

162250

1622052

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA NATUREZA DOS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO DAS ROCHAS ULTRAMÁFICAS DE IPANEMA - MG**

Nelson Angeli  
Departamento de Mineralogia e Recursos Minerais da UNESP/Rio Claro - SP  
Sônia Maria Barros de Oliveira  
Departamento de Geologia Geral da USP/São Paulo - SP  
Ajit Choudhuri  
Instituto Roberto Jimenez Rueda  
Departamento de Mineralogia e Recursos Minerais da UNESP/Rio Claro - SP

ABSTRACT

A series of small ultramafic bodies occur in the studied area, and practically all of them contain nickel mineralization. One of these deposits of major economic potential has been investigated with the view of ascertaining the mineralogical and chemical evolution of the alteration products of the ultramafic body. Peridotites that are partly or totally serpentized and deeply weathered make up the dominant rock type of the ultramafics. The mean nickel content of the silicate type ores varies around 2%.

Serpentinization is an important process for the evolution of the Santa Cruz body. The ultramafic rocks were affected by at least two such phases, and where the serpentization has been more intense, nickel values are found to be lower. Processes of alteration and weathering are responsible for mobilization of nickel and its later concentration in the green saprolites of the weathered profiles. Apparently, large quantities of nickel liberated during supergene alteration are incorporated in the structures of newly formed smectites, thus accounting for its concentration at the base of the profile.

Besides nickel, there are high concentrations of cobalt in the alteration products as in the orange saprolite, and in which the metal content attains up to 0,4%. In this saprolite facies, which could eventually contain oxide type nickel ores, the nickel content is not high and corresponds to similar observations in the other ultramafic occurrences in the region.

INTRODUÇÃO

Na região de Ipanema (MG) ocorrem corpos ultramáficos serpentizados, mineralizados em níquel, dos quais o maior deles, Santa Cruz, é o objeto deste trabalho. A região pesquisada localiza-se na porção leste do Estado de Minas Gerais, no Município de Ipanema, e compreende uma superfície retangular de aproximadamente 33 Km<sup>2</sup>, limitada pelas coordenadas 41°42'30" e 41°46'00" de Longitude Oeste e 19°52'30" e 19°55'30" de Latitude Sul (Figura 1). O principal acesso à área se dá pelas rodovias BR-116 e BR-262 e pela estrada não pavimentada, MG-111, que liga Manhuaçu a Ipanema.

A região de Ipanema situa-se nos grandes Domínios Morfoestruturais do Interior dos Maciços e Altas Superfícies, modelados em rochas do Complexo Arqueozóico-Proterozóico, mais especificamente, na sub-unidade dos Planaltos Cristalinos Rebaixados (IBGE, 1977). Fazendo-se uma correlação com as superfícies de erosão definidas por King (1956) a área enquadra-se, na sua maior parte, na superfície Velhas; contudo - podem ser encontrados vestígios da superfície Sul-Americana nas porções mais elevadas. A rede de drenagem local faz parte da bacia hidrográfica do Rio Doce e é representada principalmente pelo Rio José Pedro. O clima dominante é tropical, sub-úmido a úmido com 3 a 5 meses por ano secos; a precipitação média anual situa-se entre 1000 e 1250 mm e a temperatura média anual entre 18 e 24°C. A vegetação é de floresta tropical

caducifolia a sub-caducifolia. Os solos presentes relacionados à superfície Sul-Americana são latossolos vermelho escuros com textura média. Na superfície Velhas, além desse tipo de solo, ocorrem também solos podzólicos vermelho-amarelados distróficos (IGA, 1977).

A prospecção de corpos ultramáficos mineralizados em níquel foi feita na região (Angeli e Rodrigues, 1980) a partir de indícios indiretos: solos ricos em magnetita e a presença de calcedônia, magnetita, talco e clorita evidenciam a existência de rochas ultramáficas. A vegetação pode também indicar a presença de concentrações elevadas de níquel, pois esse elemento é tóxico para as plantas, de modo que sobre os maciços ultramáficos a vegetação costuma ser rarefeita em relação às zonas circundantes.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um esboço da geologia regional e o de caracterizar, do ponto de vista mineralógico e geoquímico, os diferentes horizontes de alteração sobre as rochas ultramáficas de Santa Cruz.

## GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

Os grandes elementos estruturais da região leste do Estado de Minas Gerais foram primeiramente definidos por Rosier (1965). Segundo este autor, a área pesquisada situa-se no domínio dos metamorfismos correspondentes à evolução de uma antiga faixa geossinclinal, que foram enquadrados na Série Paraíba-Desengano. No modelo proposto por Almeida et alii. (1973), esta área pertence à extremidade setentrional da Faixa de Dobramentos Paraíba, englobada na Província Estrutural Mantiqueira (Almeida et alii., 1977). Com a elaboração do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (escala de 1:400.000), as rochas pertencentes à Série Paraíba-Desengano passam a pertencer ao Grupo Paraíba.

Como resultado do presente mapeamento geológico, estabeleceu-se que a área foi submetida a várias fases de deformação e metamorfismo. A tendência regional dos principais lineamentos é NNE. Três fases de deformação podem ser observadas, sendo que a primeira gerou foliação plano-axial (dobramento isoclinal, observado principalmente nos biotita-gnaisses) de orientação NW. Uma segunda fase de deformação gerou também foliação plano-axial com direção NE, sendo que localmente pode-se observar transposição. Uma terceira fase está relacionada à deformação desta última foliação, gerando dobramento concêntrico e aberto. Testemunhando os eventos finais da evolução da área, ocorrem crenulações, principalmente verificadas em biotita gnaisses, e falhamentos que geraram milonitos e blastomilonitos como no caso da Falha de Santa Cruz.

Dois eventos metamórficos são facilmente reconhecidos na área estudada. O primeiro deles corresponde a uma fase de metamorfismo de fácies anfíbolito alto e até mesmo granulito (Rodrigues et alii., 1980). Fenômenos de serpentinização, esteatização, cloritização e sericitização estão relacionados a uma segunda fase de metamorfismo de fácies xisto-verde que afetou principalmente as rochas ultramáficas. As principais unidades litológicas presentes são biotita gnaisses, metaquartzitos, gnaisses migmatizados, rochas ultramáficas e aluviões (Fig.2).

Os corpos ultramáficos que ocorrem na porção leste do Estado de Minas Gerais foram classificados como do tipo alpino (Grossi-Sad, 1968). Entretanto, apesar de apresentarem distribuição e forma irregular, ausência de metamorfismo de contato, foliação conspícua, elevação do teor em MgO e predominância de olivina, várias outras feições características dos corpos alpinos como, por exemplo, enxames de diques básicos e ultrabásicos, cobertura sedimentar e depósitos de cromita frequentemente não são encontrados. Apenas em Santa Cruz ocorrem leitões de cromita de até 1,5m de espessura.

Os corpos ultramáficos da região de Ipanema são diferenciados desde dunitos até gabros anortosíticos. Nestas rochas observam-se testemunhos das 2 fases de metamorfismo regional: desenvolvimento de grandes cristais de tremolita correspondentes à primeira fase, e serpentinização, esteatização e cloritização relacionadas à segunda. Um terceiro evento metamórfico teria sido responsável por uma nova geração de serpentina e clorita. A idade presumida desses pequenos corpos ultramáficos é proterozóica inferior ou arqueana (Angeli et alii., 1983).

## CARACTERÍSTICAS DO DEPÓSITO NIQUELÍFERO

A jazida de níquel de Santa Cruz constitui-se no manto de alteração sobre as rochas ultramáficas. As reservas estão estimadas em 7,1 milhões de toneladas com teor médio de 2% de níquel (Angeli e Rodrigues, 1980).

O perfil de alteração típico compreende os seguintes horizontes:

- Laterita vermelha: solo ferralítico de coloração castanho avermelhada escura, com textura argilo-arenosa, apresentando pequenas concreções ferruginosas. Ocorrem neste horizonte fragmentos de calcedônia e relictos de serpentinito e de xisto a ele associados, além de bastante magnetita. Sua espessura pode atingir até 6 m. O teor em Ni varia entre 0,2 e 0,5%.
- Saprolito alaranjado: material castanho-alaranjado, composto por matriz de textura silto-argilosa que engloba raros fragmentos de rocha menos alterada e grãos de clorita e tremolita. Sua característica específica é a elevada tixotropia. A transição para a laterita vermelha é gradual, sendo o contato entre esses 2 horizontes irregular e descontínuo. A espessura do saprolito alaranjado varia de 0 a 2m. Pode atingir até 1% de níquel, mas a faixa mais frequente de teores situa-se entre 0,6 a 0,9%.
- Saprolito verde: material de coloração verde clara, textura arenosa-argilosa, apresentando a estrutura da rocha geralmente bem representada e densidade em torno de 2.0. O contato com o horizonte superior é brusco, e pode atingir até 20m de espessura. De maneira geral, é um material homogêneo, mas muitas vezes pode conter boulders de serpentinito alterado. O teor médio de níquel neste horizonte varia de 1 a 2,6%.
- Rocha alterada: material semelhante ao saprolito verde, porém mais coeso e com teores de Ni mais baixos. É cortado por veios de garnierita, quartzo, talco e anfibólios.

Foi selecionado para amostragem uma frente de lavra no extremo leste do corpo de Santa Cruz (Fig.2). Este perfil, de 16m de espessura, situa-se na encosta do morrote que constitui a porção sul do maciço. Os facies de alteração presentes restringem-se apenas a 4m de saprolito alaranjado (amostras SC-01 a SC-04) e 12m de saprolito verde (amostras SC-05 a SC-16). Faltam, portanto, amostras representativas da rocha fresca e pouco alterada e dos horizontes B e A do solo.

## EVOLUÇÃO MINERALÓGICA

A composição mineralógica das amostras foi determinada por meio de estudos difratométricos e do exame de seções delgada ao microscópio polarizante.

A Tabela 1 mostra uma avaliação semi-quantitativa dos componentes de cada fácies. O horizonte de saprolito verde é composto essencialmente por um reticulado de serpentina (serpentina I), cujos núcleos apresentam cavidades ou são ocupados por restos de olivina corroída por esmectita, ou por serpentina mal cristalizada (serpentina II). Ocorrem, em quantidade subordinada, anfibólios (tremolita e antofilita) associados a talco e clorita, e cortados por serpentina. Grãos de magnetita e cromita aluminosa encontram-se irregularmente distribuídos pela rocha.

O facies saprolito alaranjado constitui-se de uma matriz goethítica rica em quartzo e em minerais herdados da rocha: anfibólio, talco, clorita e opacos. É possível observar, muito localmente, vestígios da estrutura da rocha original e, neste caso, o reticulado de serpentina é substituído por goethita, com o quartzo cristalizando-se preferencialmente nos interstícios.

A hipótese elaborada para explicar as filiações mineralógicas encontra-se resumida na Figura 3, e postula uma história de alteração hipógena que precedeu o episódio de alteração supérgena. Assim, a rocha primária, um peridotito, teria como constituintes: olivina, piroxênios da família dos magnesianos e cromita. Essa rocha, por ação do metamorfismo regional de fácies anfíbolito, teve a totalidade de seus pi-

roxênios transformados em tremolita e antofilita. Seguiram-se 2 fases de serpentização que deram origem, a partir da olivina, à serpentina I, bem cristalizada e, mais tardiamente, à serpentina II, não tão bem cristalizada e de estrutura e composição química possivelmente diferentes da primeira. Sua birrefringência anormalmente intensa sugere tratar-se talvez de uma transição para clorita. Relaciona-se provavelmente às fases de serpentização a gênese da magnetita. Neste episódio de transformação hipogena nem toda a olivina foi afetada, restando núcleos intactos no centro dos reticulados. Ao evento metamórfico responsável pela primeira fase de serpentização está associada a alteração da tremolita em talco e clorita.

Submetida a rocha aos agentes intempéricos, o primeiro mineral a se desestabilizar é a olivina que, com a evacuação do magnésio, dá origem a um filossilicato da família das esmectitas, provavelmente a nontronita. Essa argila aparece ao microscópio corroendo as bordas da olivina e, à medida que o processo avança, ocupa todo o centro do reticulado de serpentina. Esse fenômeno se dá visivelmente com perda de matéria, pois é muito comum a existência de vazios adjacentes à olivina em vias de alteração. Os cálculos referentes ao balanço geoquímico irão, no item seguinte, quantificar essa perda.

Neste primeiro estágio da alteração, a serpentina I permanece perfeitamente fresca, enquanto que a serpentina II pode apresentar-se ligeiramente amarelada, colorida pelos óxidos de ferro liberados da alteração da olivina. Os demais silicatos, anfibólios, talco e clorita, permanecem inalterados. Em vista da filiação exclusiva da esmectita a partir da olivina, o saprolito verde se apresentará mais argiloso quando for proveniente de um fácies menos serpentizado e, como veremos adiante, isto tem consequências para a acumulação do níquel.

Com o aumento da porosidade do saprolito, a drenagem torna-se mais intensa e, a partir de um certo momento, ocorre um processo brutal de dissolução da serpentina, com lixiviação intensa do magnésio e individualização do ferro como goethita, localmente estruturada como réplica do reticulado de serpentina I. A sílica, pelo menos em parte, precipita como quartzo nos vazios e descontinuidades do saprolito. Mesmo neste estágio mais avançado da alteração, os demais silicatos hipogênicos permanecem livres de qualquer transformação. Em consequência, há um aumento relativo na quantidade deles, bem como na dos opacos que se comportam da mesma maneira. Simultaneamente ao desaparecimento da serpentina, ocorre a desestabilização da esmectita neoformada, inteiramente ausente no fácies saprolito alaranjado. O ferro contido neste mineral provavelmente também contribui para a formação de goethita.

É possível que a cristalização do quartzo e da goethita se dê pelo intermediário de uma fase amorfa constituída por amorfos sílico-ferruginosos, a exemplo do que ocorre em outras situações semelhantes como em Santa Fé-GO, Morro do Níquel-MG e Liberdade-MG (Oliveira, 1980; Trescases e Oliveira, 1978; Esson e Santos, 1978).

## EVOLUÇÃO QUÍMICA

A Tabela 2 apresenta dados de análise química para 4 amostras representativas do fácies saprolito verde e para uma amostra do fácies saprolito alaranjado. Embora não se tenham dados relativos à rocha fresca para o perfil estudado, os valores referentes aos saprolitos podem ser comparados com os da primeira coluna desta tabela, onde constam intervalos de variação dos teores dos principais componentes de rochas ultramáficas serpentizadas citados na literatura (Melfi et alii, 1980; Oliveira, 1980; Trescases, 1975, etc).

A  $\text{SiO}_2$ , nos dois horizontes estudados, apresenta um ligeiro enriquecimento relativo, se comparada com os valores para a rocha fresca. Isto se deve ao fato de que o silício, apesar de ser exportado durante a alteração, o é em intensidade menor que o magnésio, como demonstram os cálculos do balanço, expostos adiante.

Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no saprolito verde são baixos, sempre inferiores a 1%, e devem ser atribuídos à clorita, à cromita e secundariamente, à esmectita, no nível de saprolito alaranjado. Há um enriquecimento relativo em  $\text{Al}_2\text{O}_3$  devido ao enriquecimento relativo em clorita e cromita demonstrado pelo estudo mineralógico.

O ferro encontra-se em ambos os horizontes principalmente como  $\text{Fe}^{3+}$ , entrando como constituinte da esmectita, cromita e mag

netita. Como  $Fe^{2+}$ , está principalmente substituindo o  $Mg^{2+}$  no retículo da olivina e da serpentina, além de encontrar-se também na magnetita. O sensível aumento relativo no teor de Fe total na transição saprolito verde - saprolito alaranjado deve-se à permanência desse elemento, geralmente imóvel nas condições de Eh e pH reinantes próximas à superfície, em face da lixiviação dos principais componentes de rocha,  $SiO_2$  e  $MgO$ .

Os valores de cerca de 30% de  $MgO$  no saprolito verde são baixos em relação aos encontrados na rocha fresca e devem-se ao fato, constatado ao microscópio, de a olivina já estar neste facies, quase que totalmente ausente. Com a dissolução da serpentina no saprolito alaranjado, os teores de  $MgO$  caem ainda mais, sendo o remanescente atribuído aos silicatos hipógenos que resistiram à alteração.

Os teores variáveis de  $CaO$  em todos os níveis refletem a não homogeneidade da distribuição dos anfibólios no corpo rochoso. Com efeito, algumas amostras exibem veios de anfibólio recortando o saprolito. O  $Na_2O$  e o  $K_2O$  encontram-se em quantidades muito baixas, o que é característico para as rochas da série sífêmica.

O  $Cr_2O_3$  apresenta, no saprolito verde, valores compatíveis com os da rocha fresca, não se evidenciando, portanto, neste nível, nenhum enriquecimento. No saprolito alaranjado há um certo aumento relativo, mas os teores, mesmo neste horizonte, estão longe de apresentar qualquer interesse econômico.

O  $TiO_2$  e o  $MnO$  mostram, no saprolito verde, valores da mesma ordem de grandeza que na rocha fresca. No saprolito alaranjado o  $Ti$  é lixiviado e o  $Mn$  acumula-se.

O  $Co$ ,  $Cu$ ,  $Zn$  e  $V$  exibem comportamento semelhante ao do  $Mn$ ; seus teores situam-se no intervalo de variação normal para a rocha fresca nos facies menos alterados. Na amostra SC-05 que representa o início da transição para o saprolito alaranjado, mostram ligeiro enriquecimento (só o  $Co$  mostra acentuado enriquecimento) e, finalmente, na amostra SC-03, apresentam teores mais elevados. É possível que estes 5 elementos estejam associados em concreções de asbolito, como acontece comumente neste facies de alteração da maioria das jazidas de  $Ni$  (Golightly, 1981). Entre eles, apenas o  $Co$  poderia apresentar interesse econômico.

Os valores de  $NiO$ , entre 1,19 e 3,50% no saprolito verde indicam marcado enriquecimento neste óxido, cujo teor médio nos peridotitos serpentinizados é da ordem de 0,2 a 0,3%. Digna de nota é a observação de que, entre as amostras de saprolito verde, as que apresentam ao microscópio maior quantidade de serpentina II revelam teores mais baixos de  $Ni$  e vice-versa. Na amostra SC-12, por exemplo, a serpentina II parece inexistir e seu teor em  $NiO$  é bastante elevado. Essa observação sugere que uma parte do  $Ni$  liberado pela hidrólise da olivina fica aprisionado em seu produto de alteração, a esmectita. Assim, neste caso, quanto menos a rocha tiver sido afetada pela segunda fase de serpentinização, maior será seu potencial como protominério de  $Ni$ , pois com a formação de serpentina II em lugar da olivina, o material é mais resistente à alteração e, quando esta se dá, já não há mais condições de neogênese da esmectita que é uma eficiente armadilha para o  $Ni$ . É possível, que uma parte do  $Ni$  deste horizonte esteja associada aos compostos amorfos ferruginosos que colorem a serpentina de amarelo. No saprolito alaranjado, com a dissolução da serpentina e da esmectita, os teores de  $Ni$  caem a valores praticamente desprovidos de interesse econômico. Neste facies, o  $Ni$  deve estar associado à goethita e aos possíveis compostos de  $Mn$ .

Com a finalidade de avaliar perdas e ganhos absolutos provocados pela alteração nos principais componentes da rocha ultramáfica, foi efetuado o cálculo do balanço geoquímico, mostrado na Tabela 3. Para a passagem rocha fresca - saprolito verde, usou-se o procedimento de Millot e Bonifas (1955), assumindo-se para a rocha fresca a densidade de 2,7 e a composição média expressa na Tabela 2. Para o saprolito verde, usou-se a média das 4 amostras analisadas e o valor de 2,0 para a densidade, média de três determinações. Com relação ao saprolito alaranjado, não estruturado, e portanto não passível de determinação de densidade aparente, assumiu-se a constância do  $Fe$ .

Os resultados do cálculo do balanço geoquímico indicam que a passagem rocha fresca-saprolito verde corresponde a uma perda de 20% de massa, reflexo da hidrólise incongruente da olivina com a evacuação total do  $MgO$ , parcial da  $SiO_2$ , retenção do  $Fe_2O_3$  e formação de nontronita.

Com a alteração da serpentina e da nontronita, resta

um material que representa apenas 30% da rocha original. Nesta etapa do processo, a evacuação da sílica continua parcial e a do MgO total. Essa sílica parcialmente retida cristaliza-se como quartzo.

O Ni mostra um comportamento conforme ao classicamente descrito na literatura (Trescases e Oliveira, 1978; Golightly, 1981 e Schellmann, 1982): lixiviação nos setores superiores do perfil e acumulação na base. No caso do perfil estudado, registra-se enriquecimento - absoluto médio no saprolito verde da ordem de 400%. É possível que, para atingir esses valores, uma outra fonte de Ni, além do saprolito alaranjado, possa ter contribuído. Esta fonte estaria relacionada a perfis de alteração já erodidos.

O mecanismo de transferência do Ni para a base do perfil pode agora ser esclarecido. O Ni, liberado pela alteração da olivina, concentra-se relativamente no saprolito verde, associado à nontronita e aos amorfos ferruginosos adsorvidos aos cristais de serpentina. Com o avanço da frente de alteração, esse material desestabiliza-se, os hospedeiros do Ni são destruídos e sua maior parte migra "per descensum", enriquecendo de forma absoluta o novo nível de saprolito verde em vias de formação. Uma parte do níquel fica retida na goethita que é gerada - no nível de saprolito alaranjado. Assim, à medida que o perfil se aprofunda, o processo de enriquecimento absoluto se intensifica e pode levar a índices da ordem de até 800% como ocorre em Liberdade, MG. (Esson e Santos, 1978).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mineralógico e geoquímico das amostras provenientes do perfil de alteração das rochas ultramáficas de Ipanema, MG revelou que a evolução supérgena dessas rochas leva a uma destruição intensa dos silicatos primários, caracterizada por lixiviação quase que completa do MgO e parcial da SiO<sub>2</sub>. Fica assim, caracterizado um processo de nítida tendência laterítica.

Esse estudo trouxe também informações sobre o possível mecanismo concentrador do Ni e mostrou que este elemento está acumulado principalmente na base do perfil, em parte associado ao filossilicato - neoformado a partir da hidrólise incongruente da olivina, e em parte associado aos produtos amorfos também provenientes da dissolução da olivina. Os horizontes mais oxidados correspondentes ao saprolito alaranjado, embora evidenciando enriquecimento em Ni relativo à rocha fresca, não apresentam teores que lhes permitam ser classificados como minério. Resulta, portanto, que o minério de Ni de Ipanema é essencialmente do tipo silicatado, a exemplo do que acontece em Morro do Níquel (Trescases e Oliveira, 1978).

Ficou demonstrada a mobilidade vertical do Ni, colocado em solução nos níveis superiores do perfil e precipitado nos níveis inferiores. A hipótese de sua mobilidade lateral e possível concentração em setores deprimidos da paisagem só poderia ser testada por um estudo mais amplo, abrangendo perfis de alteração dispostos em toposequência.

Como no perfil estudado faltam os horizontes representativos da rocha fresca e pouco alterada e dos níveis superiores do solo, há lacunas de informação pelo menos sobre dois pontos importantes:

- a natureza da garnierita na base do perfil;
- a existência de horizontes pedológicos mais completamente laterizados, o que implicaria numa evacuação completa de MgO e de SiO<sub>2</sub>, consequente da destruição de todos os silicatos primários e de eventuais fases argilosas deles provenientes.

### AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Comissão de Projetos Especiais da Reitoria da Universidade Estadual Paulista (CPE / RUNESP, Processo nº 010/83) pelo auxílio concedido à realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de; AMARAL, G.; CORDANI, U.G. and KAWASHITA, K. - 1973 - The Precambrian Evolution of the South American Cratonic Margin South of the Amazon River. The Oceans Basins and Margins, Vol. 1, New York: 411 - 446.
- ANGELI, N. e RODRIGUES, E. de P. - 1980 - Pesquisa de níquel em parte da região centro-leste do Estado de Minas Gerais. Congr.Bras.de Geol., 31ª., Anais, Camboriu, 4: 2403 - 2414.
- ANGELI, N.; LANDIM, P.M.B.; ALVES, R. e TAKIYA, H. - 1983 - Prospecção geoquímica para níquel e cobre na região do Baixo Santa Maria, municípios de Ipanema e Pocrane, Minas Gerais, Simp.Geol.Minas Gerais, IIª, Anais, Belo Horizonte: 235 - 247.
- EBSON, J. e SANTOS, L.C.S. dos - 1978 - Chemistry and mineralogy of section through lateritic nickel deposit at Liberdade, Brazil. Inst.Min. Met., Sect B, 87: 53-60.
- GOLICHTLY, J.P. - 1981 - Nickeliferous laterite deposits. Ec.Geol. 75<sup>th</sup> Ann.Vol.: 710 - 735.
- GROSSI SAD, J.H. - 1968 - Os cinturões serpentínicos do Brasil Oriental. EMUFOP, SIGESP, Ouro Preto, 7: 140 - 153.
- IBGE - 1977 - Geografia do Brasil - Região Sudeste do Rio de Janeiro, SERGRAF, V. 3: 1-118.
- IBGE - 1977 - Projeto Radar - Minas Gerais. Carta Geomorfológica, Folha Belo Horizonte, Escala 1:500.000.
- KING, L.C. - 1956 - A geomorfologia do Brasil Oriental. Rev.Bras.de Geografia, 18, 2, Rio de Janeiro: 147 - 256.
- MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J.; OLIVEIRA, S.M.B. - 1980 - Les "latérites" nickélicifères du Brésil. Cah. ORSTOM, Sér.Géol., Vol. XI, 1: 15-42.
- MILLOT, G. e BONIFAS, M. - 1955 - Transformation isovolumétrique dans les phénomènes de latérisation et de bauxitisation. Bull.Serv.Cart.Geol. Als. Lorr., 8 (1): 3-20.
- OLIVEIRA, S.M.B. de - 1980 - Alteração intempérica das rochas ultrabásicas de Santa Fé (GO) e gênese do depósito níquelífero. Tese de Doutorado, Inst. de Geociências, São Paulo: 216 p.
- RODRIGUES, E. de P.; VALARELLI, J.V.; COUTINHO, J.M.V. e ANGELI, N. - 1980 - Metamorfismo de rochas ultrabásicas de Ipanema, Minas Gerais. Congr.Bras.de Geol. 31ª, Anais, Camboriu, 4: 2245 - 2252.
- ROBIER, G.F. - 1965 - Pesquisa geológica na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais.DNPM-DGM, Boletim, Rio de Janeiro, 222: 40p.
- SCHHELLMANN, W. - 1982 - Geochemical principle of lateritic nickel ore formation. Int.Symp.Lat.Proc., II, São Paulo: 119 - 135.
- TRESCASES, J.J. - 1975 - L'évolution géochimique supergène des roches ultrabásiques en zone tropicale. Thèse a docteur às Sci.Nat., Paris. Mem. ORSTOM, 78: 259 p.
- TRESCASES, J.J. e OLIVEIRA, S.M.B. de - 1978 - Alteração dos serpentinitos de Morro do Níquel (MG). Congr.Bras.Geol., XXXª, Anais, Recife, 4: 1655 - 1669.





TABELA 1 - AVALIAÇÃO SEMI-QUANTITATIVA DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DO SAPROLITO VERDE E DO SAPROLITO ALARANJADO

	SERPENTINA + OLIVINA	TALCO	CLORITA	ANFIBÓLIO	OPACOS	ESMECTITA	GOETHITA	QUARTZO
SC 01	-	++	++	+	+	-	++	++
SC 03	-	++	++	+	+	-	++	++
SC 04	-	++	++	++	+	-	+	++
SC 05	++	++	+	++	+	(+)	(+)	-
SC 07	+++	++	++	(+)	+	++	(+)	-
SC 08	+++	++	+	(+)	+	++	-	-
SC 10	+++	++	+	(+)	+	++	-	-
SC 12	+++	++	+	++	+	++	-	-
SC 14	+++	++	+	+	+	++	-	-
SC 15	+++	++	+	(+)	+	+	-	-
SC 16	+++	++	+	(+)	+	++	-	-

+++ Abundante ++ Frequente + Escasso (+) Traços - Ausente

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SAPROLITO VERDE E SAPROLITO ALARANJADO (% EM PESO DOS ÓXIDOS E ppm DOS ELEMENTOS)

	RF <sup>(1)</sup>	SC-15 <sup>(2)</sup>	SC-12 <sup>(2)</sup>	SC-08 <sup>(2)</sup>	SC-05 <sup>(2)</sup>	SC-03 <sup>(3)</sup>
P.F.	8-16	11,65	9,39	13,26	14,03	6,40
SiO <sub>2</sub>	35-40	44,0	47,7	41,8	41,0	46,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4-1,5	0,98	0,61	0,67	0,59	1,85
FeO		1,02	0,62	0,69	0,89	2,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6-12 <sup>(4)</sup>	11,10	8,07	9,40	10,57	24,31
HgO	38-42	27,96	28,10	31,53	27,47	14,13
CaO	0,6-3,0	0,47	1,67	0,48	2,79	1,90
Na <sub>2</sub> O	0,3-0,5	0,02	0,02	0,01	0,030	0,059
K <sub>2</sub> O	0,01-0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,02-0,03	0,031	0,019	0,019	0,010	0,010
MnO	0,10-0,22	0,15	0,14	0,15	0,17	0,38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15-0,35	0,29	0,16	0,25	0,30	0,79
HfO	0,2 - 0,3	2,30	3,50	1,23	1,19	0,86
Co	100 - 200	124	92	120	1500	3500
Cu	10 - 40	17	48	18	58	56
Zn	40 - 60	56	42	48	60	139
V	30 - 50	35	20	20	70	150
TOTAL		99,42	99,25	99,17	98,85	99,40

- (1) - Dados da literatura sobre intervalos de variação dos teores em rochas ultramáficas.
- (2) - Amostras de saprolito verde a profundidades de 15, 12, 8 e 5 m
- (3) - Amostras de saprolito alaranjado a profundidade de 3 m
- (4) - Fe total calculado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

FIGURA 3 - FILIAÇÕES MINERALÓGICAS

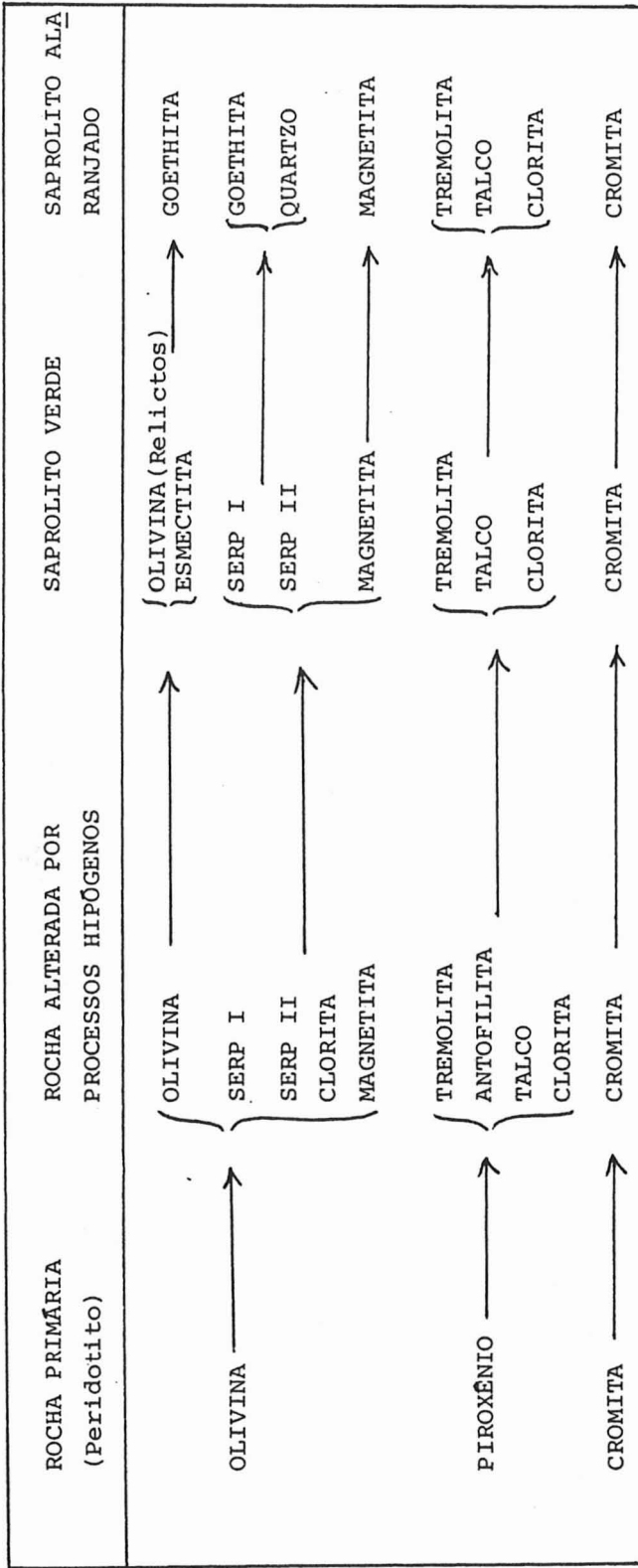


TABELA 3 - PERDAS E GANHOS ABSOLUTOS

	RF - SV	RF - SA
SiO <sub>2</sub>	-15%	-63%
MgO	-47%	-89%
NiO	+409%	-13%
Exportação de Matéria	-26%	-70%

NOTA: Passagens RF-SV: Cálculo isovolume e SV-SA: Cálculo isoFe