

O CARBONATO DE MANGANÊS COMO PROTOMINÉRIO NO DISTRITO DE SERRA DO NAVIO⁽¹⁾

Por

R. H. NAGELL e A. R. DA SILVA (2)

RESUMO

O minério compacto de manganês do distrito da Serra do Navio teve como protominérios uma sequência de carbonatos e silicatos de Mn. Estes originaram-se de um calcário manganífero com impurezas de sílica e alumina submetido posteriormente a intenso metamorfismo. Durante o processo de recristalização dependendo das proporções relativas de carbonato, sílica e alumina formaram horizontes de protominérios. O horizonte inferior é principalmente rodocrosita incluindo espessartita, e outros silicatos, enquanto que os superiores são mais gondíticos. Os horizontes de protominérios parecem constituir uma formação dentro de um espesso pacote de micaxisto, grupo superior dos metasedimentos precambrianos do Amapá.

Condições favoráveis de clima e topografia promoveram intemperismo químico em profundidade, transformando carbonatos e silicatos em dióxidos de Mn relativamente insolúveis, verificando-se, concomitantemente, processos de lixiviação e substituição parcial de ferro, sílica e alumina. Superficialmente ocorre migração e reprecipitação de manganês que substitui algumas dezenas de metros das encaixantes meteorizadas. Este tipo de depósito pode ser classificado como concentrações lateríticas residuais, excepcionalmente enriquecidas devido a oxidação do carbonato de manganês.

ABSTRACT

The manganese oxide ores of the Serra do Navio district are derived from a sequence of carbonate and silicate protores. The protores originated as Precambrian manganiferous carbonate sedimentary horizons with aluminous and siliceous impurities. Under conditions of metamorphism, recrystallization of the carbonate and the formation of manganese silicates took place according to the relative amounts of carbonate and impurities present in the original beds. The lowermost protore horizon is mostly rhodochrosite with spessartite and other silicates. Several layers of gondite composed of spessartite and rhodonite lie above the rhodochrosite horizon. The protore horizons are a part of a group of mica schists which forms the uppermost group of the Amapa series of metasediments.

Deep weathering, promoted by favorable climatic and topographic conditions, oxidized the protore minerals to relatively insoluble manganese dioxides accompanied by leaching and partial replacement of iron, alumina, and silica. Near the surface, migration and reprecipitation of manganese has replaced enclosing weathered country rock. The Serra do Navio ores are classified as residual lateritic concentrations of exceptionally high grade resulting from the oxidation of manganese carbonate protores.

(1) Com permissão da ICOMI.

(2) Do serviço geológico da ICOMI.

INTRODUÇÃO

O distrito manganífero de Serra do Navio vem produzindo mais de 600.000 toneladas de minério de alto teor desde janeiro de 1957. As jazidas estão localizadas no centro do Território Federal do Amapá, nas margens do rio Amapari. O minério é transportado, num percurso 195 km por via férrea, da mina ao pôrto de Santana, no braço Norte do estuário do rio Amazonas (Fig. 1).

GEOLOGIA

Os protominérios de manganês, tanto carbonato como silicatos são membros de um grupo de rochas precambrianas altamente metamorfoseadas, com cêrca de 2.500 metros de espessura mínima. Da base ao topo, até agora, distinguimos 3 grupos de rochas, assim distribuídas: quartzito, anfíbolito e biotita-granada-xisto.

Os horizontes de protominérios acham-se dentro do grupo superior (Bgs), 40 metros acima do contato com o anfíbolito (Am). O biotita-granada-xisto tem espessura mínima ao redor de 500 metros.

A composição mineralógica do biotita-granada-xisto é muito variável. Essencialmente esta rocha é composta de quartzo e biotita, com uma série de plagioclásios, de oligoclásio a andesina. Apesar da rocha conter por volume, 8 por cento em média de granada almandina, esta é, às vèzes, invisível macroscopicamente; neste caso a rocha é denominada quartzo-biotita-gnaiss. Dentre os minerais acessórios, que perfazem uns 13 por cento da rocha, incluem-se: estauroлита, silimanita, muscovita, andalusita, grafita, apatita, turmalina e magnetita. Pirita, e em menor quantidade calcopirita e bornita, comumente ocorrem em planos de foliação, enquanto que pirrotita, fortemente magnética, está freqüentemente associada a zonas de diopsídio. A grafita é mais abundante nas proximidades dos horizontes de protominérios: carbonato ou gondito.

Protominérios

O membro de protominérios compreende um horizonte inferior de rodocrosita com granada espessartita e outros silicatos. Acima do horizonte de rodocrosita, e separado dèle (Bgs), há uma série de horizontes de gondito com espessura variável entre 0,5 m a 15 m. A espessura total do membro de protominérios, incluindo pequenas intercalações de biotita-granada-xisto (Bgs) é por volta dos 70 metros.

A espessura do carbonato oscila de 6 a 35 metros com cêrca de 6 km de extensão, indo da mina T-6 à jazida C-2 ao norte do distrito. A textura desta rocha mostra grãos de rodocrosita com 1 a 2 mm, incluindo grânulos de grafita e cristais perfeitos de espessartita, desde disseminações esparsas até 25 por cento, por volume, da rocha. Os cristais de espessartita são parcialmente substituídos por carbonato ao longo das direções cristalográficas. A composição do carbonato varia

de 40 a 99 por cento em rodocrosita. Entre as impurezas acham-se: quartzo, espessartita, apatita, esfeno, microclino, grafita, clorita, diop-sídio e pequenas quantidades de alabandita. O teor médio de MnO nas amostras analisadas é de 47 por cento; MnO₂ não foi identificado.

Camadas de gondito são encontradas em tôda as minas da Serra do Navio e sua distribuição é facilmente observada graças à preservação de sua textura característica no minério.

Os gonditos são constituídos essencialmente de cristais perfeitos, marrom-claros de granada espessartita com 1 mm a 2 mm de diâmetro numa matriz quartzítica. Grafita pode ser abundante na matriz. Agulhas de rutilio são normais às faces dos cristais de granada (L. Castro, 1960, trabalho não publicado, Universidade de Stanford) Anfibólio e rodonita ocorrem em pequenas quantidades. L. Castro (sup. cit.) identificou picrotefroita nos gonditos. O teor de manganês na espessartita é cêrca de 28 por cento; temos encontrado teores de 8 a 20 por cento em gonditos frescos, variação esta condicionada a concentração de espessartita presente.

A textura gondítica é preservada na zona do intemperismo, tanto em camadas de gondito alterado para argila, como no minério compacto, onde se vê espaços reliquiores dos cristais de granada. Êstes podem ser vazios ou preenchidos por argila clara, ou ainda conter uma delicada rêde de limonita. Às vêzes se encontram cristais frescos de espessartita no minério compacto e em limonita; provavelmente foram protegidos do intemperismo por um filme daqueles óxidos.

Estruturas

Os metasedimentos têm direção geral noroeste concordante com dobras isoclinais. A foliação das rochas é paralela à direção das jazidas e mergulha para nordeste no limbo oeste do distrito. A relação das jazidas da Serra do Veado com as maiores jazidas do Espigão Terezinha (Fig. 2) é ainda desconhecida, todavia os dados até agora acumulados sugerem para a Serra do Veado o flanco Leste do sinclinal.

Os elementos lineares, intersecção dos planos de clivagem com os de foliação, acham-se alinhados com o eixo da dobra. Estas estruturas, na maioria dos casos, têm mergulho para noroeste, mas localmente se encontra mergulho para sudeste.

Falhas são abundantes no distrito. A maioria, observada no limbo oeste, ao longo do Espigão Terezinha, têm direção noroeste, mergulhando para nordeste. Onde massas de minério compacto estão separadas por zonas de argila, vêem-se elementos de falhas: planos com espelho tectônico, argila e óxidos de Mn brechados, mostrando fragmentos angulares e xistos intemperizados contorcidos. Tudo isto sugere falhamento relativamente recente ou, pelo menos, posterior à meteorização das encaixantes e formação dos óxidos secundários. Tais brechas podem ser estruturas de acomodação, produzidas pela compactação do xisto alterado sob o pêsso do minério. Testes de compac-

tação evidenciaram que a argila sofre diminuição de 20 por cento do seu volume total, desde que uma superfície seja submetida a uma força de compressão correspondente a uma profundidade de 35 metros.

Intemperismo

A meteorização das rochas nos espinhaços ultrapassa 100 metros de profundidade. Superficialmente há um manto de argila vermelha (laterito), sem estruturas, com espessura ao redor dos 10 metros. Abaixo dêste vem espessa camada de argila cinza, na qual as estruturas e texturas dos metasedimentos, não raramente, se encontram preservadas (Fig. 3).

Os óxidos de manganês ocorrem somente na zona de intemperismo. O minério aflora descontinuamente numa extensão total de 10 km. Abaixo do manto laterítico algumas jazidas tem 1.300 metros de comprimento por 200 metros de largura. Em profundidade o minério continua até o limite inferior do intemperismo, seguindo os horizontes de protominério. O carbonato manganífero só foi encontrado abaixo da zona de meteorização; remanescentes de gondito e cristais de espessartita são, às vezes, encontrados na zona de alteração meteórica.

Gênese do minério em relação ao protominério

Origem dos protominérios

Os horizontes de protominérios têm origem associada à deposição de uma sequência de sedimentos arenosos e argilosos. Durante a deposição do carbonato impuro de Mn, provavelmente prevaleceram condições redutoras. Esta conclusão é baseada na presença de grafita associada aos protominérios, assim como pequena quantidade de alabandita e sulfetos de ferro e cobre. Situação semelhante foi descrita por Dorr, Coelho, e Horen (1956) como existindo durante a formação dos carbonatos de manganês de Lafaiete em Minas Gerais. Segundo pesquisas de Krumbein e Garrels (1952) é requerido um potencial de óxido-redução fortemente negativo em pH 7 normal para que carbonatos se depositem concomitantemente com alabandita. Em tais condições óxidos de manganês dificilmente se formariam. No distrito da Serra do Navio não se encontrou óxidos de manganês abaixo da zona de intemperismo e oxidação. A fonte primária do manganês não é conhecida. Fácies de óxido de ferro na formação quartzítica inferior são identificadas ao Sul e Leste. Quartzo-magnetita, associada com anfíbolito a Leste da Serra do Navio sugere ambiente redutor e pode indicar que a fonte estava localizada a Leste. Isto pressupõe que como em outros distritos, o manganês foi transportado na antiga bacia sedimentar bem mais longe que o ferro.

Metamorfismo

Durante a deformação, os sedimentos foram metamorfoseados para rochas do fácies anfíbolítico. Localmente sub-fácies de grau ele-

vado de metamorfismo é indicado pela presença de associações mineiras como estauroilita-silimanita e hornblenda-diopsídio. A formação do carbonato de manganês e do gondito a partir do calcário original dependia das proporções relativas de carbonato, sílica e alumina na rocha. Quando havia predominância de carbonato, da recristalização resultou rodocrosita; por outro lado, predominando sílica e alumina, a rocha resultante foi o gondito. Rodonita e pierotefroita formaram-se ao mesmo tempo que a espessartita.

Pensa-se que a grafita exerça um controle textural nas rochas metamórficas. A presença de grafita condicionaria uma diminuição na granulação das rochas.

A distribuição e relações da alabandita com o protominério ainda não é conhecida. No distrito de Lafaiete a alabandita é bem distribuída e interpretada como constituinte original dos sedimentos. Isto possivelmente ocorre também em Serra do Navio.

Pirita, calcopirita, bornita e, às vezes, pirrotita, formam vênulas e segregações nos planos de foliação do biotita-granada-xisto. No quartzito e anfibolito também se encontra pirita. Às vezes os sulfetos estão associados a vieiros de quartzo sugerindo ação hidrotermal. Entretanto, nenhuma alteração hidrotermal foi identificada nas adjacências das veias. Por esta razão e para explicar o elevado teor de arsênico, pressupõe-se que cobre e arsênico foram depositados com os sedimentos em ambiente redutor.

Intemperismo do protominério

Durante a elevação e concomitante erosão das rochas do distrito, os protominérios foram submetidos a intensa meteorização. Nas condições atuais de clima rigorosamente tropical, o intemperismo químico é muito rápido e completo. Temperaturas superiores a 24° C, chuvas abundantes e a produção de ácidos húmicos pela decomposição imediata da matéria orgânica, são os fatores capitais que promovem a alteração química total. As argilas resultantes deste processo meteórico são notavelmente permeáveis no distrito. A zona vadosa é bastante profunda pois é comum a perda d'água em sondagem além dos 100 metros. A circulação da água subterrânea é particularmente apreciável no minério, que é muito poroso, e no contato superior do carbonato manganífero.

Em testes de acidez para as argilas encontrou-se um pH 5 médio. Nestas condições, os protominérios decompõem-se libertando Fe e Mn divalentes, alumina (Al_2O_3) e sílica (SiO_2). A oxidação procede rapidamente, o Mn divalente passa a Mn tetravalente formando óxidos (MnO_2) relativamente insolúveis. Criptomelana e pirolusita são os principais óxidos; litioforita é encontrada como um filme azul iridescente recobrando o minério; manganita foi identificada em uma amostra proveniente do limite inferior do minério. A forma de alguns cristais de pirolusita sugere que sejam pseudomorfos da manganita.

Evidências de solução e redeposição de óxidos são comumente encontradas em pequenas cavernas no corpo mineral. As cavidades são forradas por uma crosta cristalina de pirolusita (geodos) capeadas por camadas coloformes de criptomelana. Estalactites e crescimentos botrioidais de criptomelana são freqüentes.

Pesquisas geoquímicas em água de regatos que cortam as jazidas, revelaram manganês sempre à juzante da zona mineralizada e nunca à montante. A formação do granzon, concreções concêntricas de pirolusita, no laterito também é evidência de redeposição dos óxidos de Mn ao redor de um núcleo. A medida que estas concreções aumentam de tamanho, impurezas como ferro, sílica e alumina vão sendo substituídas, resultando o aumento do teor de manganês. O granzon é sempre associado a afloramentos ou a matações do minério e o manganês provavelmente provém da solubilização deles. Para formar o granzon, o manganês deve migrar poucos metros no solo. Este movimento, em parte, deve ser vertical porque o tamanho das concreções decresce em direção a superfície. A agregação de granzon pode, em alguns lugares, capear matações de minério, isto acontece quando as concreções são reunidas por um cimento de óxido de Mn que substituiu a argila vermelha intersticial.

A migração do manganês no protominério gondítico, parece variar da zona de enriquecimento ao minério compacto em certos lugares, e para o minério de baixo teor em outros. O teor médio de manganês, 8 por cento no minério pobre, é menor do que no gondito fresco, cujo teor médio é ao redor dos 15 por cento. Parece que neste tipo de minério o manganês migrou poucos milímetros das granadas indo depositar na matriz.

SUMÁRIO

As jazidas de alto teor de óxido de manganês da Serra do Navio, derivam de uma seqüência de carbonatos-silicatos, originados de camadas metamorfeadas de carbonato impuro. Estas camadas foram submetidas a dobramentos, apresentando forte mergulho. Intemperismo em profundidade oxidou o manganês a dióxidos de manganês com lixiviação e substituição parcial de ferro, sílica e alumina. Próximo à superfície, ocorrem migração lateral e precipitação de manganês, em distância de até algumas dezenas de metros, acompanhadas por substituição das encaixantes argilosas meteorizadas. Estes depósitos podem ser classificados como concentrações lateríticas residuais, cujo teor excepcionalmente alto se deve à presença de protominério de carbonato de manganês.

BIBLIOGRAFIA

- CASTRO, L. C. — (1960) — *Study of the manganese ore deposits of the Serra do Navio district*, term paper, Stanford University.
- DORR, J. V. N. II, PARK, C. F. Jr., and PAIVA, G. — (1949) — *Manganese deposits of the Serra do Navio District, Territory of Amapa, Brazil*, U. S. Geol. Surv., Bull. 964A.

- DORR, J. V. N. II, SOARES COELHO, I., and HOREN, A. — (1956) — *The manganese deposits of Minas Gerais, Brazil*, in Symposium Sobre Yacimientos de Manganese. T. III, XX Int. Geol. Cong., p. 279-346.
- KRUMBEIN, W. C. and GARRELS, R. M. — (1952) — *Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation reduction potentials*, Journ. Geol., vol. 60, N.º 1.
- LEINZ, V. — (1948) — *Estudo genético do minério de manganês da Serra do Navio, Território do Amapá*, Anais da Ac. Bras. de Cienc. T. XX, N.º 2.
- PARK, C. F. Jr. — (1956) — *Manganese ore deposits of the Serra do Navio district, Federal Territory of Amapá, Brazil*, T. III, XX.º Int. Geol. Cong., p. 347-376.

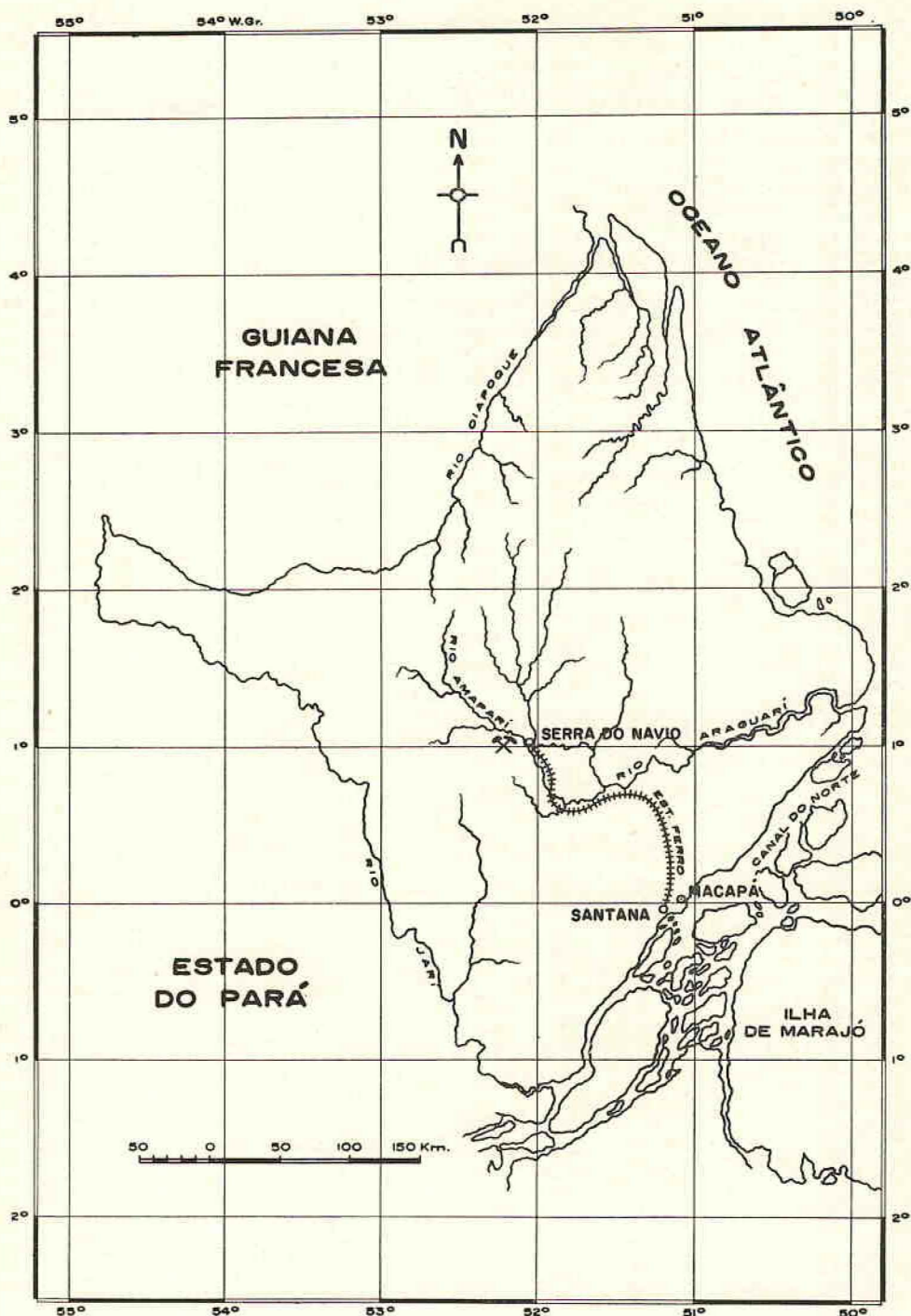
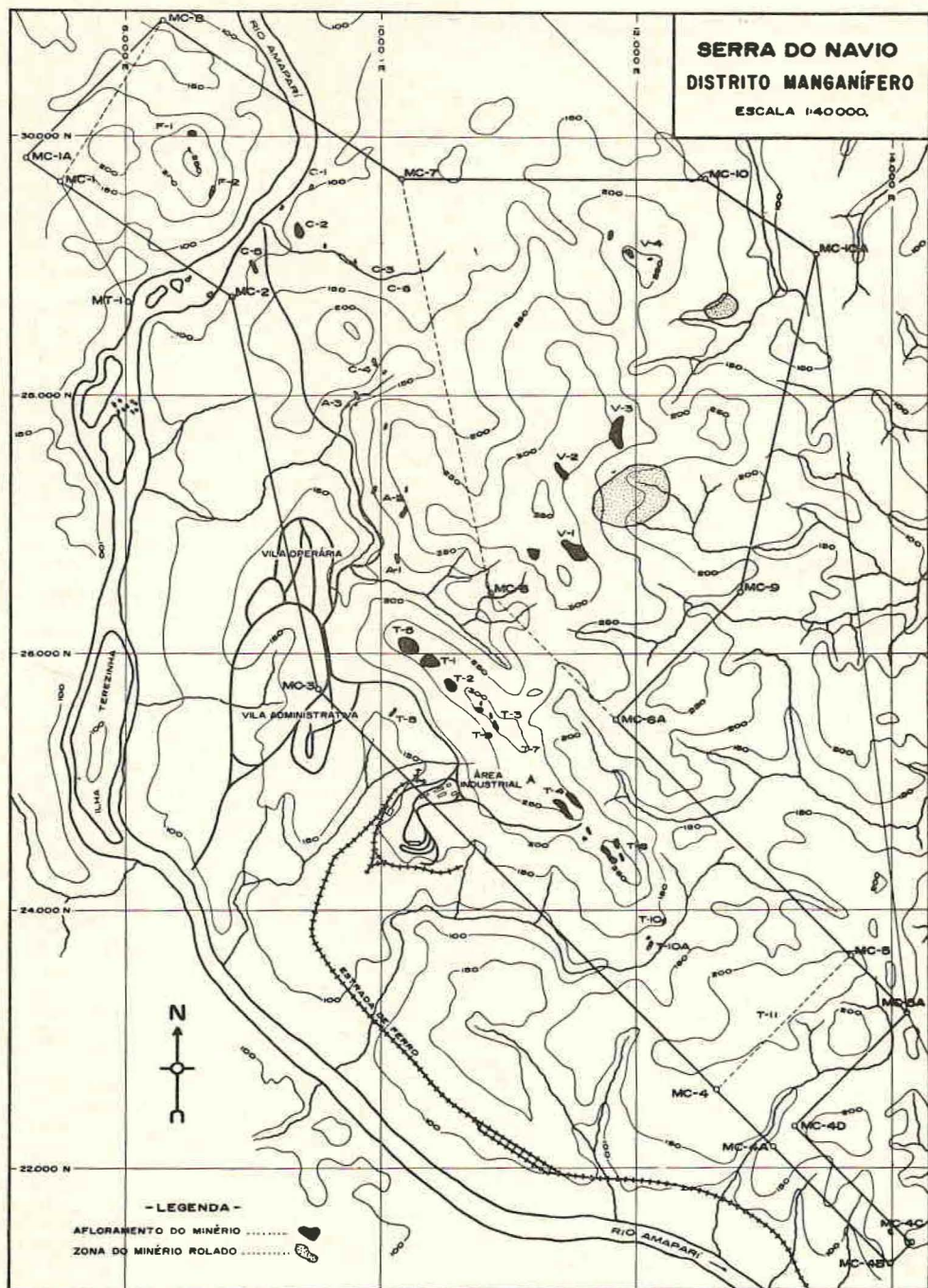


Fig. 1



SECÇÃO VERTICAL DA MINA T-6, OLHANDO N45° W

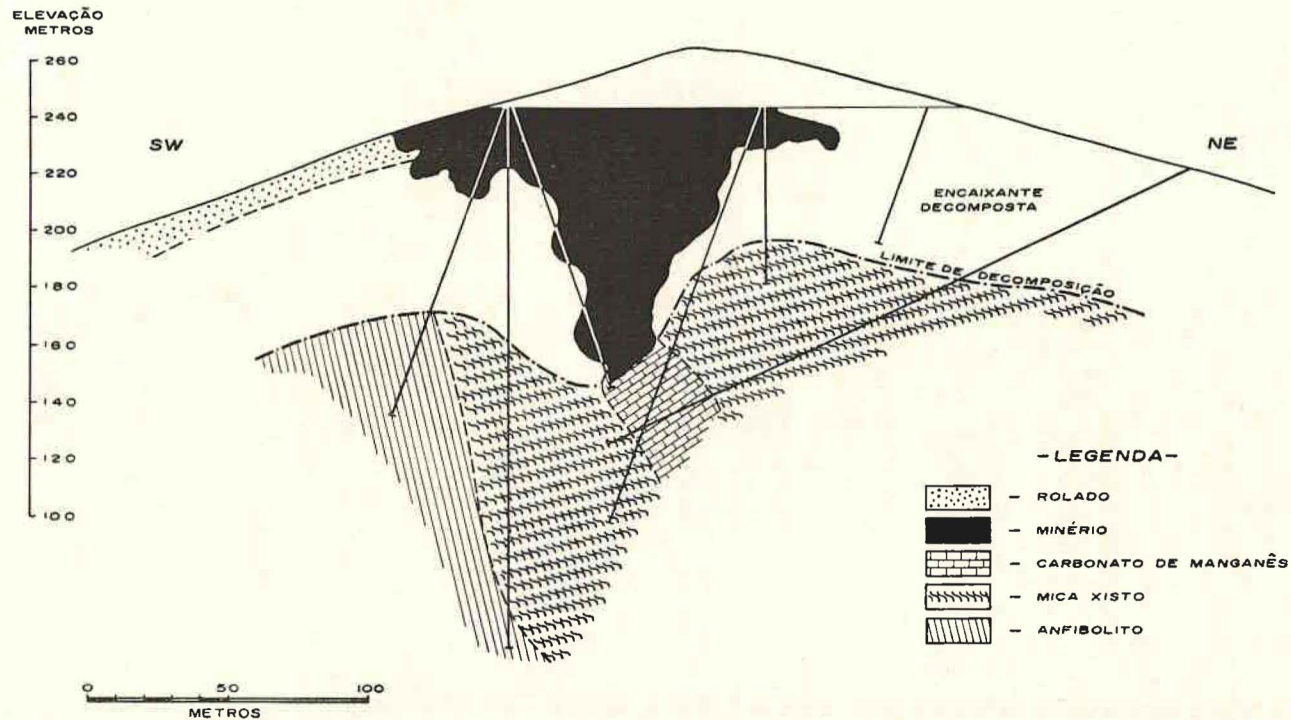


Fig. 3