

MORRO DO NÍQUEL-ARAXÁ-TAPIRA

S.M.B.de Oliveira
M.C.Toledo-Groke

MORRO DO NÍQUEL

O Morro do Níquel situa-se no município de Pratápolis, no Estado de Minas Gerais (Fig. 1). Trata-se de um pequeno maciço (900 x 350 m) ultramáfico serpentizado, encaixado nos metassedimentos do Grupo Araxá, do Proterozóico Médio. É recoberto por espesso manto de alteração intempérica que se constitui em jazida de níquel laterítico, com reserva de 0,95 milhões de toneladas a 1,5% Ni (Schobbenhaus et al., 1984).

A paisagem regional é suavemente ondulada a altitudes de cerca de 900 m. O Morro do Níquel se destaca como uma elevação de topo aplainado e encostas íngremes, apresentando um desnível em torno de 100 m.

Trescases & Oliveira (1978) descreveram os materiais frescos e alterados encontrados no Morro e propuseram uma hipótese sobre sua gênese. Os principais resultados apresentados neste trabalho são resumidos a seguir.

As fácies de alteração do serpentinito

A Figura 2 dá uma ilustração esquemática da disposição das fácies de alteração, num corte transversal do Morro. Os limites entre as diferentes fácies, apesar de bastante irregulares no detalhe, são superfícies mais ou menos horizontais. No total, a zona de meteorização atinge quase uma centena de metros de espessura, de modo que as encostas do Morro recortam as fácies sucessivas de alteração do serpentinito.

Rocha fresca

É um serpentinito cinza a preto, duro, maciço, de densidade 2,4, com numerosas fraturas preenchidas de serpentina dura mais fibrosa e esverdeada, associada com calcita e brucita brancas. A rocha fresca aflora apenas a sudoeste, na base do Morro.

Zona intemperizada (zona intermediária)

A espessura total deste nível seria de 30 a 40 m, com grandes variações locais. Três horizontes podem ser individualizados, de baixo para cima:

Rocha pouco alterada - A passagem da rocha fresca para a pouco alterada é muito rápida. A cor torna-se bege ou cinza-amarelado e a rocha permanece dura, compacta, com densidade ainda

superior a 2. Algumas fraturas aparecem preenchidas por quartzo, serpentina e talco. A espessura desse horizonte é de alguns metros, raramente ultrapassando 10 m.

Rocha alterada - Em direção aos níveis superiores, a alteração é mais desenvolvida. A rocha torna-se pouco a pouco friável, a densidade caindo de 2 até 1,5. A cor varia de amarelo a laranja. Notam-se ainda veios silicificados, como no nível inferior, zonas fraturadas preenchidas de quartzo e garnierita, e, às vezes, pequenas faixas de clorita verde, argilosa. O horizonte de rocha alterada deste tipo representa a maior parte da chamada "zona intermediária".

Saprolito - Em cima da rocha alterada, ocorrem bolsões de saprolito de até 1 m de espessura. A estrutura da rocha ainda é conservada, mas as amostras são muito friáveis e úmidas. A densidade fica entre 1 e 1,5. A cor é marrom-amarelado a avermelhado. Os veios silicificados, preenchendo antigas fraturas da rocha, são neste nível mais numerosos.

Zona silicificada

Nas encostas do Morro só aflora uma ou outra das fácies descritas, eventualmente com um pequeno recobrimento de solo vermelho, em parte remanejado a partir do topo do Morro. Nesse topo tabular, a "zona intemperizada" é capeada por uma camada de 15 a 20 m de espessura, chamada pelos mineradores de "lixiviada". Trata-se de um "boxwork" silicoso (quartzo e calcedônia), cuja rede fina é uma réplica do reticulado de serpentina da rocha fresca. As cavidades podem ser preenchidas de serpentinito alterado até a fácies saprolito ou estar parcialmente vazias. A densidade é muito baixa, por volta de 1,0. Parece, portanto, que esta zona representa ainda o serpentinito, com estrutura conservada, mas muito silicificado.

Um solo vermelho, pouco espesso (1 m), com numerosos fragmentos silicosos de "boxwork", desenvolvido em cima da zona silicificada, recobre toda a superfície tabular do Morro, e, sob forma de colúvio, parte das encostas.

Evolução geoquímica durante a alteração

A Tabela 1 mostra a composição química de cada um dos horizontes do perfil de alteração. De baixo para cima, a diminuição de teor é constante para o magnésio e, em menor grau, para a perda ao fogo. O teor de sílica aumenta levemente nas rochas alteradas (principalmente na fácies saprolito), e é enorme na rocha silicificada. Bastante irregulares, os teores de ferro, alumínio, crômio e cobalto aumentam em direção aos níveis superiores (o cobalto apresenta um máximo nítido no saprolito). O níquel, com um teor de 0,4% na rocha, é bastante enriquecido, embora irregularmente, na rocha alterada e no saprolito, mas volta a ser pouco abundante na rocha silicificada e no solo. Liberado da serpentina, quando ela é dissolvida, o níquel pode precipitar com a sílica e o magnésio para formar a garnierita (36% NIO) encontrada nas fraturas. Apesar do alto teor em Ni desse mineral, ele não é importante como minério porque sua ocorrência é restrita às fraturas do material da zona intemperizada.

O níquel também se acumula na rocha alterada e no saprolito, onde está associado a amorfos sílico-ferruginosos que substituem a serpentina, ou às facies mais cloríticas. Esse material constitui a maior parte do minério.

Uma última forma de concentração de níquel é ligada às fácies ferruginosas (fração fina do saprolito e do "boxwork"), onde ele deve estar associado à goethita.

Gênese do depósito

A feição mais notável da jazida do Morro do Níquel é a silicificação generalizada que afeta o perfil de alteração, principalmente em seus níveis superiores. Entretanto, o processo de alteração atual, que transforma o serpentinito em saprolito, não conduz à silicificação intensa. A evolução atual é do tipo laterítico, assim caracterizada:

- Depois de uma primeira fase de eliminação preferencial do magnésio, e precipitação de sílica amorfa, esta permanece no resto do perfil. A partir do nível de rocha alterada a serpentina começa a se dissolver sem deixar outros resíduos, senão ferro e níquel. Essa diferença de comportamento da serpentina é devida ao aumento da porosidade: no início, a porosidade é mais baixa e apenas o Mg é levado em solução; com a alteração, vazios são abertos, a drenagem intensifica-se e a solubilidade da sílica é facilitada.

- Com a exportação do Si e Mg do perfil, o ferro é acumulado relativamente.

- Em alguns lugares ocorre gênese de minerais garnieríticos.

Na maior parte das jazidas de níquel laterítico, a alteração acaba por lixiviar totalmente o magnésio e a sílica; silicificações limitadas ocorrem apenas na base dos perfis. Entretanto, várias jazidas brasileiras (Santa Fé, São João do Plauí, etc.) apresentam uma camada superior intensamente silicificada, análoga à do Morro do Níquel.

A ausência de fonte de sílica na paisagem não permite a conclusão de que esta camada derive do saprolito subjacente. Ao contrário, ela pode ser interpretada como antiga base de perfil de alteração, desenvolvida em condições de relevo aplainado, e de clima bem mais seco do que o atual. Nessas condições, a alteração do serpentinito teria sido incompleta, deixando núcleos de rocha envolvidos por um potente reticulado de quartzo e calcedônia (o balanço não mostraria perda de sílica). Com a mudança de clima e a retomada da erosão, o maciço de serpentinito capeado pela camada silicosa, tornou-se saliente no relevo. A alteração, desta vez tropical laterítica, atacou remanescentes de serpentinito no meio do "boxwork", e um novo perfil desenvolveu-se a partir da rocha subjacente, originando a jazida niquelífera. Em cima, a destruição superficial do "boxwork" deu lugar à formação do solo vermelho laterítico rico em quartzo.

ARAXÁ

O carbonatito de Araxá (Barreiro) localiza-se a 6 km ao sul da cidade de Araxá, no Estado de Minas Gerais (Fig. 1). Pertence, juntamente com Salitre I e II, Serra Negra, Tapira, Catalão I e II, a um conjunto de complexos carbonatíticos cretácicos que ocorrem na mesma área.

O corpo é circular, em torno de 4,5 km de diâmetro, e corta as rochas precambrianas do Grupo Araxá. Contém, no espesso manto de alteração que o recobre, importantes depósitos lateríticos de Nb (462 milhões de toneladas de minério com 2,48% Nb₂O₅), P (460 milhões de toneladas com 15,07% P₂O₅) e Terras Raras (560 milhões de ton. com 10,5% RE₂O₃), segundo Kamitani & Hirano (1987).

Geologia do complexo

O corpo possui estrutura dômica resultante do arqueamento provocado pela intrusão nas encabxantes metassedimentares (Fig. 3). Os principais tipos litológicos foram definidos a partir de análises petrográficas de testemunhos de sondagem. Quatro são as litologias mais representativas (Issa Filho et al., 1984):

Beforsitos

Essas rochas posicionam-se na parte central do complexo. Correspondem a um sistema de diques e velos de gerações diversas, cortando as rochas ultramáficas (glimmeritos) adjacentes. Contêm principalmente dolomita, ankerita, calcita, magnetita, apatita, sulfetos, bariopirocloro, monazita e estroncianita.

Rocha a magnetita

Em associação íntima com os beforsitos ocorrem rochas a magnetita, flogopita, carbonatos e apatita, extremamente ricas em bariopirocloro, podendo conter até 10% de Nb_2O_5 .

Sóvitos

Essas rochas situam-se na porção NW do complexo, constituindo-se de calcita, magnetita e apatita, fundamentalmente.

Glimmeritos

São mais abundantes na parte externa do complexo, estando em contato com o anel de quartzitos. São rochas a flogopita, com dolomita e magnetita ocorrendo subordinadamente, e desprovidas de pirocloro. Podem conter restos de diopsídio e olivina, considerados minerais primários das rochas ultramáficas previamente cristalizadas, dando origem, por metassomatismo potássico, aos glimmeritos.

A fenitização é comum nas encabxantes do complexo, estando controlada, principalmente, por fraturas. Anfibólio sódico, feldspato alcalino, carbonatos, apatita e piroxênio sódico são os minerais feníticos mais encontrados.

Mineralizações relacionadas à cobertura laterítica

Pirocloro (Issa Filho et al., 1984)

As rochas do interior da estrutura dômica do Barreiro estão completamente laterizadas. A cobertura laterítica varia de alguns metros até 230 metros de profundidade. Zonas de cangas concrecionárias, geralmente brechadas, ocorrem, principalmente, nas partes NW e N da estrutura. O pirocloro, em cristais octaédricos, foi observado em alguns afloramentos dessas rochas.

Alguns corpos de rocha sílexítica, às vezes muito rica em barita, ocorrem no interior da cobertura laterítica, bem como associados às rochas encabxantes. Pirocloro, apatita e minerais portadores de terras raras podem, também, estar presentes nessas rochas.

Na parte central da estrutura, o intemperismo provocou o enriquecimento em pirocloro, dando origem à maior reserva de nióbio conhecida no mundo até o presente. A área mineralizada em nióbio

tem forma circular, com diâmetro de aproximadamente 1800 metros.

A composição mineralógica média do minério de nióbio de Araxá é apresentada na Tabela 2.

O bariopirocloro é a espécie mineral mais importante do grupo do pirocloro, ocorrente na mina de Araxá. É possível que um pirocloro sódico-cálcico tenha ocorrido, originalmente, no carbonatito do Barreiro, tendo sido, em fase posterior, substituído pelo bariopirocloro, como consequência de atividades hidrotermais.

As composições químicas do minério e do bariopirocloro da mina de nióbio de Araxá estão representadas na Tabela 3.

Apatita (Braga & Born, 1988)

Também ocorre no complexo importante mineralização apatítica, situada na sua parte noroeste. Aí, o perfil de alteração, com espessura média em torno de 80 m, apresenta um capeamento estéril de, no máximo, 20 m, seguido por um horizonte rico em apatita. Este, de aspecto terroso, pode ter teores de P_2O_5 apatíticos superiores a 20%, o que significa mais de 50% de apatita. Outros minerais presentes nesse horizonte são a goethita, magnetita, hematita, fosfatos aluminosos secundários e barita. Em seus níveis inferiores, o horizonte mineralizado pode conter minerais micáceos e, no limite com a rocha semi-alterada, carbonatos.

Em toda a extensão do perfil de alteração portador de apatita nota-se que, apesar do mineral ser relativamente estável ao intemperismo, importantes alterações ocorrem. Em determinadas condições, a apatita encontra-se parcial ou totalmente atacada. O capeamento não apatítico, embora apresente teores de P_2O_5 superiores àqueles das rochas matrizes, é mais pobre do que os níveis apatíticos subjacentes. Constata-se que parte do P_2O_5 contido na apatita atacada pode gerar novos minerais, inexistentes nas rochas frescas, pela recombinação com outros elementos disponíveis, permanecendo no mesmo local, agora sob forma de gorceixita, goyazita ou rabdofanita, principalmente. Outra parcela de P_2O_5 , no entanto, migra para níveis inferiores do manto de alteração, onde, dependendo das condições ambientais e da disponibilidade de CaO, se recombina na forma de apatita secundária ou como fosfatos secundários não apatíticos.

Em toda a porção do manto de intemperismo mineralizado, a apatita se apresenta de maneiras diversas quanto à granulometria e forma dos grãos. A apatita, que permaneceu no seu estado original como mineral eluvial e resistiu ao intemperismo, apresenta granulação similar àquela das rochas frescas, hábito ovóide ou prismático, havendo, no entanto, um arredondamento dos cantos vivos. Adicionalmente, esses grãos podem estar parcial ou totalmente revestidos por uma película de óxidos de ferro ou, em outros casos, por uma capa de fosfatos secundários não apatíticos.

Entre os grãos de apatita, ou mesmo em suas fraturas, pode-se formar também carbonato-apatita. A apatita reprecipitada, formada a partir de P_2O_5 proveniente de níveis superiores, ou simplesmente da alteração parcial de grãos do material circundante, pode formar agregados de microcristais, irregularmente dispostos ou radialmente orientados em torno de grãos apatíticos maiores. Esses agregados apatíticos finos tendem a formar crostas duras ou cimentar os materiais circundantes. Essas massas de pequenos cristais são freqüentemente constituídas por carbonato-apatita, reconhecíveis macroscopicamente ou à lupa pela leve efervescência na presença de HCl diluído. A formação dos agregados e crostas de apatita reprecipitada é comumente e acompanhada pela deposição simultânea de óxidos de ferro, resultando em materiais enriquecidos, onde esses dois constituintes acham-se intimamente intercrescidos.

A composição mineralógica média do depósito de fosfato está apresentada na Tabela 4.

TAPIRA

Introdução

A mineralização supérgena de fosfato, titânio e nióbio do complexo ultramáfico-alcálico-carbonatítico de Tapira, no Estado de Minas Gerais, tem sido estudada desde 1971 com ênfase nos aspectos gerais de ordem geológica e econômica (Grossi Sad & Torres, 1971; Cruz & Cheney, 1976; Lindenmayer, 1978 e Vaz de Melo, 1983). Segundo Kamitani & Hirano (1988), as mineralizações de Nb somam 165 milhões de toneladas a 1,76% Nb₂O₃, as de Ti 325 milhões de toneladas a 16,3% TiO₂, e as de P 991 milhões de toneladas a 9,04% P₂O₅.

Localização e geologia

O complexo ultramáfico-alcálico-carbonatítico de Tapira forma uma estrutura dômica de cerca de 6 km de diâmetro, a 35 km a sudeste de Araxá, e faz parte da Província alcálico-carbonatítica cretácica (70 Ma) do "Alto Paranaíba" (Fig. 1).

Este complexo foi intrudido numa série metamórfica precambriana (quartzitos e xistos do Grupo Canastra), nas bordas da bacia sedimentar do Paraná, como outros complexos de mesma natureza (Araxá, Salitre, Serra Negra, Catalão...).

O estudo dos testemunhos de sondagem (Cruz & Cheney, 1976) indica que o maciço é composto principalmente por rochas ultramáficas (80%), das quais 90% são piroxenitos com diopsídio, diopsídio-augita ou egirina-augita, ocorrendo também peridotitos com olivina próxima à forsterita, ambos com textura orientada, às vezes brechóide e geralmente grossa. Essas rochas são ricas em perovskita e apatita, além de outros minerais menos importantes como titano-magnetita, ilmenita, flogopita ou biotita, melanita, barita e granada. Subsidiariamente, ocorrem rochas alcalinas (5%).

Outras variedades presentes (15%) são lamprófiros, carbonatitos e silexitos. Os carbonatitos são do tipo sôvito, cortando o conjunto na forma de veios e contendo quantidades variáveis de pirocloro.

O perfil mineralizado

Estas rochas, anormalmente ricas em Ti, Nb e P, sofreram, ao longo do Terciário e Quaternário, uma longa evolução superficial sob ambiente lateritizante, provavelmente com uma erosão mecânica limitada, o que resultou na formação do espesso manto de alteração (90 m de espessura média, localizadamente chegando a 200 m) hoje observado. Nesse contexto, concentraram-se no perfil de intemperismo todos os elementos de fraca mobilidade nas condições de hidrólise: Ti, Nb, ETR, Fe, Al, P, enquanto que os outros elementos mais móveis foram eliminados: Na, Mg, Ca, K, Si etc. Assim, foi gerada a jazida de Tapira.

Os trabalhos mineiros a céu aberto e as numerosas sondagens realizadas em Tapira evidenciaram um zoneamento no depósito (Vaz de Melo, 1983). Esta diferenciação vertical e lateral parece resultar tanto de diferenças nas velocidades de alteração dos minerais primários, como da heterogeneidade litológica. Do topo para a base observam-se as seguintes zonas (Fig. 4):

Zona 1

Material latossólico, com estruturas pedológicas, com cerca de 20 m de espessura, onde a fração fina domina e é constituída por caulinita, gibbsita, goethita, hematita e fosfatos secundários aluminosos; ocorrem grãos residuais de anatásio, magnetita e quartzo. Um nível concrecionário eventualmente soldado formando carapaças pode ocorrer em profundidade. Esta zona é considerada estéril (P_2O_5 solúvel < 5% e TiO_2 < 15%). O material mineralizado em nióbio ocupa uma parte restrita do manto de alteração, associada à zona 1, onde provavelmente havia originalmente maior concentração de veios carbonatíticos com pirocloro.

Zona 2

Zona titanífera, de cerca de 40 m de espessura, onde as estruturas da rocha-mãe estão parcialmente conservadas. A composição mineralógica é basicamente a mesma da zona estéril, mas o anatásio, amarelado, é muito mais abundante e a fração fina é menos importante. As micas encontram-se transformadas em vermiculita e um pouco de perovskita pode aparecer. Os teores em TiO_2 superam 15% e em P_2O_5 solúvel conservam-se abaixo de 5%.

Zona 3

Zona titanífera com fosfato, onde estruturas das rochas originais são bem conservadas e onde a apatita primária se encontra parcialmente dissolvida. As perovskitas se acham quase inteiramente transformadas em anatásio esverdeado; as micas estão em grande parte vermiculitizadas e as titano-magnetitas parcialmente alteradas em maghemita ou hematita. Esta zona, de cerca de 15 m de espessura, nem sempre está presente, mas constitui o minério mais interessante: $TiO_2 > 15\%$ e P_2O_5 solúvel > 5%.

Zona 4

Com cerca de 80 m de espessura, indo até as rochas sãs subjacentes, esta zona é constituída por peridotitos menos afetados pelo intemperismo. A apatita torna-se importante e ocorre inalterada, assim como a perovskita; acompanham titano-magnetita, diopsídio, olivina ferruginizada, micas mais ou menos alteradas e granada. Esta camada é denominada fosfática, apresentando teores em P_2O_5 de mais de 7,5% (minério rico) a menos de 5% (estéril) e teores em TiO_2 menores que 15%. Frequentemente aparecem setores silicificados e, obviamente, a presença de veios carbonáticos se intensifica nas proximidades da base do perfil.

Evolução mineralógica e geoquímica

Os recentes estudos de detalhe desse perfil de alteração (Soubiès et al., 1990a,b) permitiram complementar o conhecimento anterior e chegar ao seguinte esquema quanto às modificações mineralógicas e químicas ao longo da alteração:

Num primeiro estágio de alteração, isovolumétrica, observa-se:

- eliminação total da sílica livre (opala e quartzo);
- dissolução parcial da apatita primária, acompanhada pela neo-formação de apatita secundária enriquecida em Fe e empobrecida em ETR em relação à apatita primária, ao longo das fraturas;
- transformação pseudomórfica total da perovskita em anatásio microbotriodal, em cujos vazios se desenvolvem concentrações em drusas de cristais de um fosfato de terras raras da família do rabadofânio;

- alteração parcial das titano-magnetitas em maghemita ou hematita;
- vermiculitização da biotita e flogopita;
- alteração progressiva dos piroxênios e olivina em oxihidróxidos de ferro.

Num estágio avançado, observa-se:

- dissolução total das apatitas, com conseqüente aumento significativo na porosidade;
- dissolução parcial do rabdofânio calcífero, substituído por florencita calcífera;
- sinais de uma certa mobilização do titânio no seio dos anatásios, como golfos de dissolução e cutãs titaníferos, assim como epigenização completa dos anatásios por produtos ferruginosos;
- início de desestabilização da titano-maghemita proveniente da oxidação da titano-magnetita;
- caulinitização progressiva das vermiculitas;
- desaparecimento dos piroxênios e olivina.

Nesse estudo de detalhe (Soubiès et al., 1990a,b), foi particularmente enfatizado o comportamento dos minerais fosfáticos e dos elementos Terras Raras, tendo-se chegado às seguintes conclusões:

- os fosfatos evoluem em diversas etapas, partindo da apatita primária, gerando apatita secundária, posteriormente rabdofânio calcífero e, finalmente, florencita calcífera. Esta diferenciação vertical mostra a já conhecida tendência de diminuição no teor em Ca e aumento no teor em Al das sucessivas gerações de fosfatos supérgenos, em perfis lateríticos sobre materiais originalmente apatíticos, sedimentares ou ígneos;
- embora os fosfatos não sejam os principais portadores dos ETR na rocha sã, sua evolução fixa-os no perfil através dos fosfatos secundários, inicialmente sem Al (rabdofânio calcífero) e posteriormente com Al (florencita calcífera);
- a perovskita é o mineral principal portador primário de ETR, existindo, no conjunto do perfil, uma nítida relação entre o Ti e os ETR. Esta ligação é inicialmente cristalquímica, com a perovskita acolhendo preferencialmente os ETR. Posteriormente, passa a ser físico-química, quando os anatásios pseudomórficos da perovskita constituem o meio preferencial de fixação dos fosfatos de ETR neoformados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, J.R.K. & BORN, H. (1988) Características geológicas e mineralógicas da mineralização apatítica de Araxá. XXXV Congr.Bras.Geol., Belém, PA, *Anais*, 1:219-226.
- CRUZ, F.F. & CHENEY, T.M. (1976) Recursos de fosfato no complexo carbonatítico de Tapira, MG. XXIX Congr.Bras.Geol., Ouro Preto, MG, *Anais*, 1:89-107.
- GROSSI SAD, J.H. & TORRES, N. (1971) Geologia e recursos minerais do complexo de Tapira, Minas Gerais, Brasil. Rel.Int., Geosol, Belo Horizonte, 68p.
- ISSA FILHO, A.; LIMA, P.R.A. S.; SOUZA, O.M. (1984) Aspectos da geologia do complexo carbonatítico do Barreiro, Araxá, MG, Brasil. Complexos carbonatíticos do Brasil: geologia. CBMM, p.21-44.

- KAMITANI, M. & HIRANO, H. (1987) Araxá carbonatite deposit and its lateritisation. ITIT Project, Rep.Int.Res.Rev.Coop., Japan, p.56-73.
- LINDENMAYER, Z.G. (1978) A chaminé carbonatítica de Tapira e sua mineralização a titânio, fosfato e nióbio. Doc.Int., UFBA, 37p.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords.) (1984) Geologia do Brasil. DNPM, 501p.
- SCHOBENHAUS, C. (1986) Geologia do Nb e do Ta. Principais depósitos minerais do Brasil, Cap.XXXIV, vol II, CVRD/DNPM.
- SILVA, A.B.; MARCHETTO, M.; SOUZA, O.M. (1979) Geologia do complexo carbonatítico de Araxá (Barreiro), Minas Gerais. Min. e Met., 43(415):14-18.
- SOUBIÈS, F.; MELFI, A.J. & AUTEFAGE, F. (1990a) Comportamento geoquímico dos elementos terras raras nos alteritos da jazida de fosfato e titânio de Tapira (Minas Gerais, Brasil): a importância dos fosfatos. Rev.Bras.Geoc. (no prelo).
- SOUBIÈS, F., MELFI, A.J. & AUTEFAGE, F. (1990b) Geochemical behaviour of rare earth elements in alterites of phosphate and titanium ore deposits in Tapira (Minas Gerais, Brazil): the importance of the phosphates. Chem.Geol. 84(1/4):37.
- TRESCASES, J.J. & OLIVEIRA, S.M.B. (1978) Alteração dos serpentinitos de Morro do Níquel (MG). Congr.Bras.Geol., Recife, PE, Anais, 4:1655-1669.
- VAZ DE MELO, M.T. (1983) Depósitos minerais associados ao complexo alcalino carbonatítico de Tapira (MG). Doc.Int. CVRD, 39p.

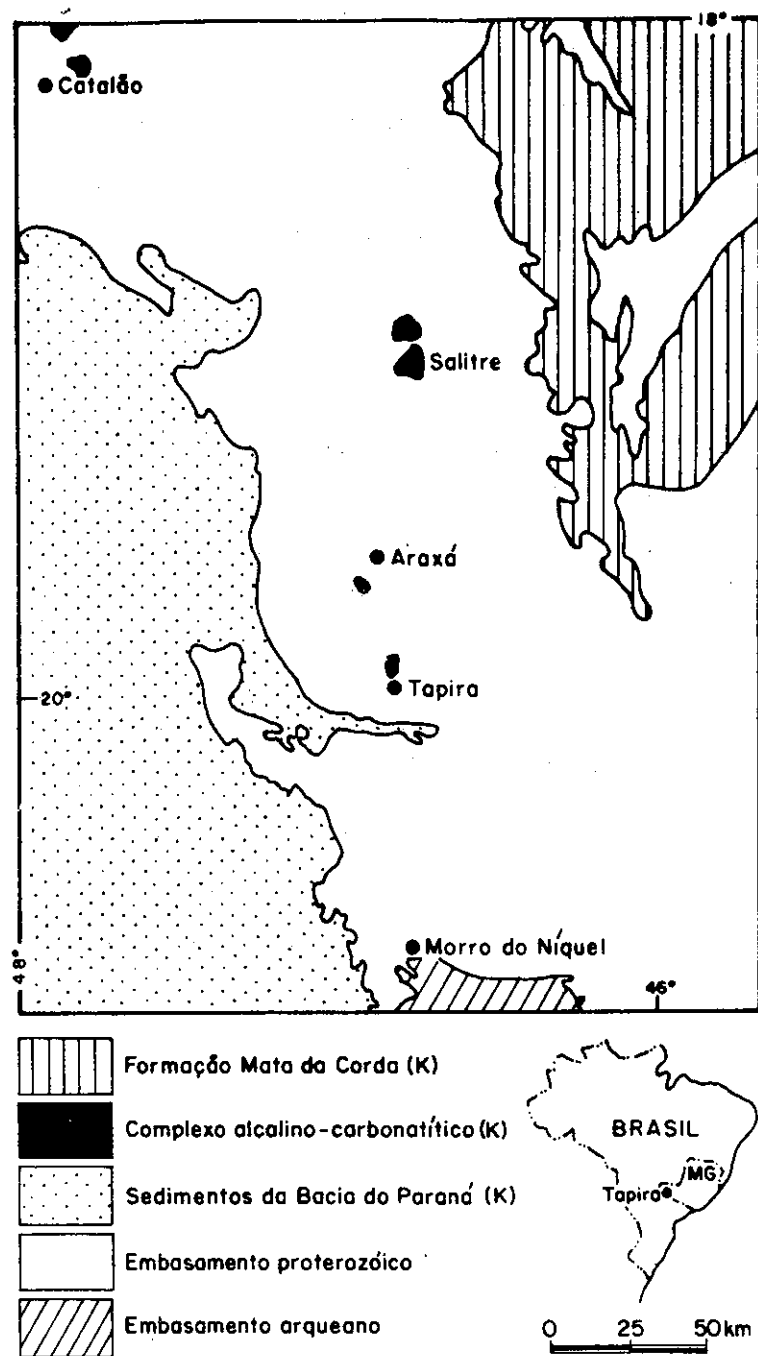


Figura 1 - Localização dos maciços de Araxá, Tapira e Morro do Níquel, e seu contexto geológico (Schobbenhaus et al., 1981).

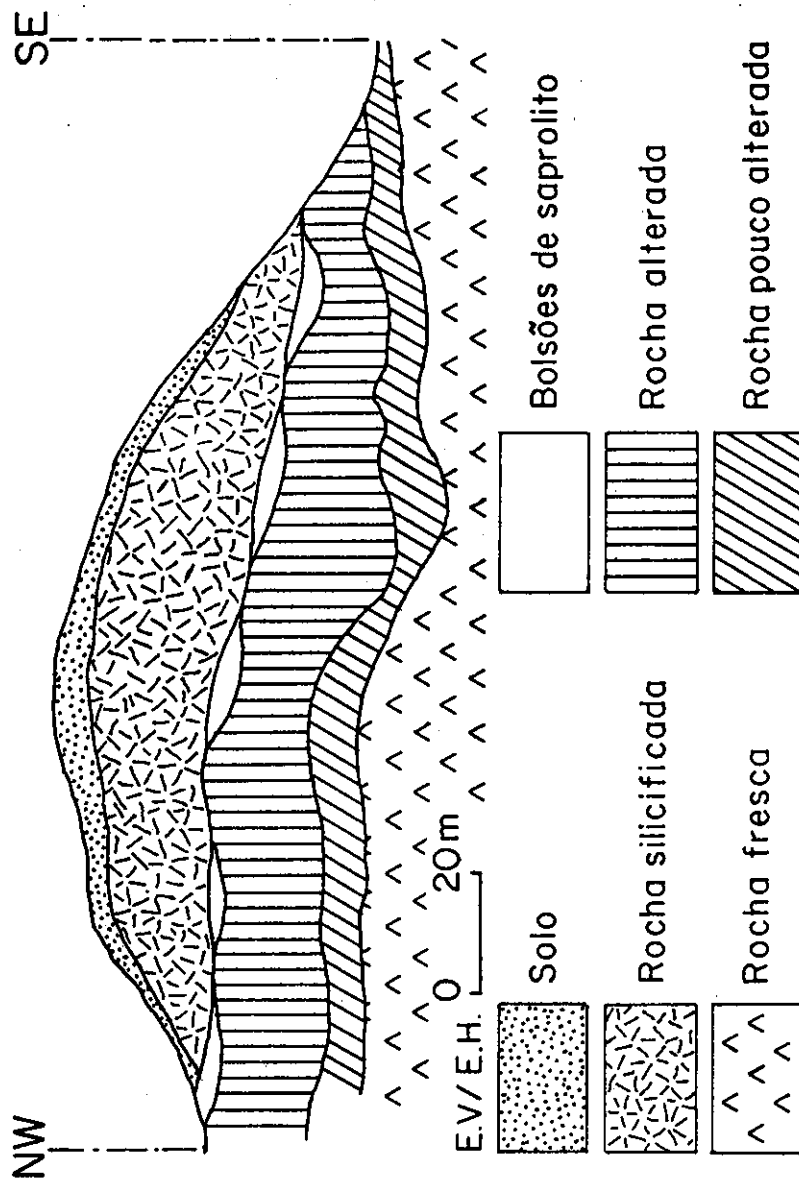


Figura 2 - Perfil esquemático do Morro do Niquel (Trescases & Oliveira, 1978).

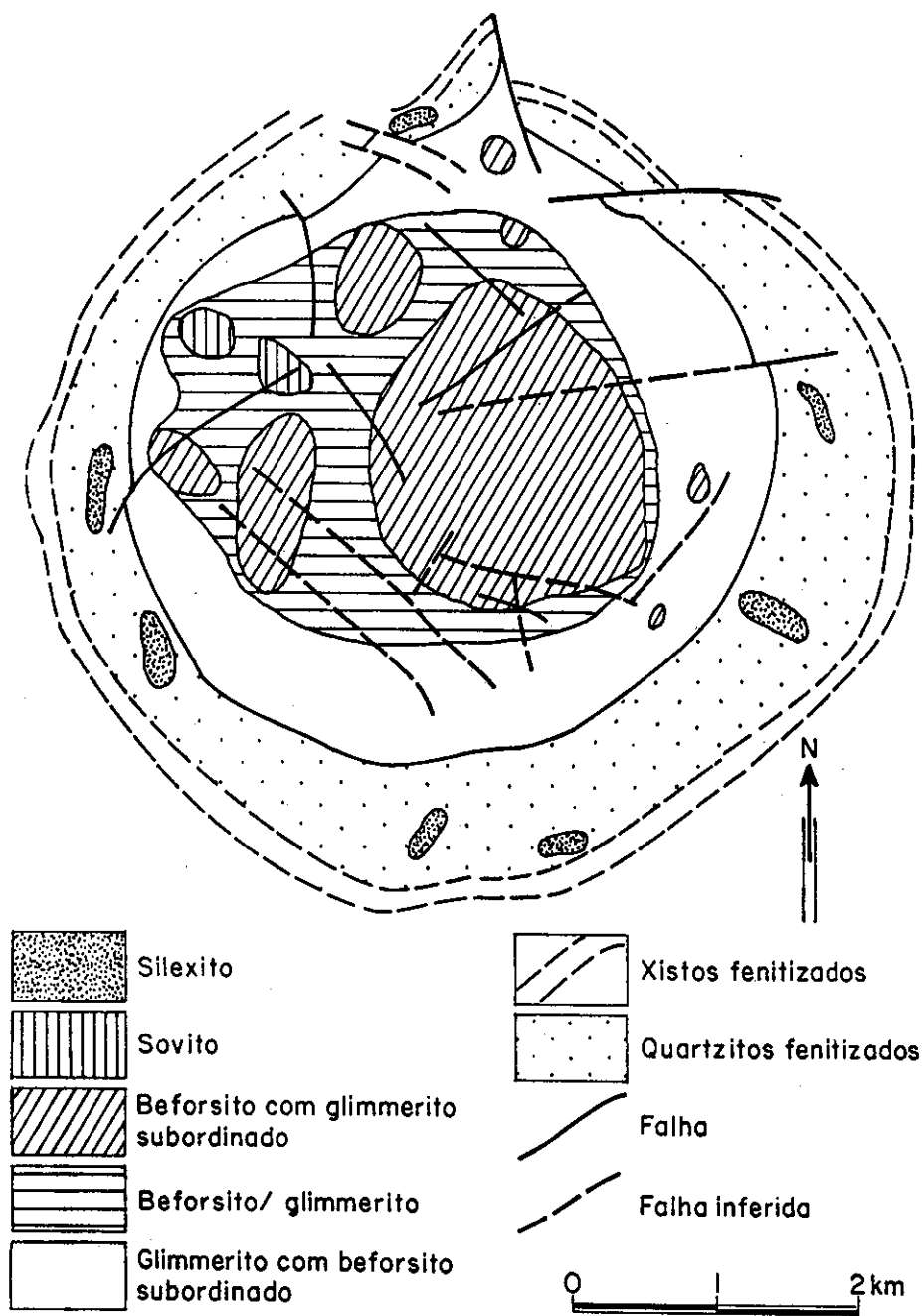


Figura 3 - Mapa geológico do complexo alcalino-carbonatítico do Barreiro, Araxá (Silva et al., 1979).

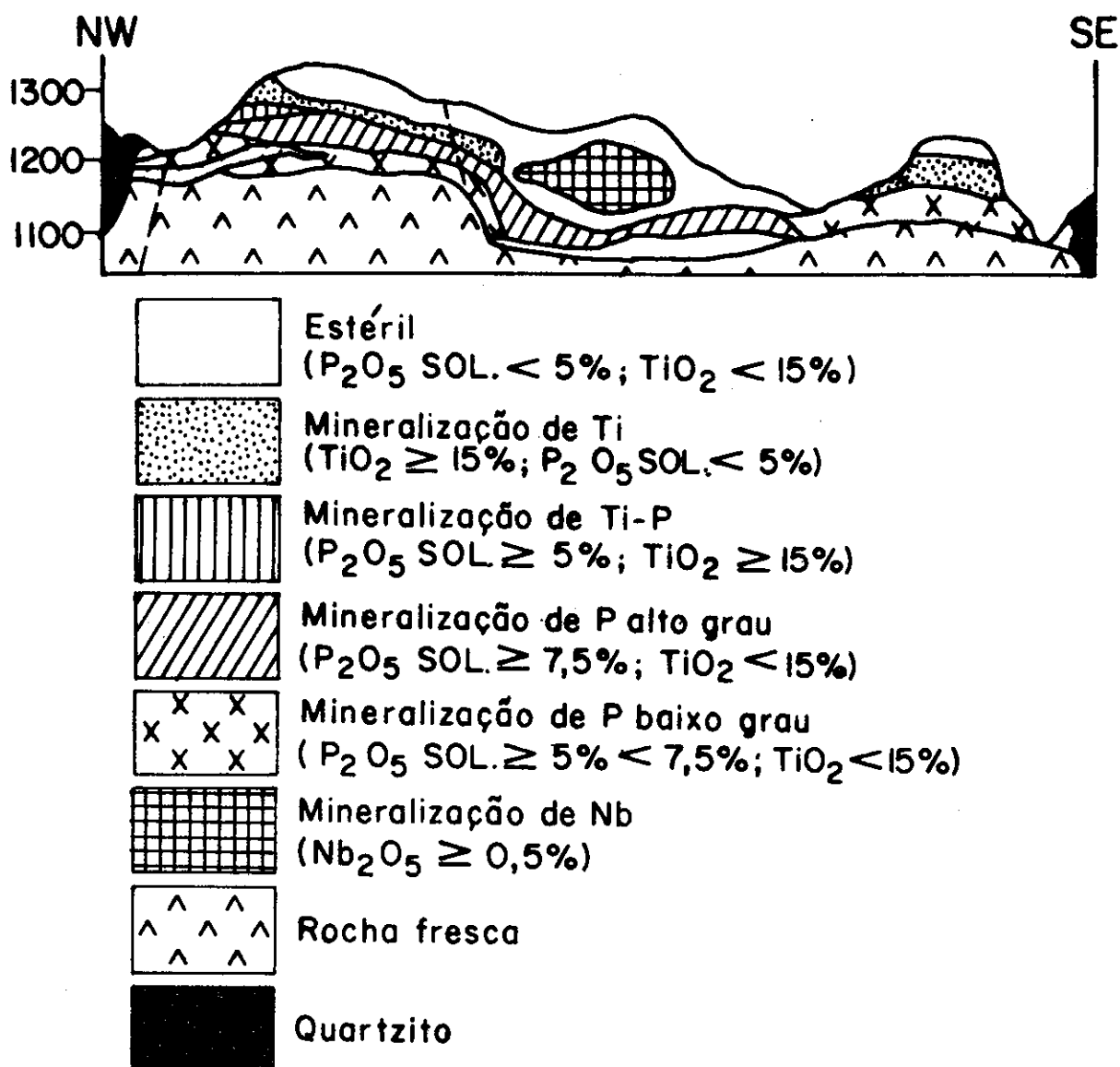


Figura 4 - Perfil esquemático da mina de Tapira com as zonas mineralizadas contidas no manto de alteração (Vaz de Melo, 1983).

Tabela 1 - Evolução da composição química com a alteração (% em peso).
- Morro do Níquel -

Amostra	Perda ao Fogo	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃ *	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	CuO	Total
Solo	3,9	74,3	0,3	17,2	3,79	0,837	0,26	0,042	0,003	100,63
Rocha silicificada	(2)	85,0	2,3	8,2	0,60	0,264	0,48	0,043	0,002	99,69
	(1)	86,5	2,5	5,5	1,29	0,115	0,40	0,025	0,003	99,03
Saprolito	(2)	52,6	21,1	7,7	0,62	0,218	5,52	0,028	0,003	98,49
	(1)	48,0	24,4	13,1	1,36	0,274	1,23	0,128	0,003	98,00
Rocha alterada	(2)	42,6	29,8	8,3	0,41	0,240	3,90	0,043	0,003	98,50
	(1)	40,5	31,5	11,2	1,14	0,118	0,91	0,023	0,003	98,59
Rocha pouco alterada	(2)	44,0	34,2	4,3	0,74	0,023	1,78	0,019	0,003	98,17
	(1)	46,3	36,1	4,0	0,51	0,082	0,38	0,013	0,003	100,89
Rocha fresca	16,6	35,7	38,5	5,7	0,75	0,052	0,41	0,015	0,002	97,73

*Fe total contabilizado como Fe^{III}

Cada horizonte, com exceção da rocha fresca e do solo, é representado por duas amostras, sendo que a (2) é mais evoluída do que a (1).

Tabela 3 - Composição química do minério de Nb e do bariopirocloro de Araxá (Issa Filho et al., 1984).

Mineral	% Peso
Báriopirocloro	4,6
Limonita, goethita	35,0
Barita	20,0
Magnetita	16,0
Gorceixita	5,0
Monazita	5,0
Ilmenita	4,0
Quartzo	5,0
Outros	5,4

Tabela 2 - Composição mineralógica média do minério de Nb de Araxá (Issa Filho et al., 1984).

	Minério de Nb	Bariopirocloro
Nb ₂ O ₅	3,00	63,42
Ta ₂ O ₅	Tr	0,15
BaO	17,73	16,51
CaO	Tr	0,44
(TR) ₂ O ₃	4,44	3,29
ThO ₂	0,13	2,34
MnO ₂	1,82	0,16
Fe ₂ O ₃	46,52	-
FeO	-	2,37
TiO ₂	3,60	2,30
PbO	Tr	0,42
SnO ₂	Tr	0,10
Al ₂ O ₃	1,19	-
P ₂ O ₅	3,32	-
SiO ₂	2,38	-
ZrO ₂	0,20	-
SO ₃	8,82	-
U ₃ O ₈	0,08	-
PF	6,02	-
H ₂ O	-	8,50

Tabela 4 - Composição mineralógica média do depósito de fosfato de Araxá (Grossi Sad & Torres, com.pessoal).

	% volume
Apatita	20-50
Magnetita	5-10
Goethita	30-45
Monazita	4-8
Pandafta	0.5-1.5
Ilmenita	1-3
Goyazita	1-5
Quartzo	2-6