

METAMORFISMO DE SERRA DO NAVIO, AMAPÁ

Rosa M. S. Bello
Bolsista da FAPESP
J. Moacyr V. Coutinho
Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
José V. Valarelli
Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ABSTRACT

The protore of the Serra do Navio Mn - deposits are lens - shaped bodies of manganiferous marbles enclosed by Mn - bearing impure siliceous carbonate rocks. The country rocks are quartz - biotite - garnet schists, and quartzites.

The mineral phases of the protore are carbonates of the serie Ca - Kutnahorite - Ca-rhodochrosite, olivines, pyroxenoids and spessartite. Graphite is omnipresent. Accessory minerals include manganophillite, Mn-bearing amphiboles, pyrophanite and sulfides.

The mineral association graphite-pyroxenoid-olivine-Mn-Carbonate in the protore infers temperatures of the main metamorphism above 600°C and fugacities of oxygen - 10-20.

The conditions of metamorphism based on the interpretation of the mineral paragenesis of the impure siliceous carbonatic rocks and metapelites agree well with the deductions above and infer pressures in the order of 4-6 Kb, temperatures in the range 660-740°C and high amounts of CO₂ in the fluid phase of the carbonatic rocks.

Beside the main phase of metamorphism these are indications of a second metamorphic event of lower grade.

RESUMO

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

Os protominérios são constituídos essencialmente por Ca-Kutnahorita - Ca - rodocrosita, olivinas, piroxenóides e espessartita, tendo grafita como acessório constante. Outros minerais: manganofilita, anfibólios manganesíferos, pirofanita e sulfetos.

A associação grafita-piroxenóide-olivina-carbonato manganesífero no protominério indica temperaturas de metamorfismo acima de 600°C e logfO₂ -20 dependendo da pressão total.

As paragéneses das rochas calcossilicatadas indicam elevada fração molar de CO₂ e temperaturas superiores a 620°C à pressões superiores a 4 Kb.

As associações encontradas nas rochas metapelíticas indicam para o pico do metamorfismo $T = 700 \pm 40^\circ\text{C}$ e $P = 5,5 \pm 1 \text{ kb}$.

Vários indícios de uma segunda fase metamórfica de mais baixo grau foram observados nas rochas da área.

INTRODUÇÃO

Os depósitos de manganês de Serra do Navio estão localizados no centro do Território Federal do Amapá às margens do rio Amapari, a cerca de 10° de latitude norte e 52° de longitude este.

O presente trabalho teve como principal objetivo a contribuição para o conhecimento das condições de metamorfismo da área em questão.

O protominério de manganês de Serra do Navio é constituído por carbonatos, silicatos, grafita e sulfetos. É nítida a semelhança dessa jazida com as de Minas Gerais (Lafaiete, Saúde e São João del Rey), justificando uma previsão de que a metodologia de estudo e algumas considerações gerais pudessem ser aproveitadas no estudo destas últimas.

As condições feitas neste trabalho, a partir do estudo pormenorizado de protominérios e rochas encaixantes, levaram ao estabelecimento das condições de metamorfismo de parte do Grupo Vila Nova.

A jazida de Serra do Navio é, no Brasil, uma das mais importantes do ponto de vista de reservas. Conforme trabalhos anteriores (Silva et al, 1961) seu protominério deverá ser incorporado às reservas do minério da mesma forma que o protominério de Lafaiete.

Entrê os vários trabalhos, sobre a mineralogia e a origem secundária dos minérios de manganês de Serra do Navio, encontrados na literatura destacam-se : Leinz, 1948; Park, 1956; Nagell, 1962; Castro, 1963; Valarelli, 1963, 1967, 1975 ; Scarpelli, 1973). No entanto quando se referem ao protominério poucos são os autores (Scarpelli, 1963, 1968; Silva et al, 1961; Bello et al, 1976; Coutinho et al, 1976 entre outros) que tratam das condições metamórficas a que foram submetidos os antigos sedimentos.

Os vários trabalhos mencionados bem como os estudos regionais da área e do Projeto RADAM (Montalvão, 1976; Cordani, 1974; Cordani et al, 1977; Herz et al, 1973; Lima et al, 1974) representaram suporte adequado para este estudo.

GEOLOGIA REGIONAL

O Distrito manganífero de Serra do Navio faz parte do escudo Pré-Cambriano das Guianas que nessa região é composto principalmente por gnaisses, contendo em menor quantidade anfibólitos, xistos e quartzitos além de pegmatitos e veios de quartzo.

As rochas mais antigas pertencem ao Complexo Guianense e são constituídas essencialmente por gnaisses polimetamórficos Pré-Cambrianos.

Sobrepondo-se ao Complexo Guianense temos uma sequência vulcano-sedimentar metamorfizada denominada por Lima et al (1974) de grupo Vila Nova, que começa por anfibólitos, contendo localmente lentes de xistos, gnaisses e quartzitos. Segue-se uma sequência de metassedimentos constituídos por xistos, quartzitos e camadas ricas em carbonato.

Scarpelli (1963, 1968, 1973) utiliza a denominação de Nagell (1962) considerando os anfibólitos basais como pertencentes ao Grupo Serra do Navio, ambos fazendo parte da chamada Série Amapá.

Segundo Scarpelli (1973) as unidades do Grupo Serra do Navio se alternam num padrão relativamente cíclico que se repete ao menos três vezes. Essas unidades são subdivididas em três fácies distintas que contêm a mesma composição mineralógica mas em porcentagens diferentes e que controlam a localização dos protominérios de manganês. Essas fácies são denominadas de fácies quartzosa, fácies biotítica e fácies grafítica, da base para o topo.

Os protominérios de manganês ocorrem na parte superior da fácies grafítica como lentes de extensão e espessura variáveis.

Acima do Grupo Vila Nova existe uma sequência de rochas intrusivas, clásticas e vulcânicas pertencentes ao Grupo Uatumã.

A este do Distrito ocorre uma intrusão granítica sintectônica (Scarpelli, 1963) encaixada no pacote de xistos do Grupo Serra do Navio.

Em Serra do Navio existe uma isócrona Rb/Sr de ectinitos do Grupo Vila Nova (Cordani, 1974) fornecendo idade de 2090 m.a. Datações K/Ar dos metassedimentos de Serra do Navio forneceram idades entre 1710 e 1770 m.a. (Scarpelli, 1973 e Herz e Banerjee, 1973) e 1800 m.a. (Scarpelli, 1968).

METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho foram efetuados estudos mineralógicos e petrográficos pormenorizados, utilizando-se de microscópio petrográfico, platina universal de Federov, difratometria de raios-X, ao lado de estudos da composição química dos minerais, encontrados nos protominérios, através de microsonda eletrônica.

PROTOMINÉRIO DE MANGANÊS DE SERRA DO NAVIO

De maneira genérica foram caracterizados dois tipos de protominérios em Serra do Navio: carbonático e granatífero.

Protominério Carbonático ou mármore manganífero - Formado essencialmente por carbonatos (Ca-Kutnahorita - Ca-rodocrosita) ao lado de espessartita, olivinas e grafita. Em menor quantidade ocorrem piroxenóides manganíferos e acessórios: anfibólitos, biotita, feldspato potássico e sulfetos.

Protominério Granatífero - Possui um alto conteúdo de espessartita ao lado de quartzo, clinoanfíbólio e grafita que constituem os principais minerais. Podem ainda ser encontradas quantidades variáveis de acessórios como carbonato, titanita, biotita, clinopiroxenóide, pirofanita e sulfetos.

MINERALOGIA

Os carbonatos encontrados no protominério de manganês de Serra do Navio são constituídos essencialmente por MnCO_3 e CaCO_3 com pequena quantidade de MgCO_3 . A proporção de FeCO_3 é muito baixa.

Os piroxenóides encontrados foram a piroxmangita e a rodonita.

A piroxmangita ocorre mais frequentemente e está associada a carbonatos mais ricos na molécula MnCO_3 . (Bello et al, 1976).

As olivinas foram classificadas como tefroitas, sendo em alguns casos a composição próxima a da knebelita.

As granadas são formadas essencialmente pelo componente espessartita (cerca de 90%) possuindo em menores quantidades os componentes grossulária, almandina e pirope.

Além desses minerais foram detectados nos protominérios a flogopita manganífera classificada como mangano-filita e anfibólitos ricos em manganês.

Entre os minerais opacos e acessórios destacam-se principalmente a grafita que ocorre disseminada em protominérios e encaixantes, além da pirofanita, apatita e sulfetos.

DISCUSSÃO SOBRE AS CONDIÇÕES DE METAMORFISMO DE SERRA DO NAVIO

Nos protominérios de Serra do Navio foram encontradas as seguintes associações mineralógicas:

1. carbonato + rodonita + tefroita + espessartita + grafita
2. carbonato + tefroita + grafita
3. carbonato + tefroita + espessartita + grafita

4. rodonita + carbonato + grafita
5. essartita + rodonita + carbonato + grafita
6. carbonato + tefroita + Mn-flogopita + grafita
7. carbonato + tefroita + Mn-flogopita + essartita + grafita
8. tefroita + Mn-anfibólito + carbonato + Mn-flogopita + grafita
9. carbonato + piroxmangita + Mn-flogopita + grafita
10. essartita + piroxmangita + carbonato + Mn-flogopita + grafita
11. piroxmangita + carbonato + tefroita + grafita
12. piroxmangita + carbonato + Mn-anfibólito + essartita + grafita

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

A paragénesis (I): carbonato manganêsífero + rodonita + tefroita ± essartita + grafita e a paragénesis (II): piroxmangita + kutnahorita + tefroita + grafita são importantes pois mostram rodonita coexistindo com carbonato mais rico em cálcio e piroxmangita com carbonato mais rico em manganês, isto é, salientam a importância do cálcio no tipo de piroxenóide formado.

A menos da grafita, a associação piroxenóide-olivina-carbonato é isobárica univariante, independente da fugacidade de oxigênio, coincidente com uma reação investigada por Peters et al (1975), à temperatura constante de aproximadamente 600°C, fixando-se $X_{CO_2} = 1$ e $P = 2000$ bars.

A presença de grafita nessa associação passa a ter grande importância pois indica um equilíbrio em que a grafita funciona como tampão. Esse equilíbrio é visto em Peters et al (1975) indicando uma temperatura máxima de 600°C e fugacidade máxima de oxigênio segundo $\log f_{O_2} < -21$, nas condições experimentais consideradas.

Infelizmente faltam dados teóricos e experimentais para se considerar a influência da essartita, manganofilita e anfibólito manganêsífero nas condições de equilíbrio.

Nas rochas encaixantes calcossilicatadas é comum a associação calcita + tremolita + diopsídio que possui um amplo campo de estabilidade, existindo até um máximo de 650°C à pressão constante de 3 kb e até aproximadamente 730°C à pressão constante de 5 kb, o que pode ser visto em diagrama isobárico T - X_{CO_2} (Winkler, 1976).

A associação calcita + tremolita + diopsídio + quartzo também encontrada, corresponde a um equilíbrio isobárico univariante, que em diagrama isobárico T- X_{CO_2} apresenta o máximo valor de temperatura quando $X_{CO_2} = 0,8$ (Winkler, 1976). Os valores de pressão e temperatura para $X_{CO_2} = 0,7 - 0,8$ são os seguintes: 500°C - 1 kb; 550°C - 2 kb; 580°C - 3 kb; 620°C - 4 kb e 650°C - 5 kb (Skippen, 1974).

Nas rochas encaixantes metapelíticas são também encontradas associações importantes para a caracterização das condições de metamorfismo. Entre elas tem-se estauroilita geralmente associada à biotita, quartzo, granada e sillimanita indicando temperaturas superiores a 675°C para pressões de 5,5 Kb segundo as reações:

- a) estauroilita + muscovita + quartzo = Al_2SiO_5 + almandina + biotita + H_2O (Thompson & Norton, 1968)
- b) estauroilita + quartzo = Al_2SiO_5 + almandina + H_2O (Winkler, 1976)

As paragéneses das rochas metapelíticas de maneira geral (Bello, 1978) encontram-se entre os equilíbrios das reações seguintes, vistas em diagrama em Winkler (1976).

- estauroilita + muscovita + quartzo = sillimanita + biotita + H_2O (Hoschek 1969)
- muscovita + quartzo = sillimanita + k feldspato + H_2O (Chatterjee & Johannes, 1974)
- estauroilita + quartzo = sillimanita + granada + H_2O (Richardson, 1968)

As paragéneses indicam que o pico do metamorfismo pode ser estabelecido à temperatura de 700 ± 40°C e pressão total de 5,5 ± 1 kb.

Ao lado desses dados temos ainda a coexistência de cordierita e almandina junto a sillimanita, quartzo e biotita, associação que foi estudada por Hensen (1971) Hensen & Green (1971, 1972, 1973) e Currie (1971). Essa associação é apenas possível à 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 onde coexistem granada

e cordierita. Se essa razão decresce, aumenta a pressão de formação da granada e a cordierita persiste até pressões mais elevadas.

Girardi, Coutinho e Valarelli (1965) determinaram o valor da relação $FeO/FeO + MgO$ para cordieritas da Serra do Navio, obtendo valores de aproximadamente 0,4. Segundo Currie (1971) tal cordierita está em equilíbrio à 700°C com granada de $X_{FeO} = 0,85$, à pressão de aproximadamente 5,5 kb, condições que são concordantes com as estimadas a partir de outras paragéneses.

Essas condições de pressão e temperatura são suficientes para provocar migmatização, pegmatização e palingênese. Assim os mencionados pegmatitos e granitos sintectônicos (Scarpelli, 1963, 1968, 1972) são provavelmente de origem anatética.

Vários indícios de uma segunda fase metamórfica foram observados principalmente nas rochas encaixantes. Esta segunda fase está bem caracterizada nas rochas pelíticas, onde comumente é observada a formação de andalusita de segunda geração a partir de sillimanita.

Algumas vezes é observada andalusita associada a microclínio transformando-se em muscovita e quartzo, bem como sillimanita e biotita transformando-se em cordierita e muscovita. Nas rochas calcossilicatadas o principal indício dessa segunda fase é a transformação de diopsídio + feldspato potássico em flogopita + calcita.

Esta segunda fase metamórfica pode ser caracterizada como de grau médio, fácies anfibolito, com valores de X_{CO_2} bem inferiores às do primeiro metamorfismo.

Ligadas ou consequentes a esta fase, várias outras transformações "retrometamórficas" ou de ação de remobilização de soluções foram observadas, tanto nos protomínérios como nas rochas encaixantes (Bello, 1978).

CONCLUSÃO

A partir do estudo dos protomínérios de manganês bem como das encaixantes calcossilicatadas e metapelíticas foram deduzidas as seguintes condições para o pico do metamorfismo de Serra do Navio. $T = 700 \pm 40^\circ C$; $P = 5,5 \pm 1 kb$; $\log f_{O_2} < -21$ e eleva das frações molares de CO_2 : $X_{CO_2} = 0,7 - 0,8$.

Esse metamorfismo de mais alto grau foi provavelmente o responsável para a homogeneização do sistema Rb/Sr que forneceu idades de 2090 m.a. Após um período de resfriamento houve a superposição de um segundo metamorfismo em condições de grau médio (fácies anfibolito) que é evidenciado pelas datações K/Ar com idades entre 1800 e 1700 m.a.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos:

- à Fundação de Amparo à Pesquisas do Estado de São Paulo pelo apoio dado à Srta. Rosa Maria da Silveira Bello (bolsa de pós-graduação)
- à ICOMI - Indústria e Comércio de Minérios S/A e particularmente ao Geólogo Giro Maruo.
- ao Prof. Dr. Rainer Schultz pela sua contribuição nas discussões paragenéticas, críticas e sugestões.

BIBLIOGRAFIA

- Bello, R.M.S., Candia, M.A.F., Coutinho, J.M.V. e Valarelli, J.V. - 1976 - Ocorrência simultânea de piroxmangita e rodonita em protomínérios de manganês brasileiros XXIX Congr. Bras. Geol., Belo Horizonte. Resumos, p. 315.
- Bello, R.M.S. - 1978 - Condições de metamorfismo de Buritirama, Pará e Serra do Navio, Amapá. Dissertação de mestrado IG-USP, 154 pp. (inédito).
- 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.
- 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, T.J., Candia, M.A.F. & Valarelli, J.V. - 1976 - Mineral - ogical study of the main manganese carbonate silicate protore (queluzites) from Brazil and their weathering products. 25th International Geological Congress, Sydney, Austrália. Abstracts 3: 764-765.
- Currie, K.L. - 1971 - The reaction 3 cordierite = 2 garnet + 4 sillimanite + 5 quartz as a geological thermometer in the Opinicon Lake region, Ontario. *Contr. Miner. Petrol.* 33: 215-216.
- Girardi, V.A.V., Coutinho, J.M.V. & Valarelli, J.V. - 1965 - Estudo óptico e roent - genográfico das cordieritas de Paulínia, SP e Serra do Navio, Amapá. Congr. SBPC, Belo Horizonte. *Ciência e Cultura* 17(2): 133-134.
- Hensen, B.J. - 1971 - Theoretical phase relations involving cordierite and garnet in the system $MgO-FeO-Al_2O_3-SiO_2$. *Contr. Miner. 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. Miner. 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. Min. 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. Miner. 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
- Leinz, V. 1948 - Estudo genético do minério de manganês da Serra do Navio, Território do Amapá. *Acad. Bras. Ciênc.*, 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).
- 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., México, III: 347-376.
- Peters, T.J., 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.
- 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 protomênios de manganês do distrito de Serra do Navio, Território Federal do Amapá. *Anais XV Congr. Bras. Geol., Florianópolis e Rev. Bras. Geol.*, 12(1)

- 12(1): 37-48, 1963.
- Skippen, G.B. - 1974 - An experimental model for low pressures metamorphism of siliceous dolomitic marble. *Amer. J. Sci.* 274: 487-509.
- Thompson, J.B. & Norton, S.A. - 1968 - Paleozoic regional metamorphism in New England and adjacent area. In E-An Zen. et al, eds studies of Appalachian Geology. Interscience Publisher (John Wiley & Sons), New York.
- Valarelli, J.V. - 1963 - Contribuição a mineralogia do minério de manganês de 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. Fac. Fil. Ciências e Letras da USP, 149 pp.
- Valarelli, J.V. - 1975 - La Lithiophorite de la Serra do Navio, Amapá, Brésil. *Bull. Suisse Minéral. Petrogr.* 55: 19-30.
- Winkler, H.G.F. - 1976 - Petrogenesis of Metamorphic rocks - Springer-Verlag New York, Heidelberg, Berlin: 112-128; 202-233.