

GEOLOGIA E GÊNESE DOS DEPÓSITOS DE MANGANÊS DA PROVÍNCIA DE ARACOIABA – PACAJÚS, CEARÁ

por

JOSÉ VITORINO DE SOUZA

Universidade Federal do Ceará

e

EVARISTO RIBEIRO FILHO

Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada – IG.USP

ABSTRACT

The manganese deposits of Aracoiaba-Pacajus district are located in northeast of the State of Ceará, Brazil. The protore and the ore of some of the manganese deposits studied occur between belts of manganiferous rocks extending 60 by 15 km. The Precambrian regional rocks consist of gneisses, garnet-sillimanite-quartzites, metabasites and some pegmatites. These are the host rocks of the manganiferous rocks. All these rocks belong stratigraphically and structurally to the Caicó Complex and are part of the Jaguaribeana folding belt. The silicatic protore is composed of spessartite, rhodonite, quartz, manganocummingtonite with subordinated amounts of pyrite and pyrrhotite. The granulite facies of the regional metamorphism was superimposed by amphibolite facies. The original sediments which altered to form the protore were deposited in a restrict basin of reducing condition and underwent the action of two different phases of metamorphism. Surface weathering altered the protore forming an ore consisting of an assemblage of manganese oxides such as lithiophorite, pyrolusite, mangano-nsutite and αMnO_2 . The ore presents typical depositional and pos-depositional textures, which show that the ore was formed by replacement and cavity filling. The manganese content of the ore varies from 18 to 38%. The reserves of the district are 2.500.000 metric tons, making economic exploitation viable with a small, local siderurgical industry in Ceará. The manganese minerals were formed according to the following sequence: spessartite, lithiophorite and/or cryptomelane, mangane, pyrolusite, mangano-nsutite.

INTRODUÇÃO

Os planos de expansão da indústria siderúrgica nacional, por ampliação das que já existem, bem como por implantação de novos polos industriais regionais, estão a exigir conhecimentos pormenorizados das características e reservas dos minérios de manganês do país.

Se é verdade que alguns dos depósitos de manganês já estão convenientemente estudados, tais como os da Serra do Navio, de Lafaiete e até mesmo os da província mineral de Carajás, outros há que foram pesquisados somente com o propósito de satisfazer as exigências imediatas para o início de lavra. Alguns outros estão citados em trabalhos de reconhecimento geológico e/ou de cadastramento de jazidas. Os depósitos de manganês da Província de Aracoiaba-Pacajús,

cujas ocorrências já eram conhecidas em 1957 (Coelho, 1957), não haviam ainda sido estudadas com os objetivos propostos neste trabalho. Aqui, pretende-se relatar a caracterização paragenética e textural do protominério oxidado, definir sua gênese e interpretar a ação do intemperismo, bem como opinar sobre o seu possível aproveitamento econômico.

LOCALIZAÇÃO

A província manganífera de Aracoiaba-Pacajús está situada a 70 km de Fortaleza, no sudeste do Estado do Ceará.

Os depósitos de manganês desta província ocorrem em faixas dobradas de rochas metamórficas, com direções N-NE e S-SW, que se estendem em área aproximada de 60 km por 15 km de largura.

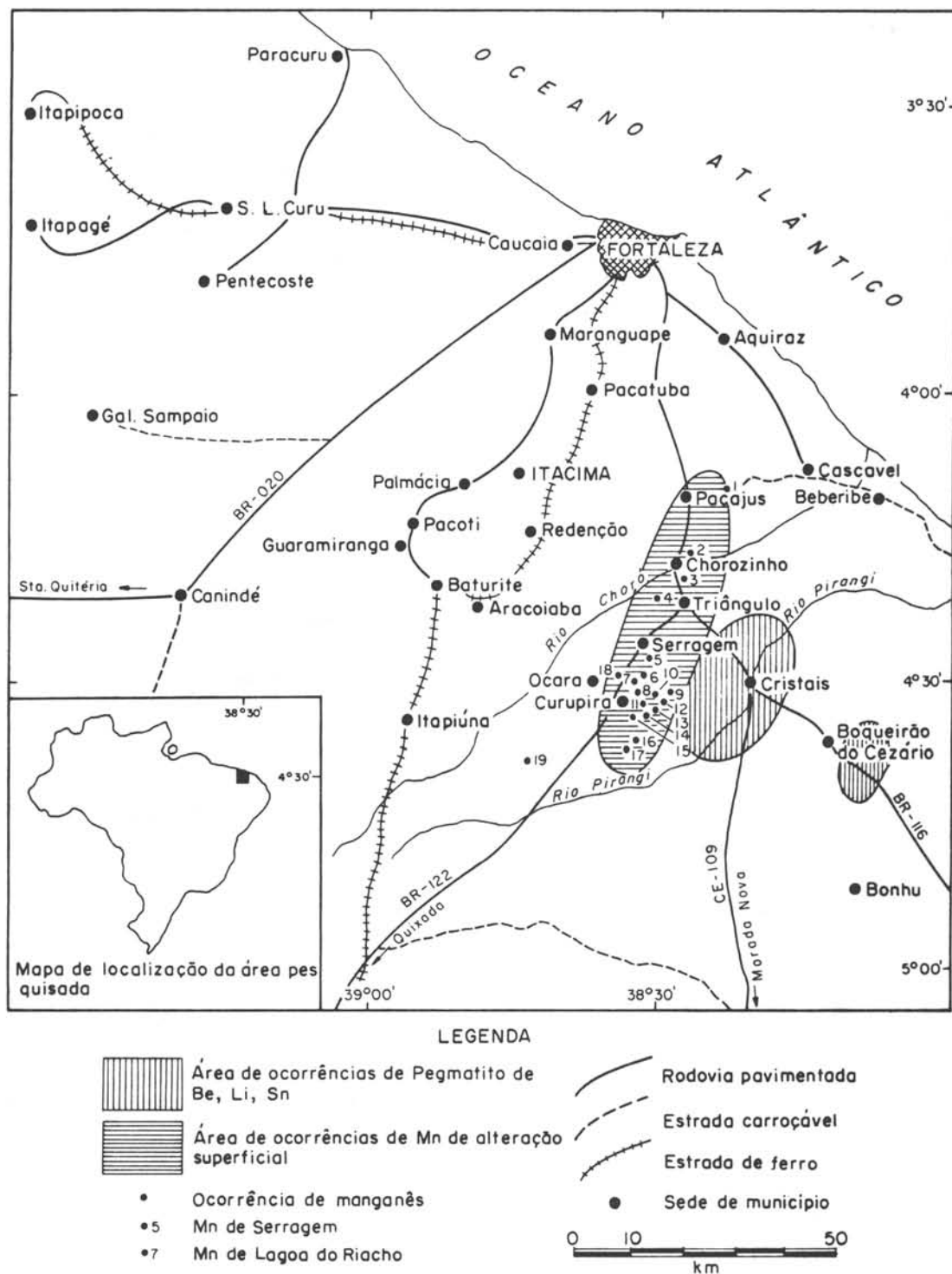


Fig. 1 — Mapa de situação das ocorrências de manganês
Municípios de Aracoiaba, Pacajús e Pacatuba — Ceará.

GEOLOGIA REGIONAL

Todas as ocorrências de rochas manganíferas aqui investigadas estão dentro da “faixa de dobramentos Jaguaribeana” (Brito Neves, 1975).

As faixas de rochas metamórficas dobradas, que estão confinadas entre o Maciço Piranhas a Sudeste e o maciço de Troia a noroeste, apresentam sequência lito-estratigráfica muito complexa. A compreensão desta complexidade tem sido dificultada pela intensidade de ação dos processos erosivos e de intemperismo.

As rochas pré-cambrianas regionais são migmatitognaisses, mármore e calcários, granodioritos, biotita gnaisses, hornblenda gnaisses, biotita muscovita gnaisses, anfibólio xistos, quartzitos, quartzitos micáceos, metabasitos e rochas de depósitos ortomolássicos.

Na feição tectônica observa-se claramente um autêntico mosaico de falhas transcorrentes que provocaram o deslocamento de rochas metamórficas, caracterizadas como de fácies anfibolítica.

As idades determinadas por radiometria, pelos métodos Rb-Sr e K-Ar em rocha total, confirmam a existência de rochas do ciclo Transamazônico e do ciclo Brasileiro, ou seja, rochas com idades entre 550-2.000 m.a. As idades de 2.000 m.a. foram obtidas em gnaisses e migmatitos da região de Quixadá, pertencentes ao Complexo Caicó.

O ciclo Brasileiro, com idade aproximada de 650 m.a. está representado na região por rochas metassedimentares do Grupo Ceará (Kawashita et al., 1976 e Brito Neves, 1975).

Os depósitos de manganês estão associados com a sequência de metassedimentos pré-cambrianos, constituída de migmatito-gnaisses localizados na base e de gonditos no topo da sequência. Intercaladas entre gnaisses e gonditos estão rochas tais como almandina-sillimanita quartzito, quartzito e metabasitos. Os gonditos, com direção N10°W e mergulho de 50-70° para nordeste, estão associados a blocos dobrados de rochas metamórficas, com eixos de direção N15°E. O lineamento da falha transcorrente que corta a área é conhecido como lineamento Senador Pompeu.

Na região que corresponde à área estudada são conhecidas 5 (cinco) “Superfícies” ou tipos de relevo, que correspondem ao mesmo número de níveis ou estágios de erosão: Super-

fície de Tabuleiros, Superfície Sertaneja, Superfície de Suaves Ondulações, Superfície de Elevações de Pequeno Porte e Superfície de Elevações de Médio Porte.

As Superfícies de Tabuleiros correspondem a superfícies aplainadas de cobertura cenozóica, cuja formação data do Pleistoceno Inferior (MABESOONE et al., 1975). Possuem altitudes variando de 30 até 80 m.

Quase ao mesmo nível do topo da superfície anterior, se forma o extenso pediplano da área de rochas cristalinas (BRAGA, 1977), que foi denominada de Superfície Sertaneja por MABESOONE et. al., (Op.Cit.) e corresponde à Superfície Velhas de KING (1956); essa superfície corresponde simultaneamente ao nível de abrasão de rochas cristalinas e ao nível de deposição de areias cenozóicas (ANDRADE et. al., 1965). Sua altitude varia de 80 a 110 m.

As Superfícies de Suaves Ondulações, constituídas de cangas manganíferas ou gnaisses, possuem altitudes que variam de 100 a 115 m. Os testemunhos destas superfícies representam comumente pequenas ocorrências de manganês.

As superfícies de elevações de Pequeno Porte rompem a homogeneidade da Superfície Sertaneja, com altitudes entre 130 e 150 m e são modeladas por gnaisses. Um exemplo típico é a pedreira do Serrote Pelado, localizado 1 km ao sul do Serrote Curupira.

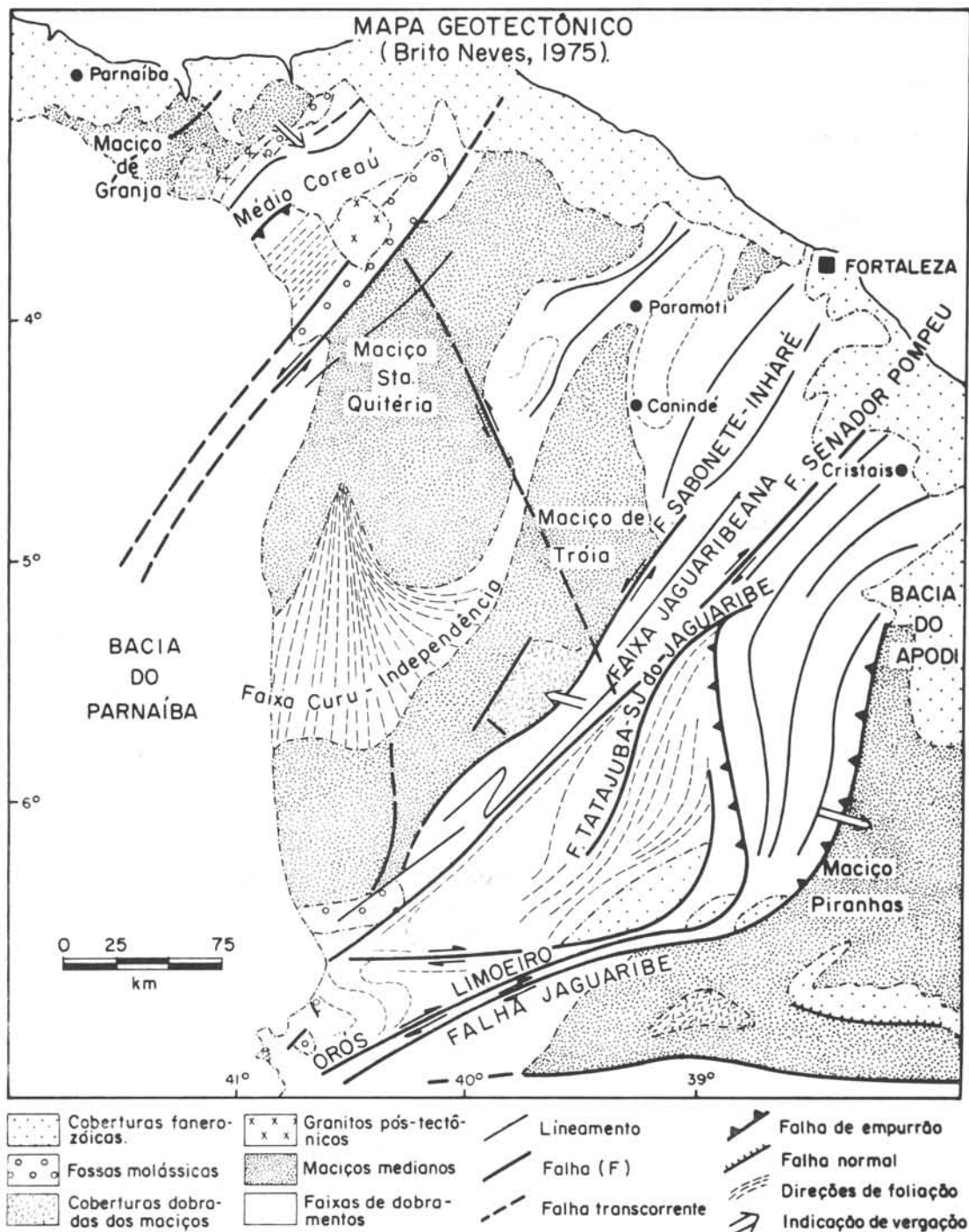
As Superfícies de Elevações de Médio Porte possuem feições marcantes na área; são resíduos de gnaisses e quartzitos que modelam morros e serrotes cujas altitudes variam de 160 a 380 m. São exemplos típicos desta superfície os serrotes de Curupira (386 m) e Ocara (270 m).

A região de Serragem, distrito de Curupira (Aracoiaba) corresponde precisamente à zona de transição da Superfície de Tabuleiros para a Superfície Sertaneja, dificultando sua distinção pelas altitudes.

PETROGRAFIA

Em Serragem e Lagoa do Riacho ocorrem migmatito gnaisses de textura granoblástica, compostos de quartzo (70%), pertita (3%), plagioclásio (14%), biotita (<4%), almandina (5%), sillimanita (<1%) e apatita (<1%).

No Serrote Pelado, próximo a Serragem,



ocorre migmatito-gnaíse de textura granoblástica, composto de quartzo (65%), almandina (3%), biotita (12%), plagioclásio (14%), sillimanita (<3%) e ortoclásio (<3%).

Na região de Chorozinho ocorrem migmatito-gnaíses semelhantes aos de Serragem e Lagoa do Riacho. Ocorrem também, migmatito básico e metabasito. O migmatito básico é escuro e de granulação grossa. Possui textura granuloblástica e a seguinte composição mineralógica: clino e ortopiroxênio (70%), microclina (5 a 8%), plagioclásio (5 a 8%), quartzo (8%), biotita (2%), hornblenda (2%), ilmenita e magnetita como opacos acessórios. O metabasito é de cor escura, de textura afanítica e contém os seguintes minerais: ortoclásio com albita exsolvida (1%), clino e ortopiroxênio (75%), plagioclásio (2 a 8%), quartzo (3 a 5%), ilmenita e magnetita (2 a 5%).

No Serrote Curupira próximo a Curupira, ocorre sillimanita quartzito de textura grano-lepidoblástica com quartzo alongado no sentido da foliação e porfiroblastos de almandina de tamanho variável entre 0,1 a 5 mm. Sua composição mineralógica é a seguinte: quartzo (93%), biotita (1%), granada (2%), sillimanita (3%) e limonita (1%).

Em Serragem e Lagoa do Riacho ocorre granada quartzito composto de 80% de granada, 15% de quartzo, apatita e minerais acessórios.

A sudeste de Lagoa do Riacho ocorre biotita-quartzito no Serrote de Cotas.

No Serrote de Ocara, próximo a Ocara, ocorre granatito de textura granoblástica que contém 80% de almandina.

PROTOMINÉRIO DE MANGANÊS

Os corpos lenticulares de protominério de manganês ocorrem em áreas aplainadas e em pequenos serrotes, com alturas máximas de 10 metros. Estes corpos estão intercalados em seqüências de almandina quartzitos e de gnaíses. São de direção N 80°W e mergulho que varia de 50° a 75°E. Suas espessuras variam de 0,10 a 3,50 metros.

Os protominérios tipicamente silicáticos contém quartzo (20%), espessartita (75%), rondonita (<2%), mangano-cummingtonita (<2%) e os sulfetos pirita e pirrotita. Trata-se portanto de uma rocha que pode ser classificada como gondito, conforme conceituação de Holtrop

(1965), ainda que não seja gondito na acepção genética preconizada por Roy (1968).

Quanto à composição mineralógica e gênese, gonditos semelhantes ao da Província Aracoiaba-Pacajús já foram estudados em Dongri Buzung, na Índia, no norte da Nigéria, em Gana e nas Guianas (ROY, 1965; HOLTROP, 1965). Por outro lado, apesar dos gonditos aqui descritos serem do mesmo ciclo tectônico dos protominérios da Serra do Navio, Amapá, e de Lafaiate, em Minas Gerais, petrologicamente são diferentes. Tanto no Amapá quanto em Lafaiate trata-se de protominérios sílico-carbonáticos.

Os gonditos da província Aracoiaba-Pacajús mostram textura em mosaico com cristais de espessartita fraturados. Em algumas amostras o quartzo é predominante em relação à espessartita e em outras dá-se o inverso. Textura bandada foi observada em algumas das lâminas. Pirita e pirrotita ocorrem como inclusões em cristais de granada, mas predominantemente em cristais de quartzo, nos quais a pirita está sob a forma de minúsculos glóbulos. A pirrotita forma ripas inclusas na espessartita e/ou no quartzo.

METAMORFISMO

A associação mineralógica das rochas regionais tais como gnaíses, quartzitos, metabasitos, migmatitos, xistos e pegmatitos evidenciam os seguintes aspectos:

a — Predominância de rochas metapelíticas contendo sillimanita, almandina e biotita.

b — Rochas máficas nas quais orto e clinopiroxênios ocorrem juntamente com ortoclásio e hornblenda.

c — Ausência de muscovita.

A observação dos aspectos mencionados acima, conforme os itens a, b e c, permitem que se chegue à conclusão de que, apesar da existência de áreas onde houve superposição de fácies anfibolítica e granulítica, a fácies granulítica é predominante na região (tabela 1).

Na região de Itacima, próxima à província Aracoiaba-Pacajús, as rochas regionais existentes, bem como a ocorrência de jacobsita no protominério silicático de manganês, encaixado em gnaíses, constituem mais um forte argumento a favor das condições de alto grau de metamorfismo (Ribeiro Filho e Lins Marinho, 1982).

| MINERAIS | MIGMATITO-GNAISSE | QUARTZITO | MIGMATITO BÁSICO | META-BASITO | META-BASITO | PROTO-MINÉRIO |
|------------------|-------------------|-----------|------------------|-------------|-------------|---------------|
| QUARTZO | X | X | X | X | X | X |
| BIOTITA | X* | X* | X | X | | |
| SILLIMANITA | X* | X* | | | | |
| PLAGIOCLÁSIO | X | X | X | X | X | |
| ORTOCLÁSIO | | | | | X* | |
| PERTITA | X | | | | | |
| ALMANDINA | X* | X* | | | | |
| MICROCLINA | X | | X | X | X | |
| ORTOPIROXÊNIO | | | X* | X | X* | |
| CLINOPIROXÊNIO | | | X* | | X* | |
| HORNBLENDA | | | X* | X | | |
| MAGNETITA | | | | X | X | |
| ILMENITA | | | | X | X | |
| APATITA | | | X | | | |
| GRAFITA | X | | | | | X |
| ESPESSARTITA | | | | | | X |
| Mn-CUMMINGTONITA | | | | | | X |
| RODONITA | | | | | | X |
| PIRITA | | | | | | X |
| PIRROTITA | | | | | | X |

* Associações mineralógicas caracterizadas como de alto grau de metamorfismo.

Tabela 1 — Paragênese das rochas metamórficas da província manganífera de Aracoiaba-Pacajús, Ceará

MINÉRIO

O minério é composto de criptomelana, pirolusita, litioforita e mangano-nsutita.

As texturas mais comuns no minério são as seguintes:

- *Textura reliquiar* — mostra cristais de espessartita alterados e/ou substituídos por αMnO_2 e por hidrossilicatos de ferro (Fotomicrogr. 1).
- *Textura zonada* — na qual cristais alterados de espessartita são zonados por goethita e criptomelana.
- *Textura pós-deposicional "em retalhos"* — na qual são observadas partículas de quartzo englobadas por cristais de pirolusita pseudomorfa segundo groutita e/ou manganita.
- *Textura pós-deposicional* — na qual a litioforita associada à espessartita aparece alterada em pirolusita. (Fotomicrogr. 2).
- *Textura coliforme* — com minerais supérge-nos de manganês, sílica e óxidos de ferro. (Fotomicrogr. 3).

PARAGÊNESE

A paragênese dos minerais de minério de manganês da região estudada está ilustrada na fig. 3, tabelas 2 e 3.

QUALIDADE, TEORES E RESERVAS DE MINÉRIO

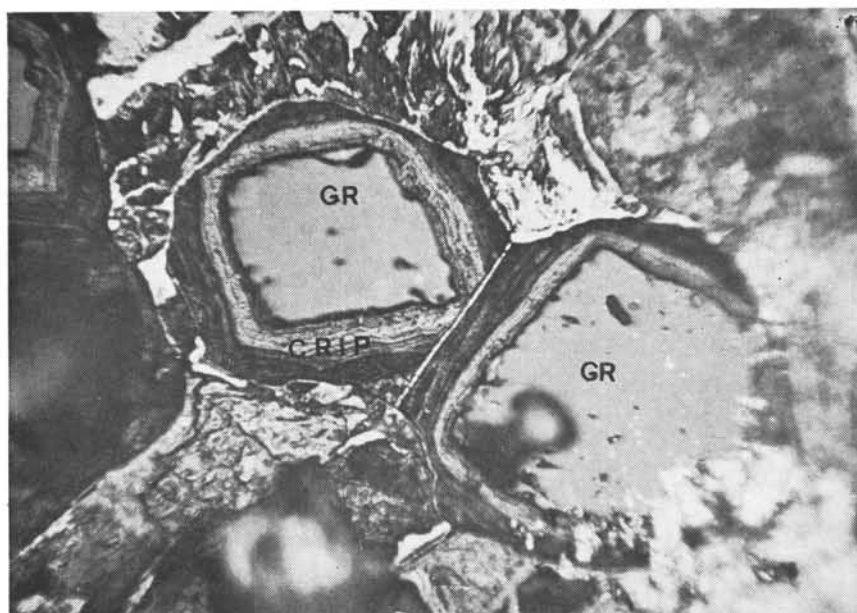
O protominério da província manganífera de Aracoiaba-Pacajús pode ser classificado em três tipos.

1 — Protominério sem alteração ou pouco alterado, com teores de Mn entre 1 e 13%.

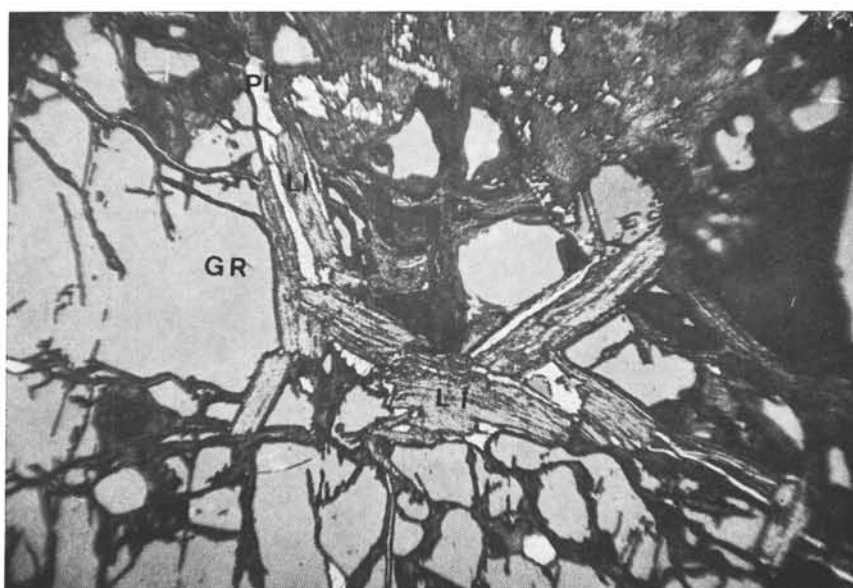
2 — Protominério alterado com teores de Mn entre 18 e 39%.

3 — Protominério com alteração de transição para minério, com teores de Mn entre 13 e 18%.

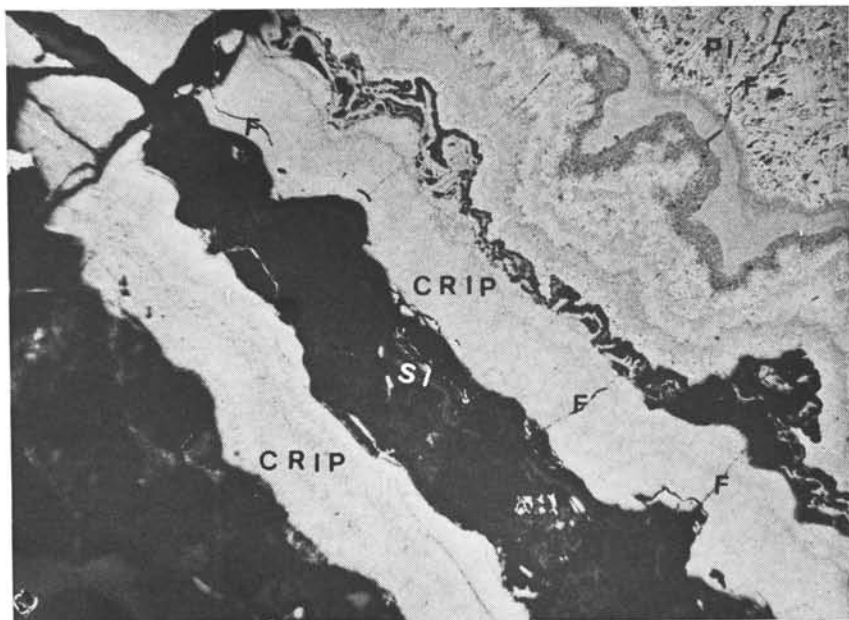
Somente o tipo 2 pode ser considerado minério, e portanto avaliado para possível aproveitamento econômico.



Fotomicrogr. 1 — Textura reliquiar zonada com espessartita (GR) substituída por criptomelana (CRIP) e por óxidos e hidróxidos de Fe. 75x.



Fotomicrogr. 2 — Textura pós-deposicional. Litioforita (LI) de transformação de espessartita (GR). Pirolusita (PI) substituindo litioforita (LI). 28x.



Fotomicrogr. 3 —
Textura coloforme
formada por
criptomelana (CRIP),
óxidos e hidróxidos
de Fe, sílica (SI) e
pirolusita (PI), Gretas
de contração (F). 75x.

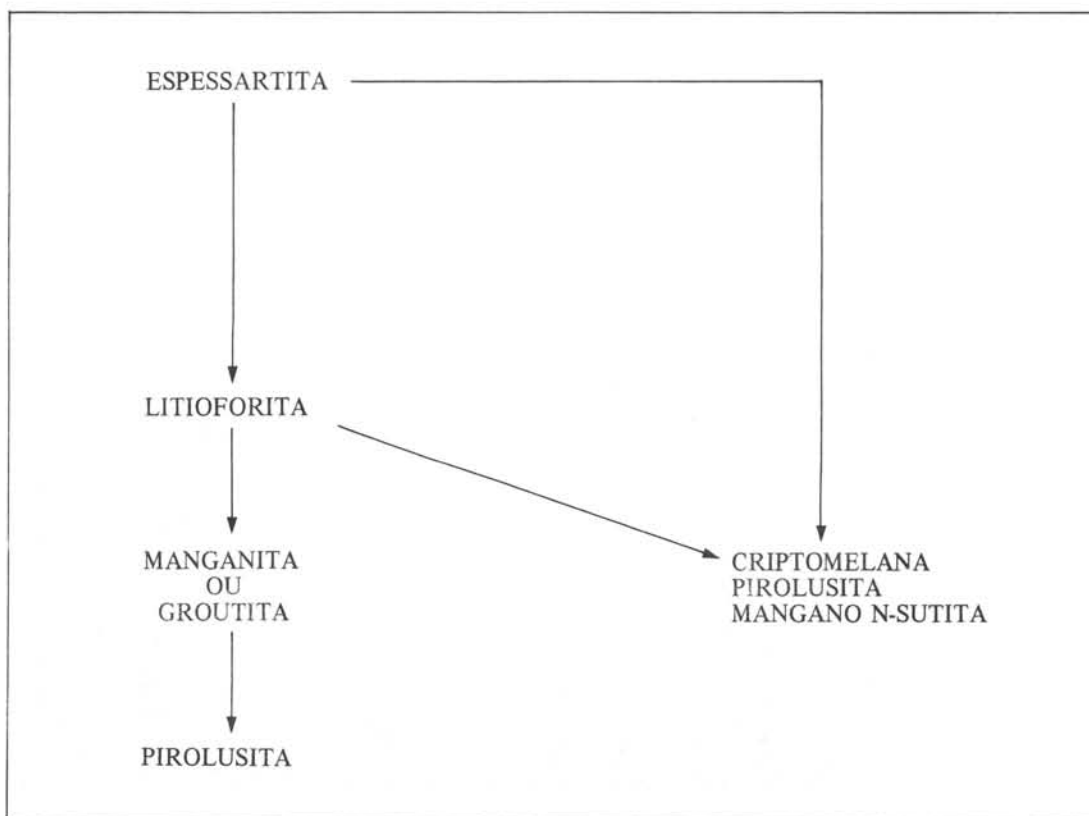


Fig. 3 — Seqüência de formação dos minerais de manganês de Aracoiaba-Parajús.








| MINERAIS | PROCESSOS DE FORMAÇÃO | |
|-----------------|---|--|
| | SUBSTITUIÇÃO | PREENCHIMENTO DE CAVIDADE E LATERIZAÇÃO |
| LITIOFORITA |  | |
| ÓXIDOS DE FERRO |  | |
| CRIPTOMELANA I |  | |
| PIROLUSITA I |  | |
| MANGANO-NSUTITA |  | |
| CRIPTOMELANA II | |  |
| PIROLUSITA II | |  |

Tabela 2 – Sucessão dos minerais oxidados da província manganífera de Aracoiaba-Pacajús, Ceará


















| MINERAIS | PARAGÊNESE | | |
|------------------|---|---|---|
| | SEDIMENTAR | METAMÓRFICA | SUPERGÊNICA |
| CARBONATO |  | | |
| OUTROS SILICATOS |  | | |
| PIRITA |  |  | |
| QUARTZO |  |  | |
| ESPESSARTITA | |  | |
| RODONITA | |  | |
| Mn-CUMMINGTONITA | |  | |
| PIRROTITA | |  | |
| LITIOFORITA | | |  |
| ÓXIDOS DE Fe | | |  |
| CRIPTOMELANA I | | |  |
| PIROLUSITA | | |  |
| Mn-NSUTITA | | |  |
| CRIPTOMELANA II | | |  |
| PIROLUSITA II | | |  |

Tabela 3 – Evolução das paragêneses sedimentar, metamórfica e supergênica do gondito da província manganífera de Aracoiaba-Pacajús, Ceará

O tipo 2 representa 50% do conjunto e, juntamente com o tipo 3, constitui 77% do material manganífero pesquisado. Considerados juntamente, os protominérios do tipo 2 e 3, têm teor médio de 23% Mn.

Conforme especificações do mercado, o minério estudado é de baixa qualidade. Isto é o normal para depósitos oxidados formados a partir de protominérios silicáticos intemperizados e de enriquecimento supérgeno. Como consequência, o minério não se enquadra como do "tipo metalúrgico de baixo grau", por ter baixos teores de Mn e altos teores de Al_2O_3 + SiO_2 ; nem se enquadra como do "tipo químico ou eletrolítico", que exige teores de MnO_2 entre 75% e 85%.

As reservas totais de "minério" com teor médio de 25% Mn são da ordem de $3,10^6$ t. Com lavra seletiva, em alguns dos depósitos seria possível o aproveitamento de "minérios" com teores médios de 28% Mn, mas evidentemente as reservas seriam diminuídas.

Em vista das considerações feitas, o aproveitamento das rochas manganíferas desta região do Ceará somente seria viável caso houvesse uma mudança nas condições para utilização de minério de baixo teor e de reservas pequenas. Ainda assim, os minério-gonditos investigados teriam uso em siderúrgicas implantadas no Ceará e próximas às jazidas, posto que, sem preencher estes requisitos, não teriam as mínimas condições de competir com minério de melhores fontes de suprimento.

| AMOSTRAS | Mn | Fe | SiO_2 | Al_2O_3 | $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ | P |
|---------------|------|------|----------------|-------------------------|--|------|
| 1 | 23,2 | 4,80 | 21,1 | 10,9 | 32,0 | 0,22 |
| 2 | 13,1 | 3,90 | 35,5 | 10,9 | 46,4 | 0,03 |
| 3 | 35,6 | 4,40 | 13,4 | 10,7 | 24,1 | 1,07 |
| 4 | 28,8 | 5,40 | 15,4 | 11,0 | 26,4 | 0,07 |
| 5 | 15,1 | 5,90 | 41,8 | 12,2 | 54,0 | 0,76 |
| 6 | 8,6 | 7,50 | 47,7 | 13,8 | 61,5 | 0,93 |
| TEORES MÉDIOS | 20,7 | 5,30 | 29,1 | 11,5 | 40,6 | 0,51 |

Segundo BRAGA et. al. (1977).

Tabela 4 — Análises químicas de "minérios" de manganês da província manganífera de Aracoiaba-Pacajús, Ceará (% em peso)

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, G.O. e LINS, R.C. — 1965 — *Introdução à morfoclimatologia do Nordeste do Brasil*. Arq. Inst. Cien. Terra, 3 (4): 17-28.
- BRAGA, A.Q.G. et. al. — 1977 — *Projeto Fortaleza* — Convênio D.N.P.M./C.P.R.M., 1 e 2. Inédito. Recife.
- BRITO NEVES, B.B. — 1975 — *Regionalização geotectônica do pré-cambriano nordestino*. IG-USP. Tese de doutoramento. São Paulo.
- COELHO, F.C.P. — 1957 — *Manganês do Estado do Ceará*. D.G.M./D.N.P.M. — Relatório Anual do Diretor. Rio de Janeiro.
- HOLTROP, J.F. — 1965 — *The manganese deposit of the Guiana Shield*. Econ. Geol., 60 (6): 1.185-1.212.

- KAWASHITA, K. et. al. — 1976 — *The behavior of solid — source mass spectrometer with glass tube and age determination on some rocks from the state of Ceará (Brasil)*. An. Ac. Bras. Ciências, 48 (1): 79-86.
- KING, L.C. — 1956 — *A geomorfologia do Brasil oriental*. Rev. Brasil. Geogr., 18 (2): 147-256.
- MABESOONE, J.M. e CASTRO, C. — 1975 — *Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste brasileiro*. S.B.G. — Núcleo Nordeste, Bol. 3: 5-36.
- RIBEIRO FILHO, E. e LINS MARINHO, J.M. — 1982 — *Prospecção magnetométrica em depósito silicático de manganês com jacobsita, no Ceará*. Bol. IG-USP. No prelo.
- ROY, S. — 1965 — *Comparative study of the metamorphosed manganese protore of the world, the problem of the nomenclature of the gondites and kodurites*. Econ. Geol., 60 (7): 760-786.
- SOUZA, J.V. de — 1979 — *Geologia e gênese do protominério e do minério da Província Manganífera de Aracoiaba-Parajús, no Estado do Ceará*, IG-USP. Tese de doutoramento. São Paulo.