com cordierita. Detalhe onde é observado um macrocristal de granada com inclusões poiquilíticas de andalusita e opacos. Associados à granada, encontramos cristais de sillimanita e biotita orientados, além de andalusita. A andalusita é observada transformando-se em sillimanita e esta em biotita. Amostra C2-37-99 m. N. descruzados, X 225.

FOTO 41-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada-biotita xisto com cordierita. Associação de granada, andalusita, sillimanita, biotita e quartzo. Porfiroblastos de granada com inclusões de andalusita. A andalusita permanece intacta no interior das granadas, transformando-se, externamente, em sillimanita. A transformação de sillimanita em biotita é também observada. Biotitas posteriores são vistas em torno das granadas. Amostra C2-37-99m. N.descruzados. X 35.

FOTO 42-Protominério carbonático de manganês. Mármore manganesífero. Carbonatos (Ca-kutnahorita), de granulação fina e textura em mosáico, com inclusões de granadas (spessartitas) mais finas. Textura granoblástica. Amostra C2-37-81m. N. descruzados, X 88.

FOTO 43-Protominério carbonático de manganês. Mármore manganesífero. Porção da lâmina onde ocorrem porfiroblastos de piroxenóides (rodonita) e de olivina (tefroita) ambos com inclusões poiquilíticas de carbonato e granada. As sociados a esses minerais ocorrem carbonato (Ca-kutnahorita), granada (espessartita), grafita e pirofanita com textura granoblástica. Amostra C2-37-81m N. descruzados, X 35.

FOTO 44-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada xisto. Associação de granada, sillimanita, biotita, quartzo, plagioclásio e andalusita. Observa-se transformação de sillimanita em biotita. Crenulação salientada pela orientação de sillimanita (fibrolita) e biotita. Textura lepidoblástica. Amostra C2-40-84m. N. descruzados, X 35.

FOTO 45-Rocha metapelítica. Sillimanita-biotita xisto. Associação de sillimanita, andalusita, quartzo, biotita e opacos. Agregados de andalusita transformando-se em sillimanita da qual são observados ora cortes paralelos à secção 100, (prismas), ora cortes paralelos à secção 001 (losangos). Textura lepidoblástica. Amostra C2-40-66m. N.descruzados, X 88.

FOTO 46-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada xisto com cordierita. Porção da lâmina onde ocorrem macrocristais prismáticos de sillimanita orientada, às vezes transformando-se em biotita, ao lado de quartzo, cordierita e opacos. Textura lepidoblástica. Amostra C2-40-66m. N.descruzados, X 35.

FOTO 47-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada xisto com cordierita. Associação de cordierita, granada, quartzo, biotita e opacos. A granada possui inclusões poiquilíticas de quartzo. Textura lepidoblástica dada por biotitas orientadas. Amostra C2-40-66m. N. descruzados, X 88.

FOTO 48-Rocha calcossilicática. Rocha de textura granoblástica e granulação relativamente uniforme constituída por calcita, diopsídio, tremolita e quartzo. Amostra C2-40-72m. N. descruzados, X 35.

FOTO 49-Rocha calcossilicática. Parte da lâmina onde aparece granada porfiroblástica associada a calcita, tremolita, quartzo e diopsídio. Textura granoblastica. Amostra C2-40-72m. N. descruzados, X 35.

FOTO 50-Protominério carbonático de manganês. Tefroita mármore com espessartita. Mármore de textura granoblástica com porfiroblastos de espessartita e tefroita. Tefroita poiquiloblástica, com inclusões de carbonato e grafita, associada a carbonato (Ca-kutnahorita), granada (espessartita) e opacos (grafita e pirofanita). A espessartita contém inclusões radiais de carbonato e grafita. Amostra C2-40-53,5m. N. descruzados, X 35.

FOTO 51-Protominério carbonático de manganês. Tefroita mármore com espessartita. Porfiroblastos de granada (espessartita) e olivina (tefroita) associados a carbonato (Ca-kutnoharita), grafita e pirofanita. A espessartita possui inclusões radiais de carbonato fino e grafita; a tefroita inclui carbonato, grafita e pirofanita. Amostra C2-40-53, 5m. N. descruzados, X 88.

FOTO 52-Protominério carbonático de manganês. Tefroita mármore. Associação de carbonato (Ca-kutnoharita), olivina (tefroita), grafita, pirofanita e sulfetos. A grafita aparece finamente disseminada nas olivinas porfiroblásticas. O carbonato apresenta textura granoblástica em mosaico, possuindo em certas faixas granulação maior. Amostra C2-40-48, 5m. N. descruzados, X 88.

FOTO 53-Protominério carbonático de manganês. Tefroita mármore com espessartita. Associação de tefroita, carbonato (Ca-kutnahorita), granada (espessartita), grafita e pirofanita. As olivinas e as granadas, são porfiroblásticas e possuem inclusões de carbonato e grafita. Amostra C2-40-53,5m. N. cruzados, X 35.

FOTO 54-Protominério carbonático de manganês. Carbonato (Ca-rodocrosita) com textura em mosaico associado a granada (espessartita), manganofilita e piroxmangita porfiroblástica com inclusões de carbonato. A granada possui muita inclusão de grafita e de carbonatos finos disseminados. Amostra F12-76-91m. N. descruzados, X 35.

FOTO 55-Protominério carbonático de manganês. Macrocrystal de piroxenóide (piroxmangita) com inclusões poiquilíticas de carbonato (Mn-kutnahorita) e manganofilita, associado a tefroita, espessartita e opacos (grafita e pirofanita). A granada é porfiroblástica e contém inclusões de grafita e de carbonatos finos. Amostra F12-76-117m. N. descruzados, X 35.

FOTO 56-Protominério carbonático de manganês. Mármore constituído por carbonato (Ca-rodocrosita) com textura em mosaico, manganofilite, pirofanite e opacos finos (grafite). Os carbonatos são alongados e junto às manganofilites, conferem uma orientação à rocha. Textura granoblástica orientada. Amostra F12-76-94.8m. N. descruzados, X 35.

FOTO 57-Protominério carbonático de manganês. Olivina (tefroita) porfiroblástica incluindo carbonato, granada e grafita, associada à granada (espessartita), manganofilita, carbonato (Ca-rodocrosita), anfibólio manganesífero e opacos (grafita e pirofanita). Amostra F12-76-106,7m. N.cruzados, X 88.

FOTO 58-Protominério carbonático de manganês. Associação de piroxmangita, granada (espessartita), anfibólio manganesífero, carbonato (Mn-kutnahorite), manganofilita, e faixas de pirofanita. A granada é porfiroblástica contendo inclusões poiquilíticas de grafita e pirofanita. Amostra F12-76-117m. N.des cruzados, X 35.

FOTO 59- Protominério carbonático de manganês. Detalhe onde aparece a associação: carbonato (Mn-kutnahorita), espessartita, pirofanita, manganofilita e grafita. A espessartita possui inclusões de carbonato, grafita e de faixas de pirofanita. Amostra F12-76-117m. N. descruzados, X 88.

FOTO 60-Rocha metapelítica. Sillimanita-biotita xisto com andalusita. Macro cristais de andalusita de primeira geração (pré ou sintectônica) com inclusões planares e às vezes levemente encurvadas, de quartzo, muscovita, grafita e biotita. Crescimento de sillimanita posterior, a partir da andalusita. A sillimanita ocorre como cristais fibrosos (fibrolita) orientados a 90° da xistosidade primária. Andalusita de segunda geração, formada a partir da sillimanita, contém inclusões orientadas na mesma direção da xistosidade das sillimanitas. Amostra C2-32-148m. N. descruzados, X 35.

FOTO 61-Rocha metapelítica. Sillimanita-biotita xisto com andalusita. Detalhe onde aparecem cristais de andalusita de segunda geração formados a partir da sillimanita, ao lado da sillimanita (fibrolita), muscovita, biotita e opacos. Textura lepidoblástica com crenulação salientada pela orientação da sillimanita. Amostra C2-32-148m. N. descruzados, X 35.

FOTO 62-Rocha metapelítica. Granada-biotita xisto com andalusita. Porfiroblastos de andalusita com inclusões poiquilíticas de quartzo, biotita e opacos. A andalusita está associada à granada, quartzo, biotita, muscovita e grafita. A granada também possui inclusões poiquilíticas de quartzo e opacos. Textura lepidoblástica com macrocristais de andalusita e granada. Amostra A12-48-140m. N. descruzados, X 35.

FOTO 63-Rocha metapelítica. Sillimanita-granada-biotita xisto com cordierita. Associação de granada, sillimanita, cordierita, biotita, muscovita e opacos. Sombra de granada constituída por sillimanita (fibrolita) e cordierita. Transformação de sillimanita e biotita em cordierita e muscovita. Textura lepidoblástica com granadas porfiroblásticas. Amostra A12-48-139m. N. des cruzados, X 35.

FOTO 64-Rocha calcossilicática. Associação de diopsídio e feldspato potássico transformando-se em tremolita, calcita, muscovita e (quartzo). Textura nematoblástica dada por tremolita orientada e granoblástica devido aos de mais minerais. Amostra T6-59-118m. N. descruzados, X 35.

FOTO 65-Rocha rica em granada, contendo ainda quartzo, biotita e opacos, sofrendo alteração com o aparecimento de muscovita, clorita (e epídoto ?). Partes claras-quartzo; cinza claras - clorita; ripas cinza claras - muscovita; cinza médias - biotita. Amostra T6-59-102m.N.descruzados. X 35.

FOTO 66-Protominério carbonático de manganês. Porfiroblastos de tefroitas com inclusões poiquilíticas de granada (espessartita), carbonato e opacos (grafita). As tefroitas constituem macrocristais relativamente orientados conferindo à rocha uma textura granoblástica orientada. Amostra C2-43-48m. N. descruzados, X 35.

CAPÍTULO V

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

V - 1 - CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO METAMORFISMO DE BURITIRAMA

O estudo mineralógico do protominério de Buritirama permitiu a caracterização de várias associações mineralógicas as quais estão relacionadas abaixo:

- (1) - carbonato + piroxmangita + tefroita
- (2) - tefroita + carbonato + espessartita + pirofanita
- (3) - tefroita + carbonato + piroxmangita + espessartita
- (4) - carbonato + tefroita + espessartita + alabandita +
+(esfalerita)
- (5) - carbonato + braunita + manganofilita + Mn-anfibólio
- (6) - Mn-clinopiroxênio + carbonato + manganofilita +
+ espessartita
- (7) - Mn-clinopiroxênio + rodonita + carbonato
- (8) - rodonita + carbonato + espessartita
- (9) - Mn-clinopiroxênio + rodonita + carbonato + braunita
- (10) - Mn-clinopiroxênio + Mn-clinoanfibólio + manganofilita +
+ espessartita + carbonato
- (11) - piroxmangita + manganofilita + carbonato
- (12) - piroxmangita + Mn-clinoanfibólio + carbonato +
+ espessartita
- (13) - piroxmangita + carbonato + espessartita + manganofilita
- (14) - carbonato + braunita + hausmanita
- (15) - carbonato + hausmanita

Analisando-se essas associações pela regra das fases, pode-se, numa primeira aproximação, considerar um sistema de

cinco componentes fixos: Mn-Ca-Mg-Al-Si (desprezando-se Fe e K) e de três componentes móveis: CO_2 , H_2O e S_2 (fase fluida). Dessa maneira paragéneses de quatro fases sólidas indicam um sistema trivariante. É o que acontece em geral com paragéneses sem flogopita. Adicionando-se esta última equivale a considerar um sistema a seis componentes com a inclusão do potássio e o sistema permanece trivariante para associações com cinco fases sólidas e uma fase fluida, normalmente observadas.

A paragénese (1) = carbonato manganífero + piroxmanigita + tefroita (Fotos 28 e 30) é prevista no sistema teórico Mn-Si-C-O-H como resultado da reação.

$\text{MnCO}_3 + \text{MnSiO}_3 = \text{Mn}_2\text{SiO}_4 + \text{CO}_2$ (rodocrosita + piroxmangita = tefroita) - (PETERS *et al.*, 1974).

A Figura 12 mostra essa reação sob nº 10 num diagrama isobárico $\text{Txlogf}_{\text{O}_2}$ supondo $X_{\text{CO}_2} = 1$. O efeito da pressão total tende a aumentar a temperatura de equilíbrio dessa reação, ao mesmo tempo que fração molar de CO_2 inferior a 1 tende a diminuir-la. A paragénese (9) = clinopiroxênio manganífero + rodonita + braunita + carbonato manganífero (Fotos 10, 32) apresenta grande importância salientando a influência do CaO no politipismo do piroxenóide manganífero.

A associação de clinopiroxênio manganífero (johansenita) com os piroxenóides de manganês (piroxmanigita, rodonita e bustamita) foi objeto de trabalho de ABRECHT & PETERS (1975). Embora o diagrama experimental apresentado seja um diagrama de síntese efetuado a 2.000 bars, existe a possibilidade da associação johansenita-rodonita ser estável acima de 500° , afirmação que é tanto mais verdadeira quanto maior for a pressão total (Figura 25).

A paragénese (14) = carbonato + braunita + hausmanita no sistema puro Mn-Si-C-O-H corresponde a um ponto isobárico invariante que fixaria $\log f_{\text{O}_2}$ em -8 aproximadamente e temperatura em torno de 450° a 2.000 bars, considerando-se $X_{\text{CO}_2} = 1$. (Figura

Figura 12 - Diagrama isobárico T-log fO_2 para o sistema Mn-C-Si-O-H à pressão total 2.000 bars e $X_{CO_2} = 1$ - Segundo PETERS *et al.*, 1974.

12, reação 20). No entanto, o carbonato associado à braunita no braunita mármore é, freqüentemente, mangano calcita, devendo-se na interpretação desses dados levar em conta a atividade do MnCO_3 neste carbonato. A mangano calcita é uma solução sólida de CaCO_3 e MnCO_3 significando que a atividade do MnCO_3 nesse carbonato é menor que 1, implicando num aumento da fugacidade de O_2 quando comparado com MnCO_3 puro.

A braunita pode ser formada através de várias reações: reação entre rodocrosita e quartzo, oxidação da piroxmangita ou ainda pela reação entre óxidos de manganês e quartzo ou piroxenóides. (reações 18, 20, 21, 22 e 23 de PETERS, VALARELLI & CANDIA, 1974).

A reação entre rodocrosita e quartzo no metamorfismo progressivo tende a formar normalmente piroxenóides associados à rodocrosita ou raramente a quartzo quando houver excesso de sílica. Por outro lado, em nenhum caso foi observada oxidação de piroxenóides. Quando estes últimos são afetados por veios ou por retrometamorfismo, nota-se seja serpentinitização, seja transformação em anfibólitos.

Em algumas lâminas (Foto 9) nota-se uma estrutura bandada imposta a sedimentos interestratificados compostos essencialmente de carbonatos e óxidos. Isso indica que provavelmente a braunita formou-se a partir da reação entre quartzo e óxidos de manganês (hausmanita ou bixbyita). Estes últimos poderiam ser produto de metamorfismo de hidróxidos sedimentares ou então da decomposição de mangano calcita que na impossibilidade de formar piroxenóides e muito menos wollastonita, ter-se-ia decomposto em óxido de manganês + calcita, segundo GOLDSMITH & GRAF (1957), justificando assim a paragénese = carbonato + hausmanita.

Veios e massas silicáticas encontrados no braunita mármore apresentam paragéneses complexas. Algumas vezes a partir de um núcleo de quartzo + apatita + barita + feldspato potássico há passagem gradual para zonas de rodonita granoblástica de granulção grosseira (até 7 mm). No contato entre as zonas de rodo

nita e as massas de braunita + Mn-flogopita + Mn-calcita, existe uma faixa milimétrica de clinopiroxênio + clinoanfibólio e Mn-flogopita (Fotos 10, 26).

Provavelmente, trata-se de fenômeno de remobilização de sílica que ocorreu a pequenas distâncias em condições metamórficas talvez não longe do pico do metamorfismo, visto os resultados das inclusões fluidas dos cristais de quartzo.

A rodonita dessas faixas representariam reação entre a sílica e carbonatos manganíferos enquanto que a associação clinopiroxênios, clinoanfibólios, Mn-flogopita deve representar reação entre carbonatos pouco manganíferos e a mesma sílica acompanhada pela alteração de silicatos e aluminossilicatos.

Infelizmente faltam dados teóricos e experimentais para analisar a influência da espessartita, da manganofilita e dos clinoanfibólios manganíferos vistos em diversas associações, no deslocamento ou na particularização dos equilíbrios. Muito falta ainda para a análise completa da presença de alabandita, espinelio, pirofanita e outros acessórios.

Se nos protominérios há predominância de minerais calco-manganíferos, nas rochas encaixantes predominam minerais calco-magnesianos.

Nas rochas encaixantes mais carbonáticas é relativamente comum a associação isobárica divariante calcita + diopsídio + tremolita (Fotos 2, 4, 11, 12) cujos campos de estabilidade são muito variáveis em função de P, T e X_{CO_2} (SKIPPEN, 1974). Em al

gumas lâminas a associação isobárica univariante calcita + diopsídio + tremolita + quartzo foi encontrada (Foto 17), indicando pressão de fluido superior a 1,5 Kb a temperaturas superiores a 550°C indicada pela missibilidade dos carbonatos vista anteriormente. Segundo WINKLER (1976) esse equilíbrio apresenta um patamar em diagrama isobárico ($T \times X_{CO_2}$) com seu máximo valor de $X_{CO_2} = 0,8$ e variando de 540°C a pressão de 1 Kb até 655°C a 5 Kb (Figuras 15a, 15b e Figura 9-6 de WINKLER, 1976, p. 122).

A associação calcita + dolomita + quartzo + diopsídio + tremolita também foi encontrada representando um ponto isobárico invariante e elevada fração molar do CO_2 .

Essa associação pode ser vista no diagrama isobárico $T \times X_{\text{CO}_2}$, da Figura 13 (SKIPPEN, 1974) no ponto (2) indicando um alto valor da fração molar do CO_2 e uma temperatura entre 500 e 600°C dependendo da pressão total (Figura 15a, ponto II).

Alguns grãos de quartzo de massas silicosas concordantes preservadas nos protominérios de manganês de Buritirama foram selecionados para o estudo das inclusões fluidas. Tal estudo (VALARELLI & VON RAUMER, 1975) revelou a presença de inclusões fluidas de várias gerações com diferentes frações de CO_2 .

As inclusões primárias eram mono e bifásicas e continham quase que exclusivamente CO_2 , sendo que nas inclusões tardias a concentração de CO_2 diminuía aparecendo inclusões trifásicas com CO_2 líquido, CO_2 gás e H_2O líquido de alta salinidade.

Nas inclusões bifásicas, $\text{CO}_{2(l)}$ e $\text{CO}_{2(g)}$, as homogeneizações tenderam a formar uma só fase líquida.

A Figura 14 apresenta os resultados do estudo de 394 inclusões, constando dela as temperaturas de homogeneização obtidas, e as correspondentes densidades críticas do CO_2 de cada uma (LANDOLF-BOERNSTEIN tables, 1960).

O valor médio da temperatura de homogeneização está entre 8-9°C correspondendo a uma densidade crítica do CO_2 de 0,87 g/cm³, que conforme os dados de KENNEDY (1954) representa um gradiente de 10°C/53 bars (54°C/Km).

Em vista dos dados paragenéticos discutidos anteriormente dos protominérios e das encaixantes de Buritirama, pode-se supor uma temperatura de 550 ± 50°C para o pico do metamorfismo. Assim, os dados de inclusões fluidas fornecem pressões totais da ordem de 3.000 ± 300 atmosferas.

a

b

c

d

Figura 13 - Diagrama isobárico T- X_{CO_2} para o sistema $CaO-MgO-SiO_2-H_2O-CO_2$ à várias pressões totais - Segundo SKIPPEN, 1974.

Figura 14 - Densidades críticas de CO₂ (g/cm³) e temperatura de homogeneização de 394 inclusões fluidas em cristais de quartzo preservados no Braunita mármores de Buritirama (furo de sonda B5-10) - Segundo VON RAUMER & VALARELLI, 1977.

V - 2 - CONDIÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO METAMORFISMO DE SERRA DO NAVIO

As seguintes paragêneses são comuns nos protominérios de Serra do Navio:

- (1) carbonato + rodonita + tefroita + espessartita + grafita
- (2) carbonato + tefroita + grafita
- (3) carbonato + tefroita + espessartita + grafita
- (4) rodonita + carbonato + grafita
- (5) espessartita + rodonita + carbonato + grafita
- (6) carbonato + tefroita + Mn-flogopita + grafita
- (7) carbonato + tefroita + Mn-flogopita + espessarti
ta + grafita
- (8) tefroita + Mn-anfibólito + carbonato + Mn-flogopita + grafita
- (9) carbonato + piroxmangita + Mn-flogopita + grafita
- (10) espessartita + piroxmangita + carbonato + Mn-flogopita + grafita
- (11) piroxmangita + carbonato + tefroita + grafita
- (12) piroxmangita + carbonato + Mn-anfibólito +
+ espessartita + grafita

Considerando H_2O , CO_2 e S como componentes móveis e seis componentes fixos: Si, Al, Mn, Ca, K, (Fe + Mg), as paragêneses observadas de um máximo de cinco fases sólidas e uma fase fluida indicam um sistema trivariante.

A paragênese (1) = carbonato manganífero + rodonita + tefroita + espessartita + grafita (Foto 42) e a paragênese (11) piroxmangita + kutnahorita + tefroita + grafita (Foto 55), são importantes pois mostram a coexistência da rodonita com carbonato mais rico em cálcio e da piroxmangita com carbonato mais rico em manganês, isto é, a importância do cálcio no tipo de piroxenóide formado.

A menos da grafita, a associação de piroxenóide-olivina-carbonato é isobárica univariante, coincidente com a reação 10 de PETERS *et al.*, 1975, à temperatura constante $\approx 600^{\circ}\text{C}$, fixando-se $X_{\text{CO}_2} = 1$, $P = 2.000$ bars, e independente da fugacidade de oxigênio.

A presença de grafita nessa associação passa a ter uma importância muito grande pois ela indica um equilíbrio em que a grafita funciona como tampão. Esse equilíbrio é visto em PETERS *et al.*, 1975, reação 14, que naquelas condições experimentais consideradas ($P = 2.000$ bars e $X_{\text{CO}_2} = 1$) determinam uma temperatura máxima de aproximadamente 600°C e fugacidade máxima segundo $\log f_{\text{O}_2} < -21$.

Das outras paragêneses observadas, algumas estão contidas nas analisadas e em outras aparecem minerais tais como a espessartita, manganofilita e anfibólio manganesífero, cuja influência nas condições de equilíbrio não podem ser deduzidas devido a falta de dados teóricos e experimentais.

Lentes de rochas calcossilicáticas, que ocorrem intercaladas nas encaixantes mais quartzosas dos protominérios, apresentam como minerais característicos, calcita, tremolita e diopsídio (e ocasionalmente, hornblenda) (Fotos 48, 49 e 64). Esses minerais ocorrem em bandas milimétricas a centimétricas paralelas ao bandejamento da rocha, em porcentagens variáveis. Em mármores calcíticos claros ocorrem quartzo, biotita, tremolita, diopsídio, titanita, sulfetos e grafita.

A associação calcita + tremolita + diopsídio encontra-se nessas rochas (Fotos 48 e 49) possui um amplo campo de estabilidade, o que pode ser visto no diagrama isobárico $T \times X_{\text{CO}_2}$ da Figura 13 existindo até um máximo de 650°C quando é considerada a pressão constante de 3 Kb. Esse valor de temperatura porém será maior para pressões maiores. No diagrama isobárico da Figura 15 (WINKLER, 1976) construído à $P = 5$ Kb, observa-se essa associação existindo até aproximadamente 730° .

Figura 15 - Diagrama isobarico T - X_{CO_2} para o sistema CaO-MgO-SiO₂-H₂O-CO₂: à $P_f = 1 \text{ Kb}$ e $P_f = 5 \text{ Kb}$ -

A presença de quartzo (Fotos 48 e 49) nessa associação como já foi mencionado na paragénese de Buritirama, corresponde a um equilíbrio isobárico univariante com os pares P, T a $X_{CO_2} = 0,7 - 0,8$: 500°C - 1 Kb; 550°C - 2 Kb; 580°C - 3 Kb; 620°C - 4 Kb e 650°C - 5 Kb (SKIPPEN, 1974).

As encaixantes metapelíticas correspondentes aos xistos, grafitosos ou não, possuem associações mineralógicas muito variáveis. As principais paragéneses encontradas são as seguintes:

- (13) biotita - quartzo - grafita - andalusita -
- sillimanita
- (14) andalusita - biotita - muscovita - quartzo
- (15) biotita - quartzo - plagioclásio - cordierita -
- sulfetos - grafita
- (16) cordierita - quartzo - biotita - granada - sillimanita - andalusita
- (17) granada - biotita - quartzo - estaurolita - sillimanita - turmalina + sulfetos + grafita
- (18) biotita - quartzo - estaurolita - almandina -
- sillimanita - grafita
- (19) cordierita - biotita - granada - estaurolita
(cordierita cloritizada)

As três últimas associações provêm de SCARPELLI (1968).

Em rochas mais silicáticas encontraram-se:

- (20) quartzo - plagioclásio - muscovita - sillimanita
- (21) muscovita - turmalina - quartzo - plagioclásio -
- grafita
- (22) quartzo - plagioclásio - biotita - clorita -
- cordierita

A estaurolita é um mineral importante presente em várias associações observadas. Reações que envolvem o desaparecimento da estaurolita se dão a temperaturas máximas superiores a

700°C, dependendo dos minerais a ela associados. Quando a estaurorolita está associada à muscovita e ao quartzo temos a seguinte reação significativa:

Essa reação, se considerarmos uma $T \approx 675^\circ \pm 15^\circ\text{C}$, ocorre à pressão total de aproximadamente 5,5 Kb.

À pressões mais elevadas encontra-se a seguinte reação:

Se a muscovita não está presente, a estauroлита persiste até temperaturas mais elevadas, destacando-se as seguintes reações:

Biotita associada à estauroлита e quartzo

Esta última reação se dá a uma temperatura de 700°C a $P = 5$ Kb sendo apenas ligeiramente dependente da pressão.

Nas paragêneses encontradas nas encaixantes metapelíticas de Serra do Navio, a estauroлита está geralmente associada à biotita, quartzo, granada e sillimanita indicando uma temperatura superior a 675°C para pressões de 5,5 Kb segundo as reações (b) e (e).

Também foi observada a cordierita coexistindo com granada, biotita e estauroлита. Segundo a reação (c), essa associação ocorre a temperaturas superiores a 675°C.

As paragêneses das rochas metapelíticas em geral en

contram-se entre os equilíbrios das reações:

estauroлита + muscovita + quartzo = sillimanita + biotita + H_2O (HOSCHEK, 1969)

muscovita + quartzo = sillimanita + K feldspato + H_2O (CHATTERJEE & JOHANNES, 1974)

estauroлита + quartzo = sillimanita + granada + H_2O (RICHARDSON, 1968).

Excetuando-se a verossemelhança da segunda reação pelo fato de ter-se plagioclásio em Serra do Navio mais comumente que feldspato alcalino, as paragéneses indicam que o pico do metamorfismo pode ser estabelecido a temperaturas de $700 \pm 30^\circ C$ e pressão total de $5,5 \pm 1$ Kb (Figura 16).

Ao lado desses dados temos ainda a coexistência de cordierita e almandina ao lado de sillimanita, quartzo e biotita, associação que foi estudada por HENSEN (1971), HENSEN & GREEN (1971, 1972 e 1973) e CURRIE, (1971). Essa associação é apenas possível a altas temperaturas e dentro de um restrito intervalo de pressões.

De acordo com os autores citados, a razão $FeO/FeO + MgO$ da rocha é responsável pela posição e largura da faixa divariante no plano P, T, na qual coexistem granada e cordierita. Se essa razão decresce, aumenta a pressão de formação da granada e a cordierita persiste até pressões mais elevadas, ou seja, a faixa divariante no plano P, T onde coexistem cordierita e granada, se desloca na direção de pressões mais elevadas quando as composições se tornarem mais ricas em magnésio.

GIRARDI, COUTINHO & VALARELLI (1965) determinaram o valor dessa relação para cordieritas de Serra do Navio como sendo aproximadamente 0,4.

Segundo CURRIE, 1971 (Figura 17) tal cordierita está em equilíbrio a $700^\circ C$ com granada de relação $FeO/FeO + MgO = 0,85$, a pressão de aproximadamente 5,5 Kb.

Essas condições são concordantes com as obtidas ou es

Figura 16 - Diagrama P-T: reações metamórficas em rochas pelíticas - Segundo WINKLER, 1976.

Figura 17

Figura 18

Figura 17 - Diagrama P- X_{FeO} de granadas e cordieritas coexistentes na presença de sillimanita e quartzo a 700°C - Segundo CURRIE, 1971 in WINKLER, 1976.

Figura 18 - Diagrama P-T para a associação cordierita+almandina + sillimanita + quartzo para vários valores da relação $FeO/FeO+MgO$ de composição total - Segundo WINKLER, 1976.

timadas por outras paragêneses, mesmo que seja desconhecida a composição total da amostra em termos de $\text{FeO}/\text{FeO} + \text{MgO}$ (Figura 18).

As diversas paragêneses estudadas indicam que o pico do metamorfismo pode ser estabelecido à temperatura de $700 \pm 30^\circ\text{C}$ e pressão total de $5,5 \pm 1 \text{ Kb}$.

Essas condições de P, T são suficientes para provocar migmatização, pegmatitização e palingênese. Assim, os mencionados pegmatitos e granitos sintectônicos (SCARPELLI *et. al.*, 1963, 1968, 1973) devem ter origem anatética.

Inúmeras associações demonstram os fenômenos de migmatização com formação de fases graníticas: quartzo - muscovita - plagioclásio e turmalina, e como acessórios zircão, grafita, sulfetos e titanita.

Vários indícios de uma segunda fase metamórfica foram observados principalmente nas rochas encaixantes. Esta segunda fase está bem caracterizada nas rochas pelíticas onde se observa, comumente, a formação de andalusita de segunda geração a partir de sillimanita (Foto 60). Algumas vezes observa-se a formação de andalusita associada a microclínio (ou muscovita e quartzo) a partir de sillimanita e ortoclásio (Fotos 60 e 61), bem como sillimanita e biotita transformando-se em cordierita e muscovita (Foto 63). Nas rochas calcossilicatadas o principal indício deste segundo metamorfismo é a transformação de diopsídio + feldspato potássico em flogopita + calcita (Foto 64).

Este metamorfismo pode ser caracterizado como de grau médio, fácies anfíbolito sob condições semelhantes às ocorridas em Buritirama, e com valores de X_{CO_2} bem inferiores às do primeiro metamorfismo.

Ligadas ou conseqüentes a esta fase, várias outras transformações "retrometamórficas" ou de ação de remobilização de soluções foram observadas, tanto nos protominérios como nas rochas encaixantes:

rodocrosita + rodonita cortada por veios de quartzo, al
bita e Mn-anfibólio, este último formado por alteração do piroxe
nóide;

rodonita transformando-se em Mn-anfibólio + rodocrosii
ta;

tefroita + rodocrosita + granada, cortados por rodonita;

tefroita + espessartita + rodocrosita + grafita sendo
anfibolitizada com o aparecimento de carbonato manganesífero fi
no;

cloritização de plagioclásios de rochas calco-silicáã
ticas e de cordierita e biotita de metapelitos; bem como, transo
formação de sillimanita em andalusita ou biotita nas rochas metao
pelíticas (Fotos 35, 36, 37, 40, 51, 44, 46, 48)..

V - 3 - PARTIÇÃO DE ELEMENTOS

Nas Figuras 7 e 11 os dados de microsonda dos piroxênoides, olivinas, carbonatos e clinopiroxênios de Buritirama e de Serra do Navio são plotados em diagrama triangular com vértices (Mn) - (Ca) - (Mg + Fe) em porcentagem molar. A simbologia indica a coexistência entre as fases numa mesma lâmina.

Os dados desses diagramas ressaltam mais uma vez a influência da composição dos carbonatos no tipo de piroxenóide manganífero coexistente. Além disso são observados os "trends" de composição dos diferentes minerais considerados. Esses diagramas indicam que as tefroitas são magnesianas, denominadas por alguns autores de picrotefroita. Os dados de composição dos piroxenóides (rodonita e piroxmangita), coincidem com as análises de minerais semelhantes tabelados em DEER, ROWIE & ZUSSMAN (1963). Nota-se uma diferença entre os "trends" de carbonatos de Buritirama e de Serra do Navio que será comentada mais adiante. Além disso observa-se que os clinopiroxênios coexistem com rodonitas e carbonatos pobres em manganês. Sem analisar os "gaps" de composição dos carbonatos, pode-se dizer que eles constituem uma solução sólida entre mangano-calcita e mangano-kutnahorita, ambas magnesianas (com pouco de Fe).

A Figura 19 mostra a distribuição, em peso por cento de cátions, de $\text{Ca}^{2+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$ entre carbonatos e essartitas coexistentes. Nota-se que existe uma lei de distribuição regular entre os dois minerais analisados a menos de uma ligeira dispersão dos pontos na região de carbonatos pobres em cálcio. A granada, provavelmente formou-se a partir da reação entre carbonato manganífero, sílica e filossilicatos, do tipo:

A dispersão de pontos observada na distribuição de elementos entre espessartita e carbonato pode ser devida ao crescimento porfiroblástico e zonado das granadas que muitas vezes possuem inclusões poiquilíticas do carbonato original, tendendo a equilíbrios parciais seja durante o metamorfismo progressivo, quanto durante o metamorfismo retrógrado ou metamorfismo posterior de mais baixo grau.

Nas Figuras 20 e 21 são vistas as distribuições Ca^{2+}/Σ cations bivalentes (ΣM^{2+}) entre carbonatos e piroxenóides coexistentes: rodonita ou piroxmangita. Nota-se que existem leis de distribuição regular do tipo potencial, do cálcio entre o carbonato e os piroxenóides, independentemente do fato das rodonitas de uma dada jazida serem sempre mais ricas nesse elemento do que as piroxmangitas.

A regularidade dessas distribuições indicam que as fases consideradas estão em equilíbrio, destacando-se para a formação dos piroxenóides a seguinte reação:

A natureza do inossilicato de cadeia simples depende da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mn}^{2+}$ que decresce na seguinte ordem:

piroxênio > rodonita > piroxmangita

Nas figuras de distribuição mencionadas acima observa-se uma tendência dos pontos referentes a Serra do Navio concentrarem-se na extremidade mais pobre em Ca dos carbonatos. Em Serra do Navio a temperatura máxima atingida pelo metamorfismo superou em pelo menos 150°C a de Buritirama. Esses fatos sugerem uma diferenciação térmica segundo a qual às mais altas temperaturas, os piroxenóides e a espessartita admitem relativamente mais manganês e provavelmente também mais Fe e Mg do que Ca.

A Figura 22 apresenta os dados de distribuição de $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e anfibólios manganesíferos coexistentes

tes. Embora existam poucos dados, pode-se inferir uma certa regularidade dos pontos sugerindo equilíbrios entre as fases em contato. Ao mesmo tempo nota-se uma certa constância do Ca nos anfibólitos, embora coexistam com carbonatos relativamente pobres nesse elemento em Serra do Navio e carbonatos mais ricos em Buritama.

A distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre olivinas e carbonatos coexistentes apresentou valores semelhantes e muito pequenos devido ao constante baixo teor de CaO das olivinas. A relação $\text{Mn}^{2+} + \text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ mostrou-se também regular para esse par de minerais (Figura 23).

Para a formação das olivinas existem duas reações principais:

a partir respectivamente de carbonato e quartzo ou de carbonato e piroxenóide. Essas reações diferem fundamentalmente entre si pela pressão parcial do CO_2 de equilíbrio. A primeira delas é dificilmente realizável no metamorfismo progressivo de rochas carbonáticas pois a 2.000 bars, a fração molar do CO_2 para o equilíbrio dessa reação deve ser próxima de 0,01, sendo que as parageneses e alguns dados de inclusões fluidas indicam fração molar de CO_2 elevada (>0,8).

Essa distribuição apresenta uma certa dispersão talvez devida ao fato de que a maioria das olivinas formou-se a partir de piroxenóide e carbonato, sendo importante considerar-se em cada caso o tipo estrutural do piroxenóide original. Além disso, muitas olivinas são porfiroblásticas e poiquiloblásticas.

Analisando-se as Figuras 24 e 11, observa-se que as piroxenitas de Serra do Navio coexistem com carbonatos com valo

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.3721
Variância não explicada	=	0.6464
Variância explicada	=	0.3257
Coefficiente de determinação	=	0.8752
Coefficiente de correlação	=	0.9355
Porcento da soma total dos quadrados	=	87.5249

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	11
Número F observado	=	77.1757

- - 8-5-14-83.8
- - 8-5-14-83.2
- × - 8-5-14-92.3
- - 8-5-14-97.8
- - 8-5-14-67.1
- - 8-5-14-69.9
- - 8-5-14-72.0
- - 8-5-14-73.5
- - 8-5-22-54.6
- - 8-5-22-65.8

Figura 19a - Relação $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e espessartitas coexistentes. Buritirama.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	= 0.1296
Variância não explicada	= 0.0620
Variância explicada	= 0.0677
Coefficiente de determinação	= 0.5220
Coefficiente de correlação	= 0.7225
Porcento da soma total dos quadrados	= 52.2036

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	= 1
Graus de liberdade do denominador	= 15
Número F observado	= 16.3831

- - F-12-76-94.8
- - F-12-76-122
- - F-12-76-111.7
- - F-12-76-117.0
- + - T-12-12-90.5
- - C- 2-37-81.1
- - C- 2-40-53.5

Figura 19b - Relação $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e espeessartitas coexistentes. Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.6059
Variância não explicada	=	0.1519
Variância explicada	=	0.4540
Coefficiente de determinação	=	0.7493
Coefficiente de correlação	=	0.8656
Porcento da soma total dos quadrados	=	74.9348

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	28
Número F observado	=	83.7087

◻ - B-5-14-80.8	• - F-12-76-94.8
+ - B-5-16-80.2	○ - F-12-76-122
x - B-5-16-92.3	○ - F-12-76-111.7
◊ - B-5-16-97.3	● - F-12-76-117.0
▼ - B-5-14-67.1	+ - T-12-12-90.5
◻ - B-5-14-69.9	◻ - C- 2-37-81.1
◻ - B-5-14-72.0	◻ - C- 2-40-53.5
■ - B-5-14-73.6	
▼ - B-5-22-64.6	
◊ - B-5-22-65.8	

Figura 19c - Relação $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e espessartitas coexistentes. Buritirama e Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0039
Variância não explicada	=	0.0003
Variância explicada	=	0.0036
Coefficiente de determinação	=	0.9278
Coefficiente de correlação	=	0.9632
Porcento da soma total dos quadrados	=	92.7782

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	1
Número F observado	=	12.8469

⊛ - 8-5-14-80.8
 + - 8-5-10-80.2
 x - 8-5-10-92.3
 ⊙ - 8-5-15-97.3
 ▽ - 8-5-14-67.1
 □ - 8-5-14-69.9
 ○ - 8-5-14-72.0
 ■ - 8-5-14-73.6
 ▴ - 8-5-22-64.6
 ⊕ - 8-5-22-65.8

Figura 20a - Distribuição Ca²⁺/ΣM²⁺ entre carbonatos e rodonitas coexistentes. Buritirama.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0130
Variância não explicada	=	0.0057
Variância explicada	=	0.0074
Coefficiente de determinação	=	0.5653
Coefficiente de correlação	=	0.7518
Porcento da soma total dos quadrados	=	56.5260

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	7
Número F observado	=	9.1016

- - F-12-76-94.8
- - F-12-76-122
- - F-12-76-111.7
- ◇ - F-12-76-117.0
- + - T-12-12-90.5
- - C-2-37-81.1
- - C-2-40-53.5

Figura 20b - Distribuição Ca²⁺/ΣM²⁺ entre carbonatos e rodonitas coexistentes. Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.1097
Variância não explicada	=	0.0064
Variância explicada	=	0.1032
Coefficiente de determinação	=	0.9412
Coefficiente de correlação	=	0.9702
Porcento da soma total dos quadrados	=	94.1194

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	10
Número F observado	=	160.0517

• - B-5-14-80.8	• - F-12-76-94.8
+ - B-5-16-80.2	• - F-12-76-122
x - B-5-16-52.3	• - F-12-76-111.7
• - B-5-15-57.3	• - F-12-76-117.0
▼ - B-5-14-67.1	+ - T-12-12-90.5
□ - B-5-14-63.9	□ - C-2-37-81.1
○ - B-5-14-72.0	■ - C-2-40-53.5
■ - B-5-14-73.5	
▼ - B-5-22-54.6	
○ - B-5-22-65.8	

Figura 20c - Distribuição Ca²⁺/ΣM²⁺ entre carbonatos e rodonitas coexistentes. Buritirama e Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0771
Variância não explicada	=	0.0134
Variância explicada	=	0.0637
Coefficiente de determinação	=	0.8264
Coefficiente de correlação	=	0.9091
Porcento da soma total dos quadrados	=	82.6376

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	13
Número F observado	=	61.8746

- - 8-5-14-80.8
- + - 8-5-15-83.2
- x - 8-5-16-92.3
- ◊ - 8-5-15-97.3
- ▼ - 8-5-14-67.1
- ◻ - 8-5-14-63.9
- - 8-5-14-72.0
- - 8-5-14-73.5
- ▽ - 8-5-22-64.6
- ◉ - 8-5-22-65.8

Figura 21a - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e piroxmaginitas coexistentes. Buritirama.

0.16

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0126
Variância não explicada	=	0.0038
Variância explicada	=	0.0087
Coefficiente de determinação	=	0.6951
Coefficiente de correlação	=	0.8337
Porcento da soma total dos quadrados	=	69.5129

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	8
Número F observado	=	18.2406

- - F-12-76-94.8
- - F-12-76-122
- - F-12-76-111.7
- - F-12-76-117.0
- + - T-12-12-90.5
- - C- 2-37-81.1
- - C- 2-40-53.5

Figura 21b - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e piroxmaginitas coexistentes. Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.2039
Variância não explicada	=	0.0237
Variância explicada	=	0.1802
Coefficiente de determinação	=	0.8839
Coefficiente de correlação	=	0.9401
Porcento da soma total dos quadrados	=	88.3880

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	23
Número F observado	=	175.0705

⊕ - 3-5-14-80.8	• - F-12-76-94.8
+ - 3-5-10-80.2	⊙ - F-12-76-122
x - 6-5-10-52.2	○ - F-12-76-111.7
⊕ - 5-5-10-57.3	⊙ - F-12-76-117.0
▽ - 3-5-14-67.1	+ - T-12-12-90.5
⊕ - 6-5-14-69.9	□ - C- 2-37-81.1
○ - 3-5-14-72.0	■ - C- 2-40-53.5
⊕ - 3-5-14-73.5	
▽ - 6-5-22-64.6	
⊕ - 8-5-22-65.8	

Figura 21c - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e piroxmaginitas coexistentes. Buritirama e Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0016
Variância não explicada	=	0.0000
Variância explicada	=	0.0016
Coefficiente de determinação	=	0.9922
Coefficiente de correlação	=	0.9961
Porcento da soma total dos quadrados	=	99.2151

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	1
Número F observado	=	126.4118

- - 3-5-14-80.8
- + - 3-5-10-80.2
- x - 3-5-10-92.3
- ✱ - 3-5-10-97.8
- ▼ - 3-5-14-67.1
- - 3-5-14-69.9
- - 3-5-14-72.0
- - 3-5-14-73.5
- ▽ - 3-5-22-54.6
- ⊙ - 3-5-22-65.8

Figura 22a - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e anfibólitos manganêsferos coexistentes. Buritirama.

Figura 22b - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e anfibólios manganíferos coexistentes. Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0055
Variância não explicada	=	0.0011
Variância explicada	=	0.0044
Coeficiente de determinação	=	0.7954
Coeficiente de correlação	=	0.8919
Porcento da soma total dos quadrados	=	79.5427

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	3
Número F observado	=	79.5427

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0478
Variância não explicada	=	0.0100
Variância explicada	=	0.0378
Coefficiente de determinação	=	0.7912
Coefficiente de correlação	=	0.8895
Porcento da soma total dos quadrados	=	79.1159

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	6
Número F observado	=	22.7300

Figura 22c - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e anfibólios manganêsíferos coexistentes. Buritirama e Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0016
Variância não explicada	=	0.0001
Variância explicada	=	0.0014
Coefficiente de determinação	=	0.9062
Coefficiente de correlação	=	0.9520
Porcento da soma total dos quadrados	=	90.6235

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	5
Número F observado	=	48.3250

Figura 23a - Distribuição $\text{Ca}^{2+} + \text{Mn}^{2+} / \Sigma \text{M}^{2+}$ entre carbonatos e tefroitas coexistentes. Buritirama.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0314
Variância não explicada	=	0.0058
Variância explicada	=	0.0257
Coefficiente de determinação	=	0.8163
Coefficiente de correlação	=	0.9035
Porcento da soma total dos quadrados	=	81.6258

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	18
Numero F observado	=	79.9634

- - F-12-76-94.8
- - F-12-76-122
- - F-12-76-111.7
- - F-12-76-117.0
- + - T-12-12-99.5
- - C- 2-37-81.1
- - C- 2-40-53.5

Figura 23b - Distribuição $\text{Ca}^{2+} + \text{Mn}^{2+} / \Sigma \text{M}^{2+}$ entre carbonatos e tefroitas coexistentes. Serra do Navio.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Variância total	=	0.0361
Variância não explicada	=	0.0078
Variância explicada	=	0.0283
Coefficiente de determinação	=	0.7843
Coefficiente de correlação	=	0.8856
Porcento da soma total dos quadrados	=	78.4277

TESTE DA SIGNIFICÂNCIA DA FUNÇÃO DE GRAU 1

Graus de liberdade do numerador	=	1
Graus de liberdade do denominador	=	25
Número F observado	=	90.8894

• - B-5-14-80.8	• - F-12-76-94.8
+ - B-5-16-80.2	○ - F-12-76-122
x - B-5-16-52.3	○ - F-12-76-111.7
◊ - B-5-13-97.3	● - F-12-76-117.0
▽ - B-5-14-67.1	+ - T-12-12-90.5
◻ - B-5-14-69.9	◻ - C-2-37-81.1
○ - B-5-14-72.0	■ - C-2-40-53.5
■ - B-5-14-73.5	
▽ - B-5-22-64.6	
⊗ - B-5-22-65.8	

Figura 23c - Distribuição $\text{Ca}^{2+} + \text{Mn}^{2+} / \Sigma \text{M}^{2+}$ entre carbonatos e tefroites coexistentes. Buritirama e Serra do Navio.

Figura 24 - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e os piroxenoides de Serra do Navio.

res de $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ até 0,35 (correspondendo a uma composição $\text{Mn}_{0,52}$, $\text{Ca}_{0,40}$, $\text{Mg}_{0,07}$, $\text{Fe}_{0,01} \text{CO}_3$)-. Entre os valores 0,35 e 0,40 não existem piroxenóides, mas a partir de 0,40 forma-se a rodonita. Na Figura 26 (coexistência de carbonatos com piroxenóides de Buritirama) observa-se que o limite dessa relação nas piroxmangitas é de 0,51, e que as rodonitas formam-se somente a partir de 0,74, existindo um "gap" entre esses valores.

Estes dados vem corroborar com o trabalho experimental de ABRECHT & PETERS (1975) dando-lhe uma interpretação dinâmica apenas sugerida pelos autores. A tolerância de substituição de Mn por Ca nas piroxmangitas depende de temperatura. Quanto menor a temperatura, maior o limite dessa substituição (Figura 25), confirmando temperatura máxima do metamorfismo de Buritirama inferior à de Serra do Navio. Esses fatos explicam o maior teor de Ca das piroxmangitas de Buritirama quando comparadas com as piroxmangitas de Serra do Navio. O mesmo fato é verificado quando se comparam as rodonitas das duas ocorrências.

A Figura 27 reúne a distribuição Ca/Σ cátions bivalentes de vários minerais contra a mesma relação dos carbonatos coexistentes. Essa figura tem o mérito de ressaltar intervalos de porcentagem em peso do Ca, no qual não existem carbonatos e consequentemente não é plotado nenhum outro mineral.

Nas amostras dos protominérios de Serra do Navio não foram encontrados carbonatos com distribuição de Ca maior que 0,56. A rigor, neste caso não se pode falar em intervalo.

Em Buritirama é nítida a falta de carbonatos com valores $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre 0,52 e 0,75.

Os dados da Figura 27 auxiliados pela observação dos "trends" vistos nas Figuras 7 e 11 sugerem que os carbonatos de Buritirama dispõem-se de um lado e do outro do "solvus" do sistema $\text{MnCO}_3 - \text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$, desprezando-se o conteúdo de Fe. A projeção do "solvus" desse sistema ternário deve interceptar o

Figura 25 - Resultados experimentais de síntese através da reação $(\text{Mn}, \text{Ca})\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 = (\text{Mn}, \text{Ca})\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$ à $P_{\text{total}} = 2 \text{ Kb}$ e X_{CO_2} variando entre 0,3 e 0,6 - Segundo ABRECHT & PETERS, 1975.

Figura 26 - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e os piroxenóides de Buritirama.

Figura 27 - Distribuição $\text{Ca}^{2+}/\Sigma\text{M}^{2+}$ entre carbonatos e rodonitas, piroxmangitas, espessartitas e anfibólios manganíferos de Buritirama e Serra do Navio.

"trend" de composição dos carbonatos nos pontos $\text{Ca}_{0,80} \text{Mn}_{0,18} \text{Mg}_{0,03} \text{CO}_3$ e $\text{Ca}_{0,56} \text{Mn}_{0,36} \text{Mg}_{0,08} \text{CO}_3$ (área calcita-dolomita-kutnahorita). Além disso dois carbonatos da amostra B-5-14 - 80,8m não se alinham no "trend" geral sugerindo que talvez também neste caso tivesse havido influência do "solvus" da área compreendida entre os carbonatos dolomita-kutnahorita-rodocrosita-magnesita.

Na Figura 27 são interpretados esses fenômenos baseados nos dados de observação das amostras de Buritirama e nos diagramas a 500°C e 600°C de GOLDSMITH & GRAF (1960). Por esses dados mais uma vez confirma-se uma temperatura entre 500 e 600°C para o pico do metamorfismo de Buritirama. (Figura 28).

Os "trends" de composição dos carbonatos de Serra do Navio (Figura 11) aproximam-se mais dos termos magnesianos, de maneira contínua indicando, não terem interceptado nenhum "solvus" do referido sistema e portanto indicando uma temperatura reinante maior do que a de Buritirama.

Estes dados são referentes aos protominérios manganíferos sílico-carbonáticos, e as conclusões a respeito das condições de P e T, diferentes nas duas jazidas, implicam no reconhecimento do fato que essas paragêneses refletem os picos do metamorfismo, independentemente da existência de um segundo metamorfismo em Serra do Navio, semelhante ao que ocorreu em Buritirama.

Nos mármore manganíferos e nos protominérios sílico-carbonáticos sem aluminossilicatos de Serra do Navio, o efeito do segundo metamorfismo restringiu-se a pequenas áreas ou a veios onde foi possível o caminho de soluções com inversão nos valores das frações molares de CO_2 e H_2O .

Figura 28. - Soluções sólidas no sistema $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-MnCO}_3$ a:
 (a) 500°C e Pressão total de 10 Kb;
 (b) 600°C e Pressão total de 10 Kb;
 Segundo GOLDSMITH & GRAF, 1960.

V - 4 - CORRELAÇÃO ENTRE O METAMORFISMO, A GEOTECTONICA E A GEOCRONOLOGIA

Na Serra de Buritirama ocorre uma seqüência meta-sedimentar (Grupo Grão Pará) que se sobrepõe discordantemente ao em basamento antigo denominado Complexo Xingu. Em Serra do Navio a situação estratigráfica é semelhante: rochas meta-sedimentares (Grupo Vila Nova) assentando-se sobre o embasamento antigo do Complexo Guianense. Uma área pertence ao Craton Guianes e outra ao Craton do Guaporé separados pela Sinéclise do Amazonas, mas ambas pertencentes a Plataforma Amazônica cuja continuidade é assegurada por grandes feições estruturais como: cinturões de do bramentos de metassedimentos, estruturas de fluxo das rochas ana tecticas dos complexos e feições lineagênicas motivadas por oro genias e ativações de plataforma (MONTALVÃO, 1976).

Ambas regiões pertencem à unidade geo-crono-tectônica Cinturão Móvel Maroni-Itacaiúnas de idade compreendida entre 1.800 e 2.200 m.a. (CORDANI *et al.*, 1977 e TASSINARI, 1978), ci clo orogenético Transamazônico.

Em Serra do Navio tem sido obedecida uma estratigrafia local estabelecida por NAGELL (1962) e seguida pelos geólogos da ICOMI, até SCARPELLI (1973). Trabalhos posteriores ao projeto RADAM (LIMA *et al.*, 1974; CORDANI, 1974; MONTALVÃO, 1976; CORDANI *et al.*, 1977; e TASSINARI, 1978), consideram os metassedimentos como pertencentes ao Grupo Vila Nova, antiga Série Vila Nova de ACKERMAN (1948) reunida com as ocorrências manganêsíferas da Ser ra do Navio.

Uma isócrona Rb/Sr de ectinitos do Grupo Vila Nova (CORDANI, 1974) forneceu idade de 2.090 m.a. Datações K/Ar dos metassedimentos da Serra do Navio forneceram idades entre 1.710 e 1.770 m.a. (SCARPELLI, 1973 e HERZ & BANERJEE, 1973) e 1.800 m.a. (biotita dos xistos encaixantes do protominério manganês ífero, segundo SCARPELLI, 1968).

A idade Rb/Sr em torno de 2.100 m.a. deve corresponder

ao pico do metamorfismo regional que atingiu temperatura da ordem de 700°C e pressões de 5,5 Kb. Após um período de resfriamento houve a superimposição de um segundo metamorfismo em condições de grau médio (fácies anfibolito), representando um reaquecimento desse cinturão móvel, concomitantemente com fenômenos de magmatismo ácido e intermediário do Grupo Uatumã. Os dados tectônicos e geocronológicos encontram apoio nas observações texturais, paragenéticas e mineralógicas deste trabalho.

Em Buritirama, existe uma isócrona Rb/Sr das rochas do Grupo Grão Pará na região do rio Itacaiúnas fornecendo idade de 1.960 ± 20 m.a. (GOMES *et al.*, 1975). Ao mesmo tempo esses autores apresentam para um anfibolito da Serra de Buritirama idades K/Ar de 1.961 ± 31 m.a. (amostra 8044 de GOMES *et al.*, 1975) e de 1.905 ± 59 m.a. para as metavulcânicas básicas da Serra dos Carajás. Na área existe também magmatismo do episódio Uatumã a partir de 1.800 m.a., representado pelo Granito Carajás com isócrona Rb/Sr (TASSINARI, 1978).

Os metassedimentos de Buritirama estudados neste trabalho não sofreram reaquecimento, como sugere a concordância dos dados geocronológicos K/Ar e Rb/Sr e os dados texturais, paragenéticos e mineralógicos discutidos anteriormente.

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas e instituições prestaram valiosa col
aboração para a realização do presente estudo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) colaborou com auxílio financeiro através das bolsas de Mestrado I e II, condição indispensável para o bom andamento das pesquisas desenvolvidas.

A Indústria e Comércio de Minérios S.A. - ICOMI auxili
ou com um grande acervo de testemunhos de sondagem da área de Serra do Navio, fator imprescindível para a realização deste estu
do.

A Companhia Meridional de Mineração colocou à disposição
seu arquivo de furos de sonda, também condição indispensável
para a realização de grande parte deste estudo.

O Professor Doutor José Vicente Valarelli, do Departamen
to de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, acompanhou e orientou todas as etapas
deste trabalho, desde a parte experimental até a redação final
, fornecendo seu valioso apoio.

O Professor Doutor José Moacyr Vianna Coutinho, do Depar
tamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências
da U.S.P., prestou auxílio valioso no estudo óptico de secções
delgadas dos protominérios e encaixantes.

O Professor Doutor Tjerk Peters da Universidade de Berna, contribuiu com discussões e sugestões para melhoria deste
trabalho.

O Professor Doutor J. Sommerauer, foi o responsável pelos dados de microsonda eletrônica obtidos nos laboratórios
do ETH, Instituto de Cristalografia de Zurich.

O Professor Doutor Jürgen von Raumer colaborou, juntamente
com o Professor Doutor José Vicente Valarelli, com estu

dos de inclusões fluidas em grãos de quartzo realizados nos laboratórios de Mineralogia de Fribourg, Suíça.

O Professor Rainer Shultz do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências, USP, forneceu auxílio valioso para o enriquecimento de parte dos estudos.

O Professor Doutor Raphael Hypólito do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências, USP, prestou sua colaboração para a melhoria do texto.

O Professor Doutor Umberto G. Cordani e o Geólogo Colombo Tassinari contribuíram com discussões de dados geocronológicos das duas áreas estudadas.

O Geólogo Jorge Kazuo Yamamoto efetuou análises estatísticas dos dados de microsonda eletrônica, contribuindo para o estudo da partição de elementos, utilizando computador eletrônico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas onde trabalha.

O Senhor Paulo Mori e Senhor João Batista de Souza do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências, USP, prestaram sua colaboração com a obtenção de numerosos difratogramas e filmes de raios X.

Os Senhores Jaime de Souza Marcos, Luiz Alberto Silveira Bello e a Senhora Maria Antonieta G. Bello foram os responsáveis pela revelação e ampliação de parte das fotografias presentes no texto.

A Senhora Nair de Campos Louzada e os Senhores José Ponchirolli e Jayme Alves da Silva são os responsáveis pela datilografia, paginação e impressão deste trabalho.

A Senhora Melany Thereza Isauk auxiliou com a confecção das seções delgadas utilizadas neste estudo.

A todas as pessoas citadas que forneceram sua colaboração, bem como as não mencionadas que deram seu apoio e auxílio a realização deste estudo, a autora mostra-se profundamente reconhecida e expressa seus melhores agradecimentos.

BIBLIOGRAFIA

- ABRECHT, J. & PETERS, Tj. - 1975 - Hydrothermal synthesis of pyroxenoids in the system $MnSiO_3$ - $CaSiO_3$ at $P_f = 2Kb$. Contrib. Mineral. Petrol. 50: 241-246.
- ACKERMANN, F.L. - 1948 - Recursos minerais do Território Federal do Amapá. Imp. Nacional, 30.
- ANDERSON, W.L., DYER, R.C. & TORRES, D.D. - 1974 . Ocorrências de manganês na Bacia do Rio Itacaiunas, Centro-Leste do Estado do Pará. Anais do XXVIII Congr. Bras. Geol., 6: 149-164.
- BARBOUR, A.P. - 1965 - Resumo da geologia dos depósitos de manganês de Serra do Navio. Ind. e Com. de Minérios S.A. - ICOMI, 10 pp. (inédito).
- BEISEGEL, W.R., BERNARDELLI, A.L., DRUMMOND, N.F., RUFF, A.W. & TREMAINE, J.W. - 1973 - Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. Rev.Bras.Geoc., 3 (4): 215-242.
- BELLO, R.M.S., CANDIA, M.A.F., COUTINHO, J.M.V. & VALARELLI, J.V. - 1976 - Ocorrência simultânea de piroxmangita e rodonita em protominérios de manganês brasileiros. XXIX Congr.Bras.Geol., Belo Horizonte, Resumos, p. 315.
- BITTENCOURT, A.V.L. - 1973 - Contribuição ao estudo genético do minério de manganês de Conselheiro Lafaiete, MG. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 81 pp.
- CASTRO, L.O. - 1963 - Study of the manganese ore deposit of the Serra do Navio District - Amapá, Brazil. Term. Paper, Stanford University, 1960. Rev.Bras.Geol., 12 (1): 5-35.
- CHATTERJEE, N.D. & JOHANNES, W. - 1974 - Thermal stability and standard thermodynamic properties of synthetic 2M1 Muscovite, $KAl_2 [AlSi_3O_{10}(OH)_2]$ Contr.Mineral.Petrol., 48: 89-114 (in M. Frey 74/75).

- CORDANI, U.G. - 1974 - Comentários - Amapá. Projeto RADAM (inédito).
- CORDANI, U.G., BASEI, M.A.S., TASSINARI, C.C.G., TEIXEIRA, W. & KAWASHITA, K. - 1977 - Outline of the Precambrian tectonic provinces in the Amazonian Region. V Congresso Venezuelano de Geologia.
- COUTINHO, J.M.V., PETERS, Tj., CANDIA, M.A.F. & VALARELLI, J.V. - 1976 - Mineralogical study of the main manganese carbonate silicate protore (queluzites) from Brazil and their weathering products. 25th International Geological Congress, Sydney, Australia. Abstracts 3: 764-765.
- CURRIE, K.L. - 1971 - The Reaction $3 \text{ cordierite} = 2 \text{ garnet} + 4 \text{ sillimanite} + 5 \text{ quartz}$ as a geological thermometer in the Opinicon Lake region, Ontario. Contr.Mineral.Petrol., 33: 215-216 (in WINKLER, 1976).
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. - 1963 - Rock forming minerals. William Clowes and Sons., Ltda., London.
- DORR, J.V.N., HOREN, A. & COELHO, I.S. - 1958 - Jazidas de manganês de Minas Gerais, Brasil. DFPM, Bol. 105, 95 pp.
- EBERT, H. - 1963 - The Manganese - bearing Lafaiete - Formation as a guide horizon in the Precambrian of Minas Gerais. An.Acad.Bras.Ciênc., XXXV (4): 545-559.
- FREY, M. - Gesteinsmetamorphose. Skriptum ws 74/75. Min. Petr. Institut der Uni. Bern, 139 pp.
- GIRARDI, V.A.V., COUTINHO, J.M.V. & VALARELLI, J.V. - 1965 - Estudo óptico e roentgenográfico das cordieritas de Paulínia, SP e Serra do Navio, Amapá. Congr. SBPC, Belo Horizonte. Ciência e Cultura, 17 (2): 133-134.
- GOLDSMITH, J.R. & GRAF, D.L. - 1957 - The system CaO-MnO-CO_2 : Solid-solution and decomposition relations. Geochimica et Cosmochimica Acta, 11: 310-334.
- GOLDSMITH, J.R. & GRAF, D.L. - 1960 - Subsolvus relations in the system $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3 - \text{MnCO}_3$. Journal of Geology, 68: 324-335.

- GOMES, C.B., CORDANI, U.G. & BASEI, M.A.S. - 1975 - Radiometric ages from the Serra dos Carajás area, Northern, Brazil. Geol.Soc.America Bull., 86: 939-942.
- HENSEN, B.J. - 1971 - Theoretical phase relations involving cordierite and garnet in the system $MgO-FeO-Al_2O_3-SiO_2$. Contr.Mineral.Petr., 33: 191-194.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1971 - Experimental study of cordierite and garnet in pelitic compositions at high pressures and temperatures. I - Compositions with excess aluminosilicate. Contr.Mineral. Petr., 33: 309-330.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1972 - Experimental study of cordierite and garnet in pelitic compositions at high pressures and temperatures. II - Compositions without excess aluminosilicate. Contr.Mineral.Petr., 35: 331-334.
- HENSEN, B.J. & GREEN, D.H. - 1973 - Experimental study of cordierite and garnet in pelitic compositions at high pressures and temperatures. III - Synthesis of experimental data and geological applications. Contr. Mineral. Petr., 38: 151-166.
- HERZ, N. & BANERJEE, S. - 1973 - Amphibolites of the Lafaiete, Minas Gerais, and the Serra do Navio manganese deposits, Brazil. Econ. Geol., 68: 1289-1296.
- HOFFER - personal communication, 1975 (in WINKLER, 1976, p.224).
- HOSCHEK, G. - 1969 - The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks. Contr.Min.Petr. Mitt, 20: 48-58 (in M. Frey-74/75).
- HURLEY, P.M., ALMEIDA, F.F.M. de, MELCHER, G.C., CORDANI, U.G., RAND, J.R., KAWASHITA, K., VANDOROS, P., PENSON Jr., W.H. & FAIRBAIN, H.W. - 1967 - Test of Continental Drift by comparison of radiometric ages. Science 157 (3788): 495-500.

- KENNEDY, G.C. - 1954 - Pressure - Volume - Temperature relations in CO_2 at elevated temperatures and pressures. Amer. Journal Science, 252: 225-241.
- KERN, M.R. & WEISBROD, M.A. - 1964 - Termodinamic de base pour minéralogistes, pétrographes et géologues. Mas'son et C^{ie}, Éditeurs, 120, boul. Saint Germain, Paris (Vie), 243 pp.
- LANDOLF-BOERNSTEIN - 1960 - Tables - Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- LEINZ, V. - 1948 - Estudo genético do minério de manganês da Serra do Navio, Território do Amapá. Acad.Bras. Ciên., 20 (2): 211-221, Rio de Janeiro.
- LIMA, M.I.C. de, MONTALVÃO, R.M.G. de, ISSLER, R.S., OLIVEIRA, A. da S., BASEI, M.A.S., ARAÚJO, J.F.V. & SILVA, G.C. da - 1974 - Geologia da Folha NA/BA. 22 Macapá. In Brasil DNPM - Projeto RADAM. Folha NA/NB. 22, Macapá (Levantamento de Recursos Naturais, 6).
- MAROTTA, C.A., SCARPELLI, W., MARUO, J., BARBOUR, A.P., LIMA, L. G.B. - 1963 - Notas sobre o distrito manganêsífero de Serra do Navio, Território Federal do Amapá, Brasil. Anais da VI Conferência Geológica das Guianas e DNPM Avulso 41: 57-59, 1966.
- MELFI, A.J. & PEDRO, G. - 1973 - Étude sur l'altération expérimentale de silicates manganésifères et la formation exogene des gisements de manganese. Bull.Groupe franç. Argiles. t XXVI: 91-105.
- MONTALVÃO, R.M.G. de - 1976 - Esboço geológico-tectônico do Cráton Guianês. Rev.Bras.Geoc., 6 (4): 230-245.
- NAGELL, R.H. - 1962 - Geology of the Serra do Navio manganese district, Brazil. Econ.Geol., 57: 481-498.
- PARK, C.F., Jr. - 1956 - Manganese ore deposits of the Serra do Navio district, Federal Territory of Amapá, Brazil. XX Int. Geol. Congr., Mexico, III: 347-376.
- PETERS, Tj., VALARELLI, J.V. & CANDIA, M.A.F. - 1974 - Petrogenetic Grids on the system Mn-Si-C-O-H. Rev.Bras.Geoc. 4 (1): 15-26.

- RIBEIRO FILHO, E. - 1968 - Geologia da região de Urandi e das jazidas de manganês Pedra Preta, Barreiro dos Campos e Barnabê, Bahia. Tese apresentada ao concurso de Livre Docência da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, 83 pp.
- RICHARDSON, S.W. - 1968 - Staurolite stability in a part of the system Fe-Al-Si-O-H. J.Petr. 9: 467-488.
- SCARPELLI, W. - 1963 - Aspectos genéticos e metamórficos das rochas do Distrito de Serra do Navio, Território Federal do Amapá, Brasil. VI Conferência Geológica das Guianas, e DNPM Avulso nº 41: 37-56, 1966.
- SCARPELLI, W. - 1968 - Precambrian metamorphic rocks of Serra do Navio, Brazil, unpublished work. Stanford University, 50 pp.
- SCARPELLI, W. - 1973 - The Serra do Navio manganese district (Brazil). Genesis of Precambrian iron and manganese deposits. Proc. Kiev. Symposium, 1970. Earth Sciences, 9: 217-222. Paris UNESCO.
- SILVA, A.R., SCARPELLI, W., MAROTTA, C.A. - 1961 - Contribuição ao estudo dos protominérios de manganês do distrito de Serra do Navio, Território Federal do Amapá. Anais XV Congr.Bras.Geol., Florianópolis e Rev.Bras. Geol., 12 (1): 37-48, 1963.
- SKIPPEN, G.B. - 1967 - An experimental study of the metamorphism of siliceous carbonate rocks. A dissertation submitted to the Johns Hopkins University in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Baltimore, Maryland, 251 pp.
- SKIPPEN, G.B. - 1974 - An experimental model for low pressures metamorphism of siliceous dolomitic marble. Amer. J. Sci. 274: 487-509.
- TASSINARI, C.C.G - 1978 - Comunicação pessoal.

- THOMPSON, J.B. & NORTON, S.A. - 1968 - Paleozoic regional metamorphism in New England and adjacent areas. In E-An Zen *et al.*, eds. Studies of Appalachian Geology. Interscience Publisher (John Wiley & Sons), New York. (in WINKLER, 1976, p. 223).
- TOLBERT, G.E., TREMAINE, J.W., MELCHER, G.C. & GOMES, C.B. -1971 - The recently discovered Serra dos Carajás iron deposits, Northern Brazil. Econ.Geol., 66: 985-994.
- TOLBERT, G.E. - 1973 - Geology and iron deposits of Serra dos Carajás, Pará, Brazil, in Genesis of Precambrian iron and manganese deposits: UNESCO symposium, Kiev, 1970, Proc.: 271-280.
- VALARELLI, J.V. - 1963 - Contribuição a mineralogia do minério de manganês da Serra do Navio, Amapá. Anais da VI Conferência geológica das Guianas e DNPM, Avulso nº 41: 83-98, 1966.
- VALARELLI, J.V. - 1967 - O minério de manganês da Serra do Navio, Amapá. Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, 149 pp.
- VALARELLI, J.V. - 1975 - La lithiophorite de la Serra do Navio, Amapá, Brésil. Bull. suisse Minéral. Petrogr. 55: 19-30.
- VALARELLI, J.V. - 1977 - Relatório sobre o minério de manganês do Azul, 104 pp. (inédito).
- VALARELLI, J.V., COUTINHO, J.M.V. & CANDIA, M.A.F. - 1976 - Paragenetic relations among carbonates, olivines and pyroxenoids in metamorphic carbonate silicate manganese protore from Brazil. III Congr. Latinoamericano de Geologia, México, Resumos, p. 142.
- VALARELLI, J.V. & CROSTA, A.P. - 1977 - Síntese de silicatos e alumino silicatos manganíferos. Relatórios de Bolsa de Iniciação Científica, FAPESP.
- WINKLER, H.G.F. - 1976 - Petrogenesis of Metamorphic Rocks - Springer-Verlag New York, Heidelberg, Berlin: 112-128; 202-233.