



ESTUDO DA ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA SOBRE ROCHAS RICAS EM APATITA NO MACIÇO ALCALINO CARBONATÍTICO DE IPANEMA, SP

R.V.S. Florêncio¹ & M.C.M. de Toledo²

¹Pós-graduação, Instituto de Geociências - USP, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP

² Instituto de Geociências e Nupegel - USP, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP

Recebido em 11/96; aprovado para publicação em 08/97

ABSTRACT

The weathered material from the Gonzaga de Campos profile, originated from apatite rich rocks of the Ipanema Alkaline Complex, were studied in order to recognize morphological, mineral and chemical changes through weathering processes. Two lithological types was identified in that profile: an apatitic banded rock (biotite, hastingsite, apatite, magnetite), with dyke characteristics, and a glimerite (biotite, apatite, hastingsite).

Chemical and mineralogical evolution resulted on typical lateritic materials, with iron oxyhydroxydes and 1:1 clay minerals, and including a bissialitic stage in the evolution of phyllosilicates. Apatite evolved to wavelite, without intermediate minerals. Secondary apatite evolved to wavelite, without intermediate minerals. Secondary apatite was formed in very restricted points, linked to the remobilization of Ca and P outside the primary apatite domain.

While in the isalterite there are still mobile elements in these conditions (Ca, K and Mg and, in minor scale, Si), in the aloterite only residual elements are found (Fe, Al, and some Si); even P is almost absent.

Apatite weathering forms directly a secondary aluminous phosphate, and weathering role in the generation of the apatitic ore seems to turn the rocks friable without promoting a relative enrichment in apatitic phosphate.

RESUMO

Os materiais intemperizados expostos no perfil Gonzaga de Campos, formados a partir de rochas ricas em apatita do Complexo Alcalino Carbonatítico de Ipanema (SP), foram estudados visando ao reconhecimento das modificações morfológicas, filiações minerais e tendências de evolução geoquímica em superfície. Foram reconhecidos dois tipos litológicos básicos no local: rocha apatítica bandada (biotita, hastingsita, apatita, magnetita) e rocha glimerítica (biotita, apatita, hastingsita).

Na evolução química e mineralógica dos materiais, constatou-se a presença de materiais secundários típicos do intemperismo laterítico, com a formação de oxihidróxidos de ferro e argilominerais 1:1, com estágio bissialítico intermediário importante; a apatita evoluiu para wavelita; apatita secundária teve formação muito restrita e ligada à mobilização de fósforo e cálcio e redeposição em locais distantes da apatita primária.

Enquanto na isalterita ainda há elementos potencialmente lixiviáveis nestas condições (Ca, K e Mg e, em menor escala, Si), na aloterita ocorrem somente os elementos residuais (Fe, Al e, em parte, Si). O fósforo quase não ocorre na aloterita. A alteração da apatita forma diretamente um fosfato de alumínio (wavelita) e b) o papel do intemperismo na gênese do depósito mineral fosfático de Ipanema foi no sentido de friabilizar a rocha e não de promover um enriquecimento relativo em fósforo apatítico.

INTRODUÇÃO

O Maciço Alcalino Carbonatítico de Ipanema situa-se na área da antiga Fazenda de mesmo nome, na parte central da Serra de Araçoiaba, no centro leste do Estado de São Paulo, a 143 km da capital. Esta área contém uma reserva florestal denominada, atualmente, Floresta Nacional de Ipanema. Desde 1992, a área é administrada pela Secretaria do Meio Ambiente e sua reserva florestal tem fiscalização feita pelo IBAMA.

A região apresenta relevo suave com cotas da ordem de 600 m, destacando-se a Serra de Araçoiaba, que constitui aci-

dente notável, de forma semi-circular, com cota máxima ultrapassando 950 m. No centro da Serra de Araçoiaba, drenada pelo Ribeirão do Ferro, ocorre o núcleo glimerítico da intrusão alcalino-carbonatítica, na direção NE-SW, com uma área de 0,5 km², circundado por uma auréola de fenitização cujo diâmetro é da ordem de 3 km. A rocha alcalina (glimerito) e os fenitos circundantes ocupam uma área com cerca de 13 km² (Nogueira *et al.*, 1976) (Fig. 1).

Originalmente, a área era recoberta por densa floresta tropical caracterizada pela mata atlântica de planalto. Atualmente, a vegetação é escassa nos flancos da Serra, constituída por

campos de pastagens ou por plantações, sendo um pouco mais densa no flanco noroeste do Ribeirão do Ferro. No interior da Serra, encontra-se mata de difícil penetração em alguns locais.

O clima atual da região caracteriza-se como subúmido, mesotermal, com temperaturas médias anuais de 22°C. Foram registradas precipitações anuais que variam de 600 a 1700 mm, sendo que a média anual é de cerca de 1200 mm.

Na região de Sorocaba, onde está situado o Maciço, predominam as rochas sedimentares permocarboníferas do Grupo Tubarão (Bacia do Paraná) (Mendes, 1961, *apud*

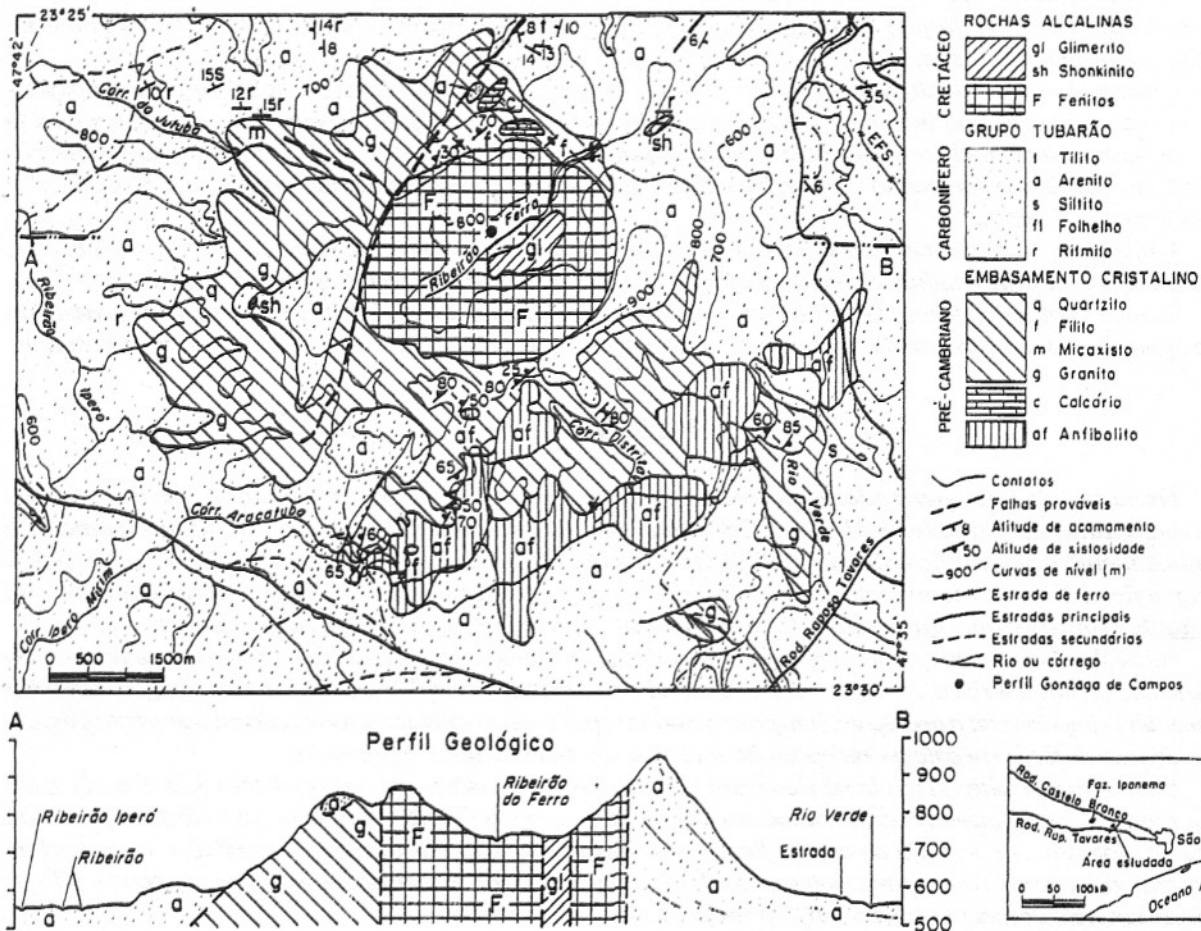


Figura 1 - Localização e mapa geológico regional do Maciço Alcalino-Carbonatítico de Ipanema e localização do perfil Gonzaga de Campos (Fonte: Serrana 1976a e b).

Davino, 1975). Segundo Serrana (1976a), as variedades litológicas encontradas nessa unidade compreendem arenitos, siltitos e, mais restritamente, folhelhos, tilitos e ritmitos; sua espessura varia de 100 a 200 m, e apresentam mergulho regional suave, da ordem de 1° a 3° para NW. Nas proximidades da Serra, estas rochas apresentam-se extremamente perturbadas, como resultado da intrusão alcalina. Ocorrem, ainda, diabásios associados ao vulcanismo mesozóico do sul do Brasil (Leinz, 1949, *apud* Davino, 1975), cortando ou intercalando as camadas do Grupo Tubarão.

Sob esta unidade, encontra-se o embasamento cristalino (Grupo São Roque), que sofreu soerguimento pela intrusão alcalina, podendo aflorar a altitudes superiores a 850 m na Serra de Araçoiaba (Davino, 1975). O embasamento compreende rochas como granitos, anfibólitos e filitos, que compõem a maior parte da Serra, sendo que, localizadamente, pode-se encontrar calcários, micaxistos e quartzitos, com atitudes praticamente verticalizadas. São, ainda, encontrados diques radiais de shonkinitos, fora da intrusão principal, cortando as encaixantes regionais (Serrana, 1976a).

No Maciço de Ipanema, de importância histórica, situa-se uma das primeiras ocorrências de minério de ferro descobertas no Brasil, tendo sido instalados, neste local, os primeiros fornos para o seu beneficiamento, por volta de 1560. Posteriormente, foi verificada, na área, a presença de micas expansivas e fosfatos, o que a tornou objeto de vários estudos antigos, de importância histórica (Leinz, 1940; Knecht, 1940) e alguns mais recentes (Aps &

Born, 1975; Davino, 1975; Serrana, 1976a, 1976b; Born, 1989; Lenharo, 1994; Lenharo & Born, 1994; Born *et al.*, 1996), com vistas à pesquisa mineral, bem como caracterização mineralógica e tecnológica.

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DO MACIÇO

Os trabalhos de pesquisa mais recentes (Serrana, 1975, 1976a e 1976b), que utilizaram um grande número de sondagens, citam os glimeritos como as rochas principais da intrusão, tendo, os sienitos, importância quantitativa secundária, ocorrendo como transições locais no corpo glimerítico principal. A Serrana também cita a presença de diques de shonkinitos e carbonatitos (praticamente isentos de apatita e mais comuns sob a forma de finas venulações). Ainda segundo os relatórios desta companhia, envolvendo o núcleo glimerítico ocorrem materiais fenitizados, constituídos por extensa gama de rochas metassomatizadas, caracterizadas pela formação de egirina-augita, hastingsita e feldspato alcalino. A concentração apatítica está associada ao núcleo glimerítico principal e às venulações micáceas no fenito circundante. O mapa geológico esquemático da intrusão e rochas vizinhas está representado na Figura 1.

Em amostras tomadas de diques de shonkinitos, que cortam rochas metassedimentares do Grupo Tubarão e em uma amostra de um fenito sienítico, Amaral *et al.* (1967) obtiveram a idade de 123 Ma, através de datações pelo método K-Ar. Ulbrich & Gomes (1981) consideraram este valor como sendo a idade mínima. Com base

em sua idade e litologia, o maciço alcalino de Ipanema tem sido agrupado com diversos outros tipos de rochas alcalinas, que tiveram sua formação por volta de 130 Ma, idade esta compatível com um dos quatro ciclos magmáticos alcalinos mais importantes ocorridos no sudeste do Brasil (Herz, 1977; Ulbrich & Gomes, 1981; Gomes *et al.*, 1990).

Segundo a classificação de Ulbrich & Gomes (1981), este maciço insere-se numa subdivisão do grupo III, onde são agrupados os maciços com glimeritos, como rochas silicatadas principais, e carbonatitos, na forma de diques e *plugs*.

A apatita de Ipanema

Nos glimeritos, a apatita associa-se, freqüentemente, à egirina-augita e mica, podendo, também, ocorrer dispersamente entre feldspato alcalino, hastingsita, calcita e magnetita. Nos fenitos circundantes, a apatita restringe-se aos veios micáceos que os recortam, onde apresenta-se com granulometria mais fina (0,2 mm ou menos) em relação àquela dos glimeritos (0,2 a 0,6 mm). A apatita pode formar pequenas lentes no centro daqueles veios, associando-se com calcita, magnetita e piroxênio. Born (1989) já havia definido a apatita de Ipanema como sendo fluorapatita, o único fosfato importante identificado na rocha fresca; de acordo com este autor, na rocha fracamente alterada, alguma carbonatoapatita poderia ocorrer. No depósito residual, a fluorapatita ainda seria o fosfato predominante, enquanto os fosfatos não apatíticos estariam concentrados na cobertura superficial.

Lenharo (1994), num estudo de caracterização mineralógica e tecnológica de apatitas

de alguns depósitos brasileiros de fosfato, definiu a apatita primária de Ipanema como sendo uma hidróxi-flúor-apatita com algum estrôncio em sua estrutura. As apatitas supérgenas observadas são do tipo carbonato-flúor-apatita.

Ainda segundo esta autora, a ocorrência de elementos TR nas apatitas de Ipanema é muito baixa, em contraste com muitas outras ocorrências similares; o valor total obtido por Lenharo (1994) é da ordem de 300 ppm. Segundo Born (1989), nenhuma concentração significativa de TiO_2 , Nb_2O_5 , BaO, SrO e ETR foi encontrada no manto de intemperismo ou na área da intrusão.

A alteração intempérica no maciço

O conhecimento anterior sobre o intemperismo das rochas associadas ao maciço deveu-se às pesquisas para o aproveitamento de fosfatos e, subordinadamente, das micas expansivas (Leinz, 1940; Knecht, 1972 e 1973, *apud* Serrana, 1975, 1976a e 1976b; Aps & Born, 1975).

Os estudos efetuados pela Serrana definiram a seguinte seqüência vertical média para o manto de alteração intempérica sobre o maciço: capeamento com 0 a 5 m de material estéril, minério até os 20 a 50 m, e rocha. Segundo a Serrana, o minério apatítico corresponde ao simples resultado do intemperismo sobre as rochas mineralizadas primariamente. Em função do grau de alteração intempérica e da qualidade econômica, foram reconhecidos três tipos de minério: A, B e C, com as seguintes características: Minério tipo A: alteração incipiente dos minerais primários, pobreza em argilominerais, pre-

sença de vermiculita verde (granulação grossa) e apatita liberada nas frações finas;

Minério tipo B: alteração mais acentuada dos minerais primários, aumento da fração argila (20 a 50%), presença de vermiculita (mais fina) e apatita parcialmente recoberta por película ferruginosa, e

Minério tipo C: alteração praticamente completa dos minerais primários, evolução mais acentuada das vermiculitas, apatita de recuperação ainda mais difícil, presença de fosfatos aluminosos supérgenos.

As análises químicas efetuadas em amostras compostas nas frentes de lavra experimental mostraram que houve enriquecimento em Fe_2O_3 e perda de CaO e Al_2O_3 . No minério totalmente alterado, houve um enriquecimento residual em P_2O_5 cujos teores são, por vezes, bastante altos, e podem estar refletindo a presença de fosfatos secundários. Estes foram detectados apenas através de análises químicas que demonstraram baixo teor em CaO em relação ao P_2O_5 contido, considerando-se a composição teórica da fluorapatita. De um modo geral, não houve enriquecimento residual em apatita, cujos teores são semelhantes na rocha sã e alterada.

Quanto aos aspectos econômicos, a Serrana S. A. (Serrana, 1975) definiu a ocorrência de vermiculita em área de 350.000 m², nas zonas de glimerito. Trata-se de material com teor médio de 20% de mica expansiva. As reservas medidas de vermiculita até 15 m de profundidade são 4.725.000 t. No cálculo de reservas de fosfatos, foi considerado minério, o material com teor superior a 4% em P_2O_5 , que pode, por vezes, ocorrer intercalado entre camadas com teores abaixo deste

valor (Aps & Born, 1975). Assim, na pesquisa do minério fosfático de Ipanema, a Serrana S. A. obteve 5 categorias de materiais, com reserva medida de 10.672.000 t a 6,8% de P_2O_5 (teor médio). Posteriormente, estas reservas foram sensivelmente ampliadas, atingindo valores de reserva total (indicada e medida) da ordem de 120.000.000 t (Mendes *et al.*, 1976).

Não obstante o detalhamento de aspectos de interesse para o aproveitamento do minério fosfático, os processos de intemperismo ainda não haviam sido abordados em Ipanema, como o foram em outros complexos alcalino-carbonatíticos associados às bordas da Bacia do Paraná, (Flicoteaux *et al.*, 1990; Alcover Neto, 1991; Melfi *et al.*, 1991; Soubiès *et al.*, 1991a, 1991b; Walter, 1991; Alcover Neto & Toledo, 1993; Imbernon, 1993; Almeida *et al.*, 1994; Pereira, 1991 e 1995).

No estudo de perfis de alteração sobre tais complexos, o estudo do comportamento do fósforo é, geralmente, enfatizado, tendo em vista a sua importância como fator de influência no comportamento de outros elementos ali enriquecidos, formando minerais secundários (os fosfatos lateríticos) em quantidades suficientes para constituir fases significativas nestes perfis. Estes fosfatos secundários têm sido cada vez mais valorizados, visto representarem materiais de grande importância na determinação dos procedimentos de lavra de fosfatos apatíticos, e por demonstrarem papel relevante na dinâmica de elementos de importância ambiental.

A fixação ou lixiviação do fósforo nos perfis é controlada pelas condições locais, que

incluem fatores climáticos e topográficos além das características texturais, estruturais e mineralógicas da rocha original, que determinam as condições físico-químicas dos meios. Esta questão tem sido discutida por vários autores, em diferentes abordagens (Altschuler, 1973; Vieillard *et al.*, 1979; Lucas *et al.*, 1980; The British Sulfur Corporation Limited, 1980; Flicoteaux & Lucas, 1984; Zanin, 1989; Gusev *et al.*, 1976, *apud* Zanin, 1989; McArthur, 1985, *apud* Zanin, 1989; Schwab *et al.*, 1990, entre outros).

OBJETIVOS

No Brasil, a evolução supérgena das rochas associadas aos complexos alcalino-carbonatíticos tem sido estudada através de trabalhos com objetivos diferenciados, contemplando aspectos acadêmicos e aplicados (Born, 1976; Costa *et al.*, 1980; Costa & Sá, 1980; Lucas *et al.*, 1980; Oliveira & Schwab, 1980; Siqueira & Lima, 1982; Berbert, 1984; Costa, 1984; Costa & Reymão, 1984; Lemos & Costa, 1987; Braga & Born, 1988; Kahn, 1988; Silva *et al.*, 1988; Schwab *et al.*, 1989; Walter *et al.*, 1989; Flicoteaux *et al.*, 1990; Alcover Neto, 1991; Pereira, 1991; Pereira *et al.*, 1991; Soubiès *et al.*, 1991a, 1991b; Walter, 1991; Alcover Neto & Toledo, 1993; Imbernon, 1993; Lenharo, 1994; Lenharo & Born, 1994; Almeida *et al.*, 1994; Alcover Neto *et al.*, 1995a, 1995b; Pereira, 1995; Born *et al.*, 1996).

Esta pesquisa visou à investigação dos mecanismos de evolução intempérica pelos quais passaram as rochas na área da frente de lavra experimental denominada "Gonzaga

de Campos", associadas ao Maciço Alcalino Carbonatítico de Ipanema, procurando explicar as suas modificações morfológicas, texturais, mineralógicas e geoquímicas, em particular a dinâmica do fósforo e seus produtos minerais neste setor do manto de alteração sobre o maciço de Ipanema.

O trabalho foi realizado a partir da caracterização dos materiais expostos, em suas diferentes fases evolutivas, em campo e em laboratório, com análises morfológicas, mineralógicas, petrográficas e geoquímicas, privilegiando as análises sobre amostras indeformadas, visando a uma compreensão das relações espaciais entre as diversas fases primárias e secundárias que constituem cada fácies e que informam sobre a cronologia relativa dos eventos que as originaram.

A área escolhida constitui uma das diversas frentes experimentais de lavra abertas pela Serrana S. A., estando fora dos limites da intrusão principal, segundo o mapa geológico daquela companhia. Algumas razões apresentaram-se para esta escolha: o corte Gonzaga de Campos é constituído pelo material de interesse para este trabalho, ou seja, material que permitia o estudo da evolução dos fosfatos apatíticos primários em meio a minerais filossilicáticos (glimerito), o que possibilitaria uma comparação com outros locais; além disto, a heterogeneidade das rochas (glimerítica e bandada), as dimensões da exposição, a possibilidade de acesso seguro, a presença de fosfatos primários (apatitas) e fosfatos secundários (aluminosos), bem como de argilominerais, caracterizando um bom exemplo de materiais bem evoluídos do ponto de vista do intemperismo químico, tam-

bém contribuíram para esta escolha. Outros setores do manto de alteração sobre o maciço serão estudados oportunamente.

Além dos trabalhos de observação e amostragem no campo, foram utilizadas as seguintes técnicas analíticas, após as preparações e separações necessárias, de modo a compor um conjunto de informações que permitissem atingir os objetivos da pesquisa:

- DRX (Difração de raios X - NUPEGEL e IG - USP) - identificação mineralógica;
- M.O. (Microscopia Óptica - NUPEGEL e IG - USP) - petrografia, micromorfologia e identificação de fases;
- M.E.V. com EDS (Microscopia Eletrônica de Varredura - NUPEGEL - USP e ORSTOM - França) - micromorfologia e caracterização química relativa das fases.

Separções magnéticas, granulométricas e em meio denso foram feitas nos materiais friáveis, com o objetivo de encontrar possíveis minerais acessórios. No entanto, apenas zircão foi encontrado, numa única amostra, durante observação ao M.E.V. com EDS.

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DO PERFIL GONZAGA DE CAMPOS

O perfil Gonzaga de Campos corresponde a um corte vertical feito pela companhia de mineração Serrana S.A., que fez estudos para testes de beneficiamento de minério fosfático.

Sua localização pode ser vista no mapa geológico da Figura 1. Neste corte, de expressão circular em planta, com aproximadamente 5 m de altura e 10 m de largura, foram reconhecidos macroscopicamente e amostrados materiais

diferenciáveis entre si por seu caráter predominantemente micáceo, apatítico, ferruginoso ou argiloso, com aspecto bandado ou não, e, ainda, por seu grau de intemperismo (Fig. 2).

Estes materiais representam dois tipos litológicos básicos e são encontrados já em início de alteração: a rocha glimerítica e a rocha apatítica bandada. Esta última tem as características petrográficas de uma rocha de dique, alternando-se de modo irregular com a rocha glimerítica no afloramento, com limites mais ou menos nítidos preservados na alterita. Foram coletadas cerca de sessenta amostras no total.

As rochas originais e os minerais primários

A rocha apatítica bandada

A rocha apatítica bandada é formada pela alternância de bandas de espessura milimétrica a submilimétrica, lenticulares, descontínuas, podendo haver passagem gradual de uma banda para outra. As bandas possuem a seguinte composição mineralógica:

- a. essencialmente apatítica, com pouca biotita e/ou anfibólio, em cristais orientados, formando camadas brancas,
- b. bandas com mistura de anfibólios e biotitas orientados, mais ou menos ricas em apatita e com raros feldspatos potássicos, formando camadas cinza-esverdeadas,
- c. bandas muito ricas em biotitas orientadas, com anfibólios, apatita e raros feldspatos, formando camadas castanhas, cinzas ou pretas.

A rocha glimerítica

O afloramento é composto, em grande parte, pela rocha

glimerítica e seus produtos de alteração, sendo apenas uma pequena parcela representada pela rocha apatítica bandada. A rocha são é constituída por biotita, anfibólio (hastingsita), opacos (magnetita) e pouca apatita. Apresenta textura fanerítica fina a grossa. Em alguns locais, a rocha exibe uma certa orientação dos cristais de anfibólios e/ou micas, concentrados em pequenas lentes ou venulações.

Caracterização dos minerais primários presentes nas rochas

A composição mineral dos dois tipos litológicos é qualitativamente a mesma, e sua composição química geral, determinada semiquantitativamente, independe da rocha portadora, no nível de precisão atingido. Os minerais serão tratados, a seguir, com a descrição de suas características mineralógicas (DRX e M.O.), morfológicas (M.O. e M.E.V. com EDS) e geoquímicas (M.E.V. com EDS).

Quanto às análises pontuais por EDS, é importante salientar que são de caráter semi-quantitativo e foram normalizadas a 100%, tendo sido denominadas de análises relativas, já que o objetivo em utilizá-las residia não numa caracterização precisa da química mineral das fases existentes, mas na identificação das disponibilidades geoquímicas potenciais para uso nas interpretações de tendências geoquímicas dos materiais em alteração. Estes dados foram, também, utilizados para caracterizar preliminarmente as espécies minerais e seu estado de alteração, com base nos teores dos elementos mais solúveis e suas correlações com os outros elementos maiores. Assim, os dados relativos só foram indicados por sua relevância para

a compreensão da evolução geoquímica das fases durante o intemperismo, tendo sido, ainda, utilizados para a construção de diagramas de tendência geral das fases geneticamente relacionadas.

Apatita - As apatitas ocorrem como grãos equigranulares, finos a médios, variando de 0,002 a 0,3 mm na sua maior dimensão. Existem grãos de formas variadas, desde hipidimórficos hexagonais a alotriomórficos, ocorrendo disseminados entre as biotitas. A composição química semiquantitativa obtida ao EDS para grãos de apatita são, normalizada a 100%, encontra-se na Tabela 1, referente à comparação com os materiais fosfáticos supérgenos. Nota-se, em alguns destes dados, a presença de baixos teores em ferro, que devem ser creditados à possível presença de finíssimas películas ferruginosas nas descontinuidades dos grãos apatíticos, já denotando a atuação do intemperismo.

Biotita - A mica (biotita) pode chegar a 90% da rocha glimerítica e é o mineral predominante em algumas faixas da rocha apatítica bandada. Os cristais tendem ao idiomorfismo e, à luz natural, têm coloração verde intensa, para os mais são, e/ou castanha, demonstrando já uma certa alteração. A granulometria varia de fina a grossa, sendo observados cristais cujas lamelas têm comprimento de 0,002 mm, nos glimeritos mais finos, a 0,4 mm, em glimeritos de textura média. As porções grosseiras contêm cristais com lamelas bem maiores, podendo excepcionalmente chegar a 2 cm. O empilhamento das lamelas chega, nestas zonas mais grosseiras, a quase 1 cm. As análises químicas pontuais sobre os cristais de biotita são mostradas na

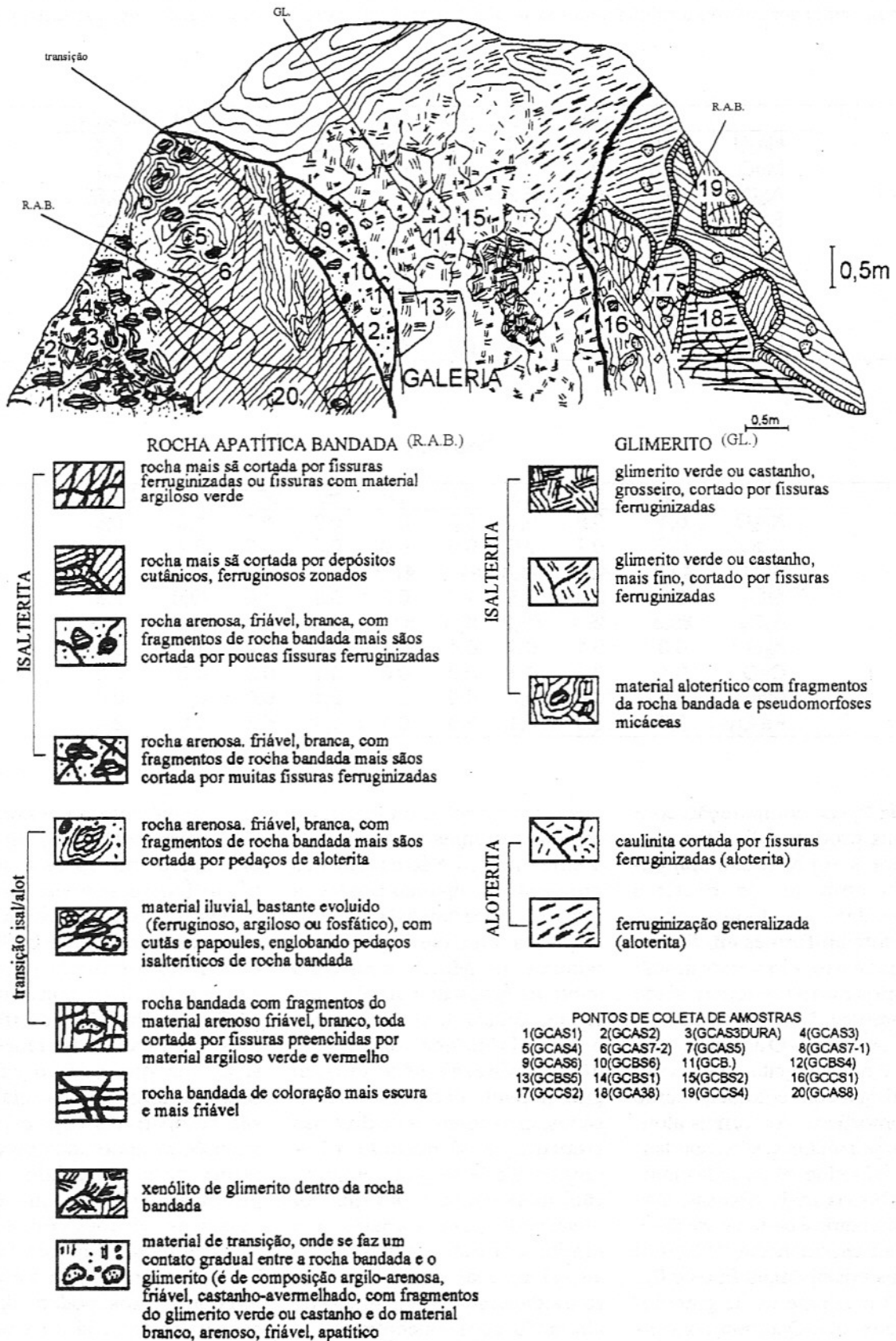


Figura 2 - Desenho esquemático do perfil de alteração exposto na área de estudo (perfil Gonzaga de Campos).

Tabela 1 - Composição química das apatitas e da wavelita supérgena associada nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

Apatita									
	16	54	73	161	164	179	181	183	Média
Na ₂ O	0,0	0,2	0,3	0,0	0,4	0,5	1,6	0,0	0,4
MgO	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1
Al ₂ O ₃	0,6	0,6	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3
SiO ₂	0,0	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2
P ₂ O ₅	44,7	43,9	43,1	43,3	43,0	42,0	41,5	41,9	42,9
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1
CaO	54,3	55,1	54,7	55,1	55,3	56,7	52,9	56,8	55,1
MnO	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,3	0,0	0,1
Fe ₂ O ₃	0,2	0,0	0,6	0,2	0,2	0,0	2,6	0,7	1,6

Wavelita									
	12	14	15	17	20	55	55.2	114	Média
Na ₂ O	0,1	0,6	0,1	0,8	0,1	0,0	0,8	1,3	0,5
MgO	0,2	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,9	0,4	0,3
Al ₂ O ₃	44,8	43,6	44,8	44,5	47,8	44,8	41,5	38,2	43,8
SiO ₂	0,0	3,0	0,8	1,4	0,0	0,3	7,0	10,0	8,8
P ₂ O ₅	50,8	48,1	49,2	49,1	51,9	53,2	42,0	40,3	48,1
K ₂ O	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	1,2	0,2
CaO	0,1	0,2	0,1	0,9	0,0	0,1	0,3	0,9	0,3
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Fe ₂ O ₃	3,8	3,8	4,1	3,0	0,1	1,4	5,8	5,5	3,4

Tabela 2, em comparação com os seus produtos de alteração. Os teores em K₂O são compatíveis com os de biotitas inalteradas, e os teores razoavelmente uniformes em ferro e em magnésio, em várias amostras, mostram a homogeneidade de composição deste mineral.

Anfibólio - O anfibólio presente é a hastingsita, que ocorre em cristais com coloração verde e idiomórficos. As formas alongadas, prismáticas, são abundantes, tendo sido observadas também formas mais fibrosas. Sua granulometria é bastante variável, podendo ter, em média, 0,002 mm para os cristais mais finos e 0,1 ou 0,2 mm para os de granulometria média. Ocorrem concentrados e orientados em alguns locais da rocha glimerítica em pe-

quenas venulações ou lentes, ou mesmo disseminados no meio da matriz micácea. São os minerais principais em algumas bandas da rocha apatítica bandada.

As análises químicas pontuais ao M.E.V. com EDS sobre os grãos de anfibólio estão na Tabela 3. Os teores nos principais óxidos formadores deste mineral não variam grandemente nos pontos analisados, provenientes de diversas amostras, evidenciando a homogeneidade de sua composição, analogamente ao que foi observado para a apatita e a biotita. Por outro lado, eventuais valores mais altos para o ferro evidenciam já um início de alteração, com concentração de produtos ferruginosos, nas descontinuidades dos cristais.

Feldspato potássico - Os feldspatos potássicos, do tipo ortoclásio, são raros e foram identificados somente ao microscópio óptico, numa única amostra de rocha bandada. Grãos deste mineral puderam ser analisados também ao M.E.V. com EDS, conforme mostra a Tabela 4. Os teores em K₂O, em que pese o caráter semiquantitativo das análises, são compatíveis com os valores médios apontados pela literatura para ortoclásios, principalmente se considerarmos suas relações com os outros elementos maiores. Os valores encontrados para o ferro, um pouco altos, podem significar, no entanto, já uma percolação de soluções meteóricas que teriam precipitado, ainda de

Tabela 2 - Composição química das biotitas e de seus produtos de alteração supérgena, nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

Biotita sã

	154	155	156	147	148	151	153	Média
Na ₂ O	0,3	0,0	0,6	0,6	0,0	0,1	0,6	0,3
MgO	11,5	12,3	11,7	10,6	9,8	10,2	9,0	10,7
Al ₂ O ₃	13,2	12,4	12,9	12,6	12,7	12,3	11,6	12,5
SiO ₂	40,9	42,8	41,1	38,4	39,8	41,6	41,4	40,9
P ₂ O ₅	0,0	0,3	0,3	0,6	0,2	0,0	0,3	0,2
K ₂ O	7,6	7,6	8,0	8,3	8,8	7,8	8,1	8,0
CaO	0,3	0,7	0,2	0,2	0,1	0,4	0,9	0,3
TiO ₂	3,9	3,6	3,7	4,2	4,3	4,0	3,9	3,9
MnO	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2
Fe ₂ O ₃	21,8	19,7	20,8	23,8	23,5	22,8	22,6	22,1

Biotita alterada

	19	82	78	75	76	140	142	143	21	22	23	24	25	26
Na ₂ O	0,5	1,5	0,1	0,4	0,2	1,0	1,5	1,0	2,4	0,9	0,7	3,3	0,7	1,0
MgO	1,1	1,4	3,6	3,6	2,0	1,3	2,3	1,0	10,3	18,2	14,4	10,5	17,6	2,3
Al ₂ O ₃	14,5	6,9	9,1	8,7	6,8	7,5	10,6	7,0	13,8	15,3	19,7	14,0	16,5	18,0
SiO ₂	48,7	43,9	43,5	41,9	57,6	55,3	59,8	57,0	55,4	52,4	50,5	52,5	50,1	57,5
P ₂ O ₅	7,2	3,5	3,0	2,8	2,7	0,7	2,5	0,8	3,0	1,2	1,3	3,0	0,7	2,8
K ₂ O	0,1	0,3	0,8	0,6	0,5	0,2	2,8	0,3	0,5	0,2	0,1	0,3	0,3	0,78
CaO	0,5	2,4	2,3	2,3	3,2	1,6	1,8	1,1	4,0	1,4	0,8	2,1	0,9	1,4
TiO ₂	0,4	0,9	0,9	1,0	0,6	0,3	0,2	0,1	1,4	0,9	0,9	0,7	1,2	0,5
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0
Fe ₂ O ₃	26,8	38,2	35,2	37,3	25,1	30,7	17,7	31,4	9,3	9,4	11,5	13,3	12,0	15,8

	27	30	56	57	58	59	60	61	62	67	69	70	71	71a
Na ₂ O	0,0	0,9	0,7	0,0	0,0	0,8	0,6	0,3	0,0	2,2	0,3	0,2	0,4	0,0
MgO	2,1	7,9	3,3	2,5	11,8	15,4	16,0	16,0	12,6	8,8	13,6	13,2	11,5	9,9
Al ₂ O ₃	21,3	17,9	28,0	30,2	20,9	15,4	18,8	17,0	16,4	20,1	22,2	25,3	25,0	28,8
SiO ₂	50,0	56,8	50,9	51,1	49,6	49,6	47,9	47,8	48,7	53,5	47,4	47,7	48,7	48,8
P ₂ O ₅	4,4	1,6	3,3	3,2	3,0	2,4	1,9	4,0	3,2	3,9	4,9	5,3	3,0	4,3
K ₂ O	0,4	0,5	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
CaO	1,1	2,5	0,9	0,5	0,5	1,3	1,1	2,4	0,9	1,7	0,6	0,6	0,7	0,4
TiO ₂	0,7	0,6	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	1,7	1,5	0,9	0,5	0,4	0,9	0,6
MnO	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1
Fe ₂ O ₃	20,0	11,2	10,5	10,9	11,1	12,4	11,3	10,9	15,1	7,8	9,4	6,2	9,2	6,0

forma incipiente, películas muito finas de produtos ferruginosos secundários, a exemplo do que ocorre para os outros minerais.

Magnetita - É o único mineral opaco identificado na rocha glimerítica deste perfil. Os

cristais apresentam-se em grãos irregulares, disseminados, raramente apresentando formas octaédricas. Foram também analisados ao M.E.V. com EDS, conforme mostra a Tabela 5. Estes dados mostram uma certa heterogeneidade nos valo-

res de TiO₂, chegando até mais de 8%.

Outros minerais primários - Calcita e zircão foram observados raramente nos materiais deste corte. A calcita é o mineral dos veios carbonatíticos do maciço de Ipanema e zircão é

Tabela 3 - Composição química dos anfibólios e de seus produtos de alteração supérgena nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

	Anfibólio															Produtos de alteração									
	40	41	42	43	53	84	85	86	89	162	167	168	169	174	175	176	177	178	178	108	109	110	112	165	166
Na ₂ O	6,1	5,6	6,1	6,2	5,4	6,9	6,2	9	5,8	4,7	6,9	5,6	5,6	5,3	6,1	5,7	7,4	6	5,9	0	1,1	0,9	2,5	0,8	0,3
MgO	20,4	20,6	20,4	20,8	20,4	19	18,1	18,1	18,1	19,4	17,9	17,8	17,8	18,2	17,7	18,1	18,2	18	18,6	0,7	0,1	0	0,2	3,7	0,9
Al ₂ O ₃	1,1	0,8	0,7	1,1	0,8	0,3	0,8	1,2	1,1	1	0,6	0,3	0,2	0	0,1	0,6	0,3	0,3	0,7	6,7	15,6	6,2	5,1	7,3	7,6
SiO ₂	56	56,8	56,3	56,3	56,4	55,8	55,5	55,4	55,3	56,5	55,8	56,2	55,4	56,4	55,7	56,1	55,7	56,1	56,1	17,1	15,1	3,9	9,4	57,5	55,2
P ₂ O ₅	0	0,2	0,3	0,4	0,2	0	0	0,1	0,8	0,2	0,4	0,5	0,9	0,3	0,2	0	0,3	0,3	0,4	9,1	22,1	16,7	8,4	2	2,1
K ₂ O	3,2	3,2	3,1	2,9	3,2	2,9	3	3,1	3,1	3,2	2,8	3,2	3,2	3,7	3,7	3,4	2,9	3,4	3,1	0,5	0,9	0,1	0,1	1	0,4
CaO	6,5	6,5	6,4	6,1	6,6	5	5,8	5,8	6,3	6,2	5,2	5,7	6,1	5,8	4,5	5,8	4,5	5,3	5,8	0,9	1,5	0,7	0,8	2,5	2,9
TiO ₂	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	4,1	2,4	4,4	4,5	0,6	0,4
MnO	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0	0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0	0,1	0	0,2	0,7	0,2	0	0,1
Fe ₂ O ₃	6,3	5,8	6,3	5,5	6,4	9,4	9,6	9,9	9,6	8,7	7,8	8,6	8,9	9,6	11,2	9,2	9,6	9,6	8,3	57,9	28,7	60,1	66,3	22,9	27,3

acessório freqüente nos maciços similares. Estes grãos não puderam ser analisados quimicamente, devido à sua escassez.

Alteração dos tipos litológicos no perfil Gonzaga de Campos

A descrição da alteração dos tipos litológicos identificados (Fig. 2) foi feita com base na integração de todos os dados disponíveis, desde a escala de campo até os resultados de laboratório.

A rocha apatítica bandada alterada - aspectos morfológicos

A partir da base do perfil em direção ao topo, a friabilidade da rocha apatítica bandada aumenta, ao mesmo tempo em que as cores vão se tornando avermelhadas. Assim, passa-se a uma rocha friável ainda bandada (isalterítica), onde alternam-se bandas brancas, com maior ou menor grau de ferruginização, e bandas avermelhadas (alteração das partes ricas em anfibólios e/ou micas). O aumento de friabilidade é acompanhado por um aumento na quantidade de fraturas cruzando a rocha em todas as direções, preenchidas por finas películas de material vermelho, argiloferruginoso.

Tabela 4 - Composição química do feldspato potássico nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

	1	4	5	111	120	Média
Na ₂ O	0,9	0,2	0,3	0,0	1,6	0,6
MgO	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Al ₂ O ₃	18,1	17,5	17,4	18,6	17,1	17,7
SiO ₂	64,4	64,1	64,0	67,1	64,4	64,8
P ₂ O ₅	0,5	0,5	0,0	0,3	0,4	0,4
K ₂ O	14,6	16,1	17,2	12,7	14,8	15,1
CaO	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
TiO ₂	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
MnO	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Fe ₂ O ₃	0,8	0,4	1,0	0,3	0,9	0,7

Tabela 5 - Composição química da magnetita nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

	121	122	123	124	125	126	127	128	134	137	Média
Na ₂ O	0,6	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,8	0,0	0,6	1,1	0,4
MgO	0,4	0,3	0,1	0,0	0,6	0,2	0,2	0,3	0,9	0,5	0,4
Al ₂ O ₃	0,5	0,6	0,5	0,2	0,5	0,4	1,1	0,7	1,2	0,7	0,6
SiO ₂	0,8	1,1	0,8	11,7	1,0	13,7	2,2	3,3	1,7	1,5	3,8
P ₂ O ₅	0,1	0,2	0,3	0,0	0,2	0,0	0,6	0,5	0,7	0,7	0,3
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
CaO	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2
TiO	1,5	1,4	1,6	1,1	8,8	0,8	1,4	1,5	1,5	1,1	2,1
MnO	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Fe ₂ O ₃	95,2	95,3	95,5	85,8	87,8	84,0	92,8	92,5	91,6	92,7	91,3

O material argiloferruginoso, constituído por caulinita, goethita, wavelita e, eventualmente, vermiculita, instala-se nas fissuras entre os fragmentos de rocha bandada, e, aumentando de espessura pelo contínuo aporte, desloca mecanicamente estes fragmentos, tirando-os de sua posição original. Os fragmentos passam a

apresentar bandamento em direções variadas entre si, demonstrando este deslocamento relativo e caracterizando formas "brechadas" (Fig. 3). Existem, ainda, manchas pretas disseminadas por toda a rocha, constituídas por impregnações de produtos manganésiferos secundários. Os fragmentos bandados tornam-se menores e a parte

superior da isalterita grada para um material aloterítico predominantemente vermelho, constituído essencialmente por caulinita e goethita, contendo, eventualmente, wavelita e vermiculita, bem como nódulos ferruginosos milimétricos duros em pequena quantidade.

Assim, considerando-se as principais modificações morfológicas e mineralógicas, pode-se dividir o material proveniente da alteração da rocha apatítica bandada nas seguintes fácies, da base para o topo:

- Isalterita
fácies bandada pouco alterada com apatita, anfibólio e mica (branco/cinza-esverdeado/preto-cinza)
- fácies brechadas (fragmentos isalteríticos)
- Aloterita
fácies vermelha iluvial do ma-

terial brechado
fácies vermelha friável (parte superior do perfil)

A rocha glimerítica alterada - aspectos morfológicos

A evolução do processo de alteração evidenciada no perfil, tanto vertical como horizontalmente, demonstra uma grande variação nas cores, granulometria, estruturas e friabilidade dos materiais provenientes da evolução intempérica da rocha glimerítica.

A parte basal, apesar de friável, conserva as texturas petrográficas, caracterizando um volume isalterítico. Materiais mais evoluídos, já sem preservação de estruturas primárias, tornam-se quantitativamente mais importantes em direção ao topo, caracterizando porções

aloteríticas diferenciadas com relação às isalteritas das partes basais e medianas do perfil, pela crescente presença de material argiloso muito fino e vermelho. Dessa forma, as biotitas, já totalmente alteradas, constituem os materiais avermelhados e esverdeados, argilosos e plásticos das porções superiores do perfil. Ocorrem magnetitas de cor cinza a preta, formando manchas disseminadas por todo o perfil. A Figura 4 esquematiza a evolução morfológica deste tipo litológico.

Apatita secundária é raramente observada nas partes intermediárias, na forma de grãos brancos, arenosos, de hábito sacaróide, formando pequenos geodos dentro da massa aloterítica.

As seguintes fácies podem ser reconhecidas na evo-

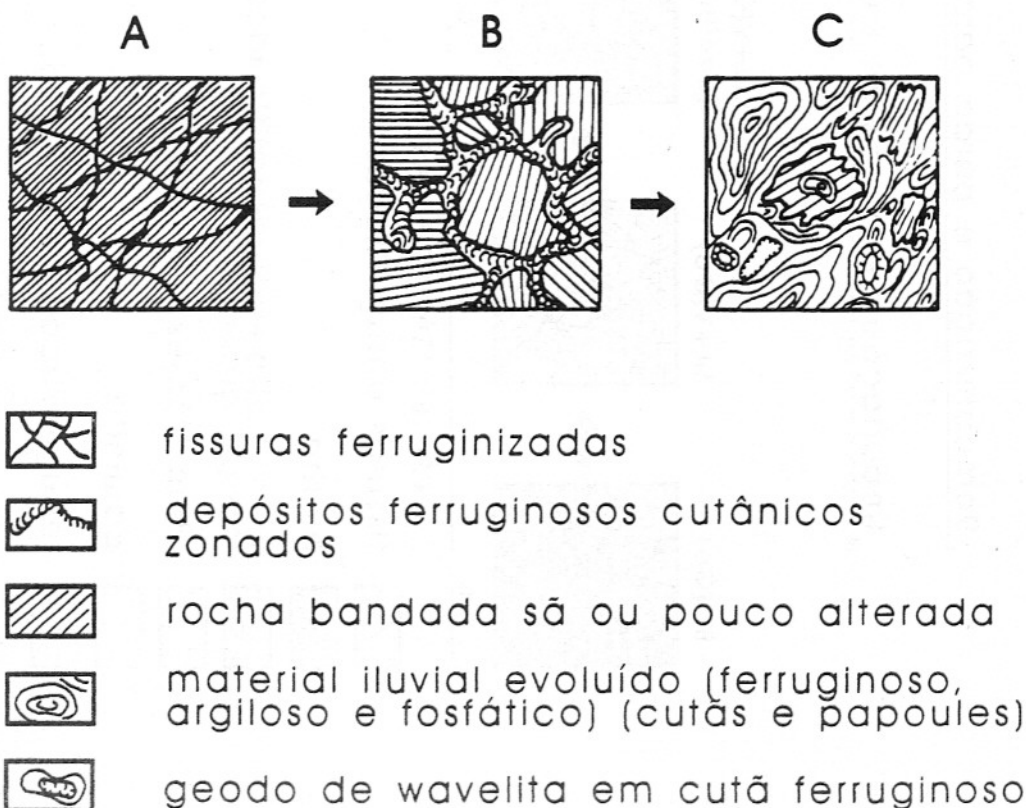


Figura 3 - Esquema morfológico e mineralógico da evolução da rocha apatítica bandada, tal como verificado nos materiais do perfil Gonzaga de Campos.

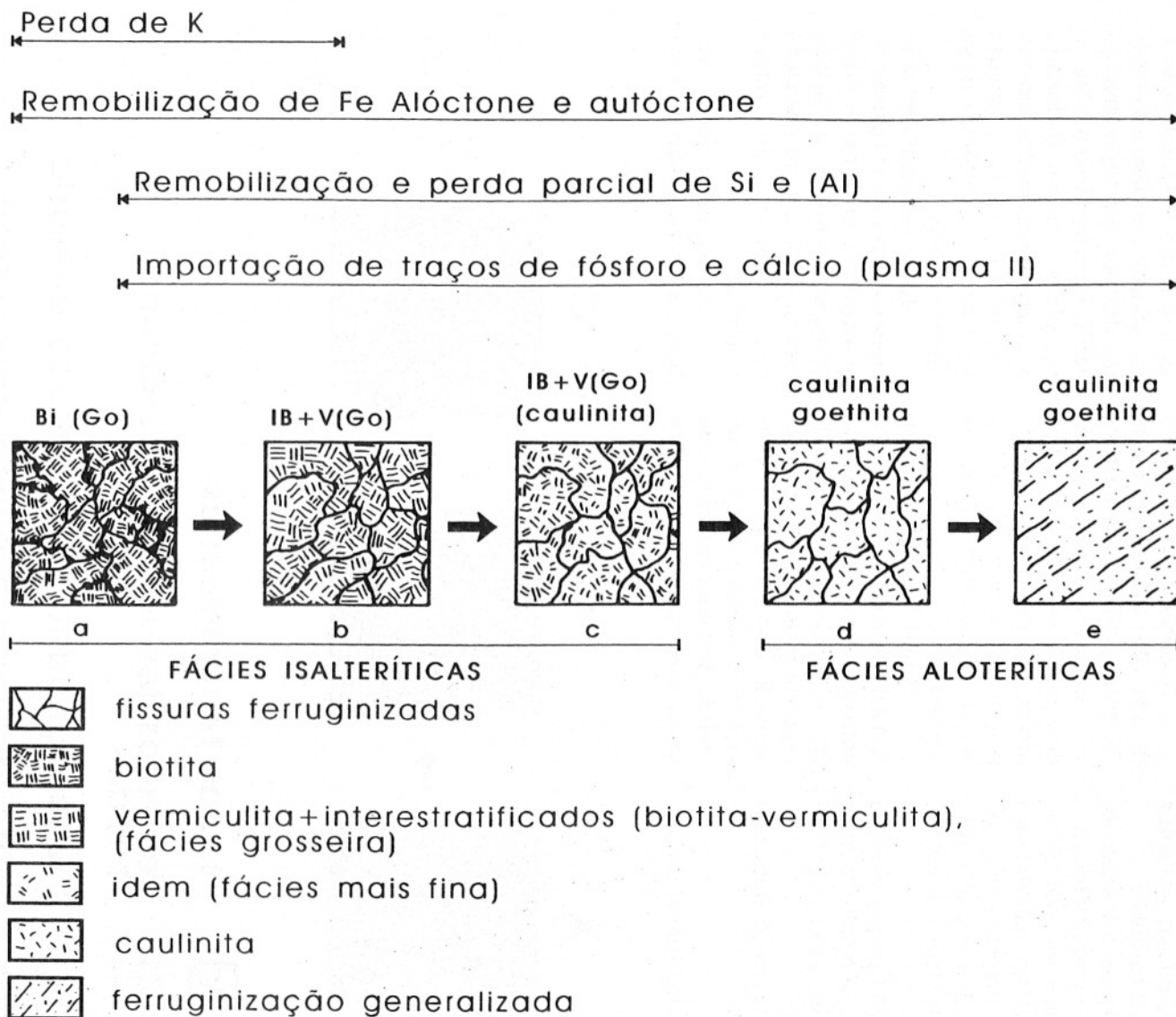


Figura 4 - Esquema morfológico e mineralógico da evolução da rocha glimerítica, tal como verificado nos materiais do perfil Gonzaga de Campos.

lução desta rocha, da base para o topo:

- Isalterita

fácies micácea, isalterítica, com granulometria variando de fina a grosseira

fácies micácea de cor castanha

- Aloterita

fácies verde argilosa

fácies vermelha argilosa

Nesta seqüência de fácies, a mineralogia evolui e a presença de argilominerais 2:1 (interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita) e 1:1 (caulinita) e oxihidróxidos de ferro é crescente em direção ao topo.

Alteração dos minerais primários: morfologia, mineralogia e geoquímica

O estudo dos produtos de alteração presentes no perfil Gonzaga de Campos permitiu reconhecer as filiações minerais que ocorrem para ambos os tipos litológicos (Quadro 1).

A seguir, os minerais primários serão tratados um a um, em termos de morfologia, mineralogia e evolução geoquímica no intemperismo tal como registrado pelos materiais do perfil Gonzaga de Campos.

Apatita

Ao M.O., as apatitas apresentam padrão de alteração predominantemente linear irregular, a partir dos contatos intercrystalinos e das fissuras

intracrystalinas. É comum a presença de uma película ferruginosa sublinhando os contatos entre os grãos de apatita. Após, ou simultaneamente à formação desta película, a apatita começa a se alterar, dissolvendo-se. Logo no início, com a liberação de íons e formação de espaços, já pode ser observada wavelita, nestes locais, que, aparentemente, não têm porosidade, ou seja, são descontinuidades muito fechadas, dando a impressão de que a passagem da fase primária para a fase secundária é mais ou menos abrupta (Foto 1).

Ao M.E.V., observa-se que, em seus estágios iniciais de alteração, há um desenvolvimento de porosidades, com localização aparentemente aleatória (padrão geométrico pontuado) (Foto 2) e/ou dissoluções a partir das bordas (padrão linear irregular ou pelicular). Outras feições de alteração, bastante evidentes e encontradas generalizadamente, são fissuras e fraturas com ou sem ferruginizações, denotadas pela coloração amarelada na superfície de alguns cristais e detectadas nas análises ao M.E.V. com EDS.

Com a total dissolução dos grãos, resta a rede ferruginosa (que sublinha as antigas descontinuidades intercrystalinas), cujas células são revestidas internamente por wavelita, de modo a preencher total ou apenas parcialmente os espaços original-

mente ocupados pela apatita (Foto 3).

A wavelita constitui o único produto residual de alteração da apatita. Apresenta-se em cristais finos a aciculares (Foto 4), incolores e com birrefringência média a alta. Pode ainda ocorrer preenchendo feições de descontinuidades e/ou porosidades do material ferruginoso, também formando cutãs, ou ainda disseminada no plasma secundário fosfático ou argiloso. Análises pontuais sobre estes materiais, em fragmentos naturais, indeformados, ao M.E.V com EDS, mostram a evolução da sua composição, com o aparecimento de Al em pontos da apatita I parcialmente dissolvida (cavidades observadas na Foto 2) e a composição típica da wavelita, P e Al, correspondente aos cristais da Foto 4.

A Tabela 1 mostra, além das análises químicas pontuais realizadas em lâminas delgadas sobre os grãos de apatita sã, as análises sobre seus produtos de alteração (wavelita, eventualmente impregnada por produtos ferruginosos). A dissolução da apatita libera cálcio e fósforo; no caso aqui observado, o cálcio parece ter sido prontamente lixiviado e o fósforo foi retido na neoformação *in situ* de fosfato secundário (wavelita), que usou, certamente, o alumínio das soluções, liberado na alteração de outros minerais primários.

Quadro 1 - Filiações minerais identificadas no perfil Gonzaga de Campos.

Biotita	→	Interestratificado B-V + Caulinita + Goethita	→	Vermiculita + Goethita
Anfibiólio	→	Goethita (eventualmente apatita secundária a partir de P ⁴⁺ e Ca ²⁺ em solução)		
Apatita	→	Wavelita (com goethita a partir de Fe em solução)		

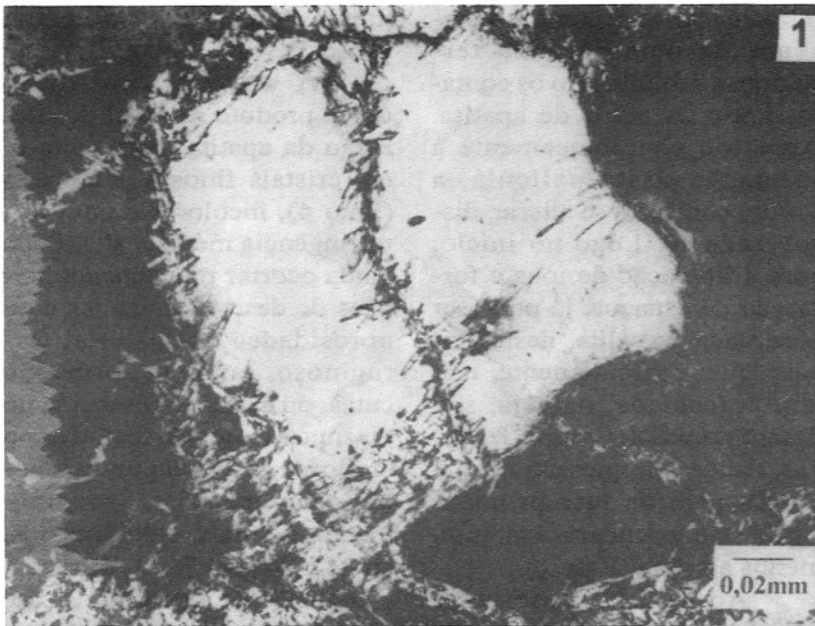


Foto 1- Apatita primária em alteração, com formação de wavelita (M.O.)

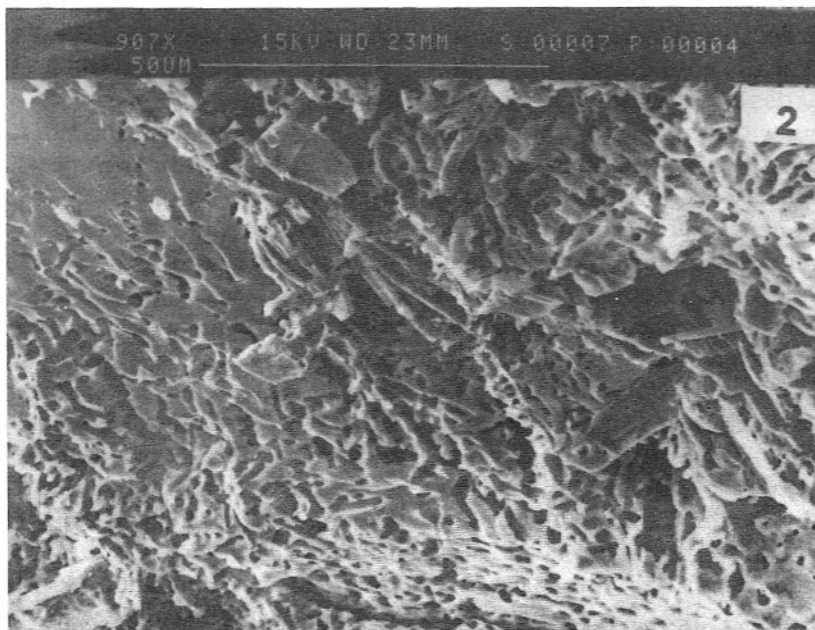


Foto 2 - Apatita primária em alteração, com desenvolvimento de poros de dissolução (M.E.V.). Os espectros EDS dos locais mais atingidos pela dissolução já apresentam algum Al, além de P e Ca, mostrando o aporte necessário à neoformação de wavelita, produto da alteração da apatita no perfil Gonzaga de Campos.

Apatita secundária foi observada excepcionalmente, num único ponto do perfil, onde, provavelmente, não houve aporte de alumínio, tendo sido o cálcio, então, retido,

possibilitando esta neoformação, aqui incomum. Este caso refere-se à parte interna de uma pseudomorfose de anfibólio, descrita mais adiante.

Biotita

As feições de alteração presentes nas biotitas são as comumente descritas na literatura: padrão de alteração linear paralelo com aumento de volume e expansão lateral na direção do eixo c, perda da coloração inicial (os cristais passam de verde oliva para amarelo pálido), diminuição da birrefringência, deformação das lamelas (com encurvamento e eventual ruptura), fragmentação e ferruginização, com entrada de oxihidróxidos de ferro nos espaços interlamelares e nas descontinuidades dos cristais representadas pelas fissuras, clivagens ou contornos. Estas observações estão de acordo com o estudo micromorfológico da alteração de biotitas e seus produtos secundários feito por Bisdom *et al.* (1982), bem como por inúmeros outros autores.

Os produtos secundários relacionados à alteração das biotitas são, em suas fases intermediárias, os interestratificados biotita-vermiculita e, nas fases mais evoluídas, vermiculita; estas duas fases podem coexistir, pois como a transformação da biotita em vermiculita é um processo lento, há locais em que se encontram espaços interfoliares abertos (o potássio já teria sido lixiviado ou substituído) e espaços interfoliares ainda fechados, mantendo-se ainda alguma estrutura original dos cristais. Em alguns espaços interlamelares destas pseudomorfofos foi, também, observada a presença de fosfatos secundários alóctones incolores. Estas pseudomorfofos evoluem para material de composição caulinitica, geralmente com destruição total da pseudomorfose anterior (Foto 5).

A goethita, outro produto de alteração das biotitas, concentra-se primariamente nas descontinuidades e/ou nas bordas daqueles minerais. Em estágios mais avançados, também, formam pseudomorfoses por emparedamento.

Nos espaços interlamelares das micas, bem como nas porosidades da goethita, pode haver preenchimento por fosfatos secundários neoformados.

A evolução mineralógica da biotita é mostrada no Quadro 2.

Análises geoquímicas pontuais qualitativas ao M.E.V. com EDS sobre fragmentos indeformados mostram a evolução geral da composição química da biotita em direção à biotita alterada e, finalmente, ao plasma ferruginoso caulinitico, com perda inicial de K e aumento relativo da proporção em Fe, além de modificações na razão Si/Al, menor nos produtos finais (cauliniticos).

As análises semiquantitativas sobre as lâminas delgadas mostram as mesmas tendências sobre estes materiais (biotitas e suas pseudomorfoses em vários estágios de desenvolvimento) e são mostradas na Tabela 2.

Estes resultados foram utilizados para a confecção dos gráficos da Figura 5, onde podem ser observados os caminhos geoquímicos de evolução dos filossilicatos. Nas fases iniciais, isalteríticas, o potássio é lixiviado. Na seqüência do processo de alteração, há remobilização e individualização do ferro (autóctone e talvez também alóctone), que se coloca nas descontinuidades dos cristais. Concomitantemente a esta deferruginização, há alguma modificação nos teores em Si e Al, correspondendo ao estágio de vermiculita e

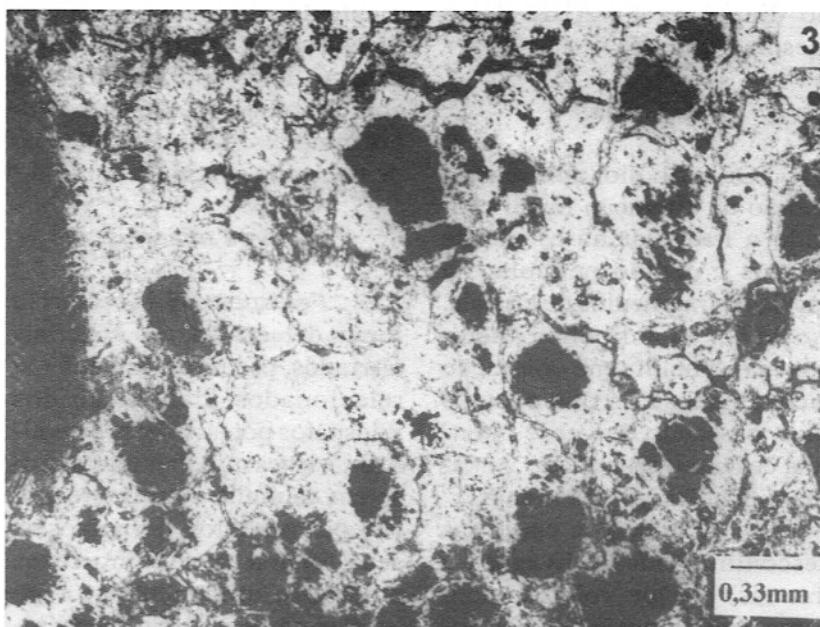


Foto 3 - Wavelita, produto da alteração da apatita. Nota-se a pellicula ferruginosa em rede, sublinhando os contatos originais entre os grãos apatíticos (M.O.).

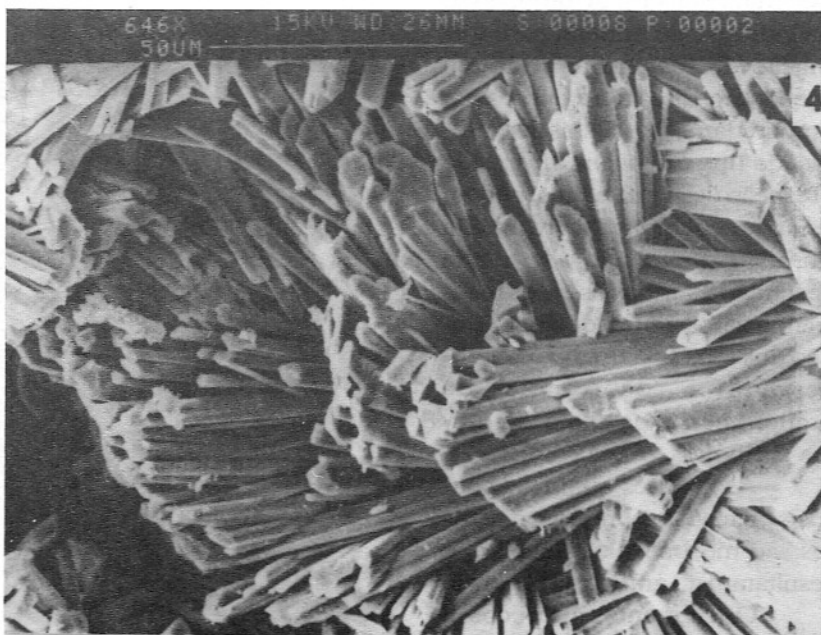


Foto 4 - Wavelita neoformada, em contato com apatita em alteração (M.E.V.).

de interstratificado biotita-vermiculita.

Posteriormente, há remobilização e perdas parciais em Si e Al, correspondendo ao estágio de caulinitização. Estas modificações, quando não há

preservação das pseudomorfoses, dão origem a um plasma secundário argiloferruginoso. O estágio final demonstra a dissociação dos produtos numa fase ferruginosa e numa fase argilosa (caulinita), observada

no diagrama Fe/Al/K desta mesma Figura 5.

Anfibólios

Os anfibólios apresentam padrão de alteração linear cruzado a irregular na escala de cristais e padrão pelicular na escala de fragmentos de cristais. Ao M.O., os anfibólios alterados apresentam uma coloração menos intensa do que os mais sãos, passando de verde intenso a castanho amarelado e possuem birrefringência menor.

A dissolução a partir das descontinuidades (clivagens e fraturas) produz volumes com superfície finamente denticulada, refletindo o seu padrão de clivagens; entre estes volumes, forma-se um resíduo ferruginoso, constituído, basicamente, por goethita (Foto 6). A progressão da hidrólise do mineral com formação do resíduo termina em pseudomorfoses ferruginosas por emparedamento. Estas estruturas, do tipo *box-work*, típicas da alteração destes minerais, podem estar preenchidas por wavelita ou, mais raramente, por apatita secundária, ambos os casos mostrando a possibilidade de migração dos íons fosfato. Não foi observada a ocorrência de argilominerais na alteração destes anfibólios.

As análises químicas pontuais efetuadas sobre estes materiais são mostradas na Tabela 3 e resultaram no gráfico da Figura 6.

Os elementos químicos aí presentes têm um comportamento semelhante ao das micas, com perda, inicialmente, das bases (Ca^{2+} e Mg^{2+}), e posterior-

mente do silício que, no entanto, não chega a formar fase argilosa. O ferro individualiza-se como produto de alteração destes minerais, com permanência de traços de silício e alumínio.

Outros minerais

Feldspato potássico - Não foram detectados, nos materiais alterados, produtos diretamente relacionados à alteração dos feldspatos potássicos; provavelmente, estes minerais alteraram-se em caulinita com impregnação por produtos ferruginosos, sem formar pseudomorfoses evidentes, misturando-se logo ao plasma secundário, constituindo, assim, porções aloteríticas das amostras estudadas. Contudo, análises pontuais qualitativas ao M.E.V. com EDS sobre

lâminas delgadas mostraram alguma modificação na sua composição química devida à alteração, indicando lixiviação parcial do potássio.

Magnetita - A magnetita apresenta pequena reação ao intemperismo nos níveis isalteríticos, fraturando-se e dissolvendo-se parcialmente ao longo das descontinuidades, causando ferruginização ao seu redor (oxidação). Podem receber nestas fraturas materiais alóctones e fosfáticos.

Plasmas secundários (materiais reorganizados - formação da aloterita) - Os materiais constituintes do plasma secundário (sem preservação das estruturas e texturas primárias) ocorrem em toda a alterita,

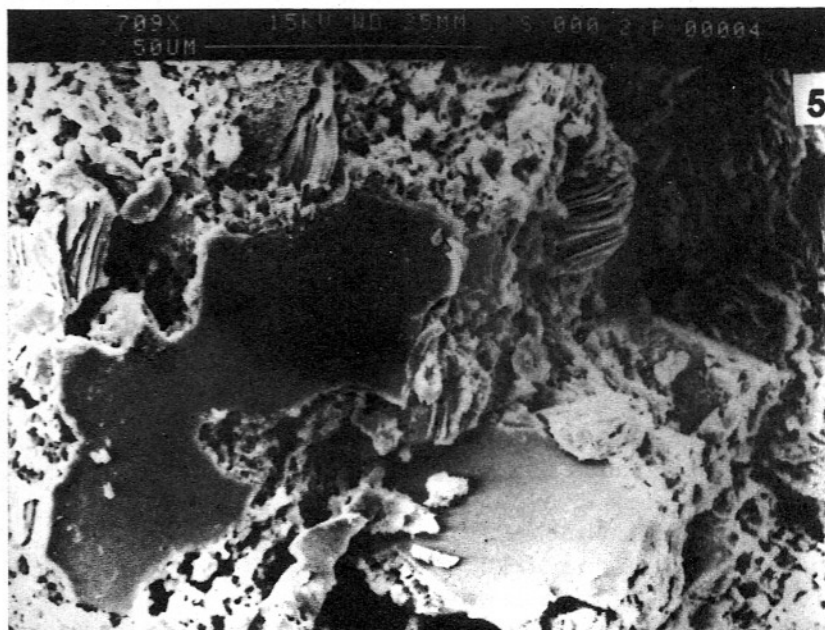


Foto 5 - Biotita alterada em interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita (M.E.V.).

Quadro 2 - Evolução mineralógica da biotita.

BIOTITA	→ INTERSTRATIFICADO BV + CAULINITA + GOETHITA	→ CAULINITA + GOETHITA
---------	---	------------------------

naturalmente de forma incipiente na base do perfil, como porções aloteríticas dentro da isalterita, aumentando gradativamente, ocorrendo de forma generalizada nas partes superiores, onde acentua-se a sua natureza aloterítica. Estes materiais testemunham as transferências e reorganizações e foram analisados para complementar a caracterização dos materiais do perfil Gonzaga de Campos. Embora a parte aloterítica do perfil não tenha sido detalhada neste trabalho da mesma forma que a parte isalterítica, sua formação pode ser acompanhada pela evolução do plasma secundário na isalterita.

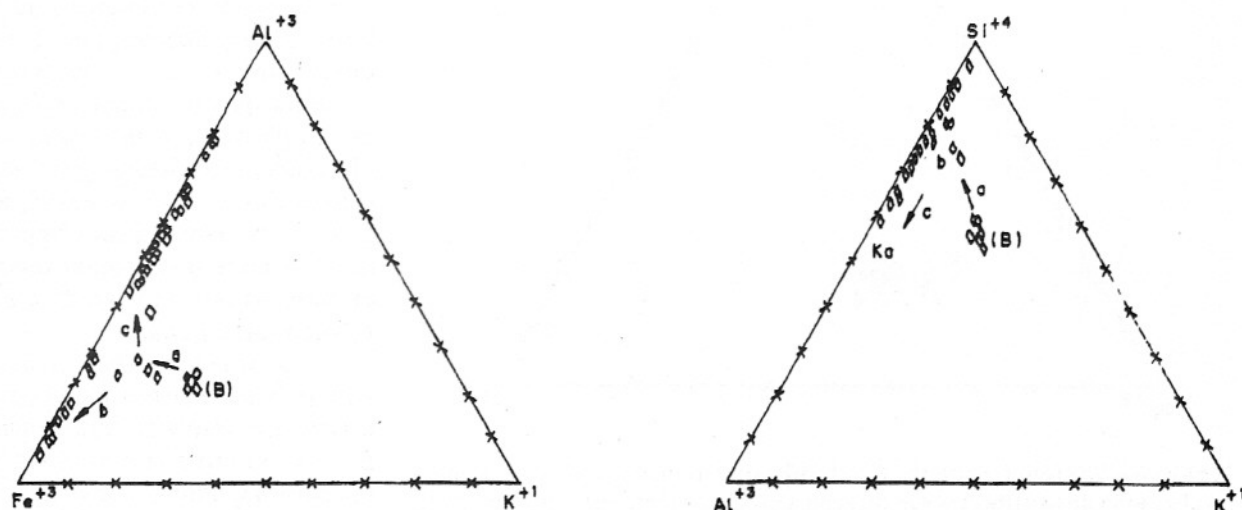
Sobre a rocha apatítica bandada, estes materiais do plasma secundário ocorrem como preenchimentos das fissuras que cortam a rocha, desde a base do perfil de alteração (preenchi-

mentos cutânicos observados também macroscopicamente), e também sob a forma de reorganizações nos vários tipos de descontinuidades.

No primeiro caso (feições iluviais), os depósitos desenvolvem feições cutânicas típicas (Foto 7), com zoneamento regular ou irregular e formação de *papoules* (cutãs complexos). Sua composição química é muito variável (Tabela 6), refletindo na variedade morfológica, quando observados ao M.O., sendo constituídos pelos elementos retidos no perfil (Si, Al, P e Fe), formando misturas de fases argilosas (caulinita), ferruginosas (goethita) e fosfáticas (wavelita) em diversas proporções. Os cristais são muito finos e a mistura é, em geral, suficientemente íntima para a não diferenciação óptica das fases; contudo, há locais em

que houve uma nítida precipitação de wavelita pura posterior (Foto 7). Não é descartada a possibilidade de que parte destes materiais apresentem baixo grau de cristalinidade, embora não tenha havido um estudo cristalográfico neste sentido; esta hipótese é principalmente levantada pela heterogeneidade química e pode explicar parcialmente a não diferenciação óptica das fases minerais identificadas à DRX.

No segundo caso (feições de reorganização), os mesmos minerais estão presentes (caulinita, goethita e wavelita), além de restos dos minerais primários em vias de alteração. Estas feições caracterizam volumes irregulares ao longo das descontinuidades, indicando zonas de maior circulação e, portanto, de mais rápida evolução morfológica, com destrui-



Biotitas sãs (B) e seus produtos de alteração (demais pontos), mostrando a evolução química daqueles minerais:

- a. perda de potássio
- b. individualização do ferro
- c. formação do plasma argilo-ferruginoso (argilominerais)

- a. perda de potássio
- b. formação de argilominerais menos ferruginosos que a caulinita (Ka)
- c. formação de caulinita

Figura 5 - Diagramas triangulares mostrando a evolução química na alteração das biotitas, segundo os dados da Tabela 2.

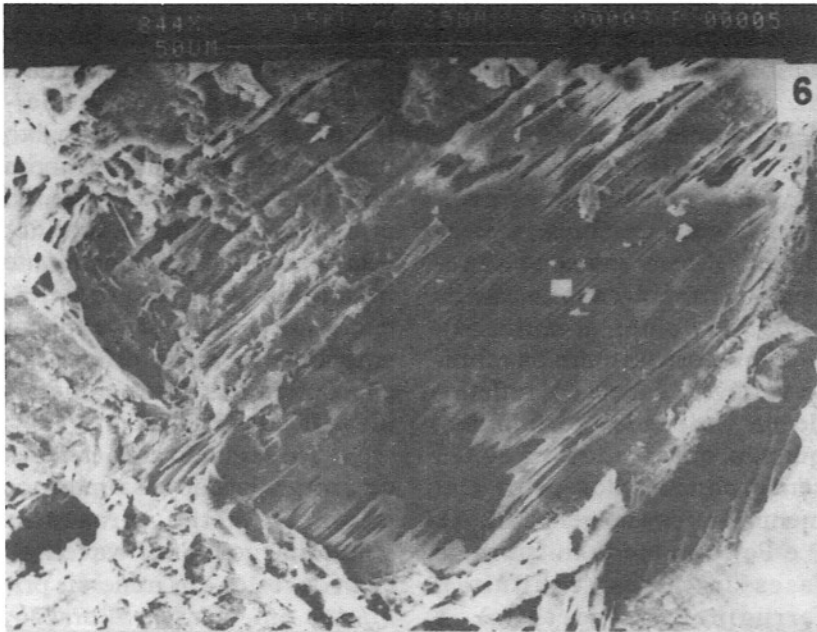


Foto 6 - Alteração do anfibólio em padrão finamente denticulado ("pente") e residuo ferruginoso, formando paredes pseudomórficas (M.E.V.).

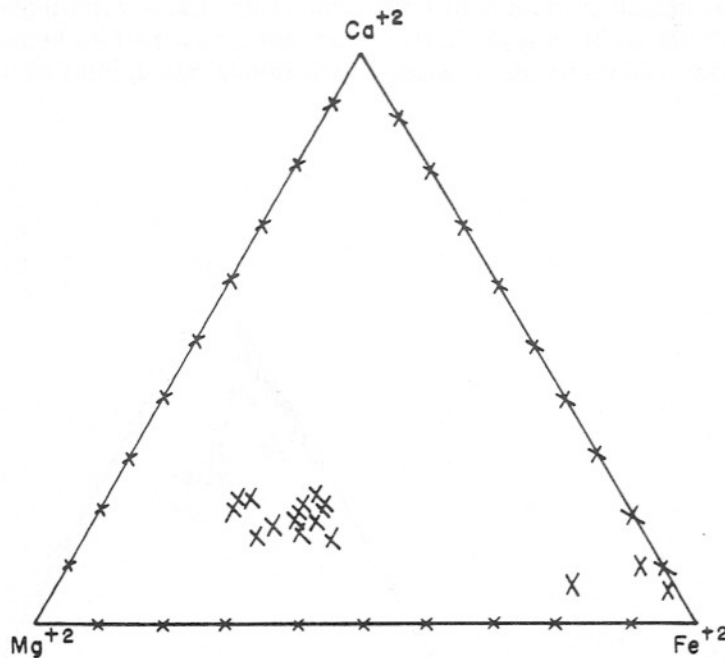


Figura 6 - Diagrama triangular (Ca/Mg/Fe) mostrando a evolução química na alteração dos anfibólios em direção a produtos ferruginosos, conforme os dados da Tabela 3.

ção das heranças geométricas. Os materiais aí presentes provêm da evolução tanto das bandas apatíticas (formando plasmas mais ricos em fósforo e menos ferruginizados) como das

bandas mais silicáticas (biotitas e anfibólios), mas têm certamente uma contribuição alóctone, já que representam zonas de maior circulação, o que pode ser verificado pelas composições

químicas apresentadas nas análises pontuais (Tabela 7).

O material fissural mostra que sofreu um gradativo aumento em seu volume, forçando o deslocamento relativo dos volumes isalteríticos delimitados pela rede fissural, conforme explicado anteriormente (Foto 7). Assim, a aloterita sobre a rocha bandada forma-se, aqui, por uma via centrípeta, com as fissuras crescendo de importância em espessura e quantidade, invadindo os fragmentos, substituindo-os, e por uma via centrífuga, com reorganização progressiva dos materiais de dentro dos fragmentos, caminhando para uma progressiva homogeneização entre os dois tipos de plasma secundários citados, apagando as feições do bandamento original.

Sobre a rocha glimerítica, a distinção entre feições iluviais e de remobilização não é tão simples.

Parece que a composição e estrutura da rocha glimerítica (filossilicatos não orientados) condicionam a circulação mais homogênea, dificultando o estabelecimento de zonas preferenciais de circulação. Como conseqüência, o processo de aloterização é difuso por todo o material, e, muitas vezes, as fissuras transminerais confundem-se com os espaços intracristalinos por onde se dá a alteração das micas.

Os materiais das fissuras são principalmente ferruginosos, mas também apresentam Si, P e Al em sua composição (Tabela 8), sendo constituídos basicamente por goethita e caulinita (wavelita é apenas suposta presente através da existência de P e Al nas análises pontuais). Estes materiais têm um caráter diferente daquele descrito para a rocha apatítica bandada, ou seja, têm importância mais restrita. Apatita secundária



Foto 7 - Fissura na rocha apatítica bandada alterada com materiais ferruginosos iluviais responsáveis pelo deslocamento relativo entre os fragmentos de rocha isoalterada (M.O.).

Tabela 6 - Composição química dos plasmas iluviais nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

	44	45	46	47	48	95	96	97	98	Média
Na ₂ O	0,7	0,0	0,4	1,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3
MgO	0,5	0,0	0,0	0,8	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0	0,3
Al ₂ O ₃	35,6	46,5	47,1	38,5	44,6	10,9	46,8	18,1	46,1	37,1
SiO ₂	17,6	0,4	0,6	8,2	0,0	60,5	0,0	64,3	0,0	16,8
P ₂ O ₅	31,8	51,0	50,1	43,4	51,8	1,5	49,9	1,1	50,0	36,7
K ₂ O	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	15,8	0,1	1,9
CaO	1,3	0,5	0,6	0,6	0,2	1,4	0,0	0,0	0,1	0,5
TiO ₂	0,5	0,2	0,1	0,4	0,1	0,4	0,0	0,2	0,0	0,2
MnO	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe ₂ O ₃	9,5	1,1	0,9	6,4	2,8	23,5	2,5	0,2	2,7	5,5

Tabela 7 - Composição química dos plasmas secundários indicando feições de reorganização nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

Parte b	7	7.1	7.2	0.1	0.2	2.2	8.1	Média
Na ₂ O	0,6	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2
MgO	0,6	0,4	1,1	0,5	0,9	93,4	0,8	13,9
Al ₂ O ₃	37,2	34,9	34,3	4,9	8,6	2,2	48,7	24,4
SiO ₂	21,4	16,2	21,4	4,0	17,3	2,7	0,4	11,9
P ₂ O ₅	23,8	25,0	20,2	5,7	5,4	0,8	46,8	18,2
K ₂ O	0,2	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1
CaO	2,2	2,8	2,4	0,4	0,9	0,1	0,3	1,3
TiO ₂	1,2	0,6	1,1	2,5	1,2	0,1	0,0	1,0
MnO	0,0	0,0	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1
Fe ₂ O ₃	4,1	5,5	7,7	80,1	63,6	0,4	1,1	23,2

dária, preenchendo os vazios das pseudomorfozes ferruginosas de anfibólios, é também enquadrada neste tipo de material. Quanto aos materiais reorganizados, formam volumes irregulares, nitidamente provenientes da evolução morfológica dos filossilicatos e apresentam composição argiloferruginosa, onde a fase argilosa predomina (caulinita e vermiculita), ocorrendo também traços de P e de Al (Tabela 9). O cálcio presente em algumas análises foi relacionado à existência de apatita ainda em vias de alteração.

Os resultados mostrados nas Tabelas 6 a 9, correspondentes às análises pontuais semiquantitativas sobre os diversos plasmas formados sobre os dois tipos litológicos, indicam a grande variedade de proporções entre as fases mineralógicas principais ali misturadas e também a ocorrência localizada de fases mais puras detectadas por análises mais próximas dos pólos fosfático, aluminoso, silicático e ferruginoso.

CONCLUSÕES

O manto de alteração exposto no perfil Gonzaga de Campos é muito heterogêneo, refletindo a variação litológica original. A frente de lavra experimental utilizada para esta pesquisa exhibe fácies isalteríticas e aloteríticas, bem como a rocha em estágio inicial de alteração, e permitiu reconhecer os tipos litológicos originais e a sua evolução durante o intemperismo.

Os estudos realizados indicaram a presença de dois tipos de rocha no local:

- rocha micácea (glimerito com textura fanerítica fina a grosseira, constituído por biotita, pouco

Tabela 8 - Composição química dos plasmas ferruginosos e fosfáticos nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

	31	33	34	35	36	38	51	52	90	91	92	93	94	99
Na ₂ O	0,4	0	0,8	0	1,2	0,2	0,6	2,7	0,4	0,8	0,4	0,6	0	0,7
MgO	0,5	0,6	0,8	0,4	2	0,1	0,6	1,8	7,6	0,7	0,2	6,7	0	0,5
Al ₂ O ₃	30,6	34,7	32,1	32,9	13,9	31,2	13,6	19,3	16,3	18,5	7,7	13,5	33,4	35,3
SiO ₂	28,5	31,7	23	25,3	5,6	21,5	46,9	46,1	38,2	17,4	7,4	37,9	17,6	11,1
P ₂ O ₅	12,8	16,3	17,1	18	61,1	19,6	12,6	7,3	4	11,3	5,5	1,5	21,7	25,8
K ₂ O	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,8	5,1	0,3	0,3	5,7	0,2	0,2
CaO	1	1	1,3	1,4	5	1,6	8,9	3,2	0,7	1,4	0,6	0,2	2,3	2,9
TiO ₂	1,3	0,7	1,2	0,8	0,5	1,2	0,9	1,3	2,8	1,8	2,2	2,9	0,5	0
MnO	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0,2	0,2	0	0
Fe ₂ O ₃	18,9	9,9	14,4	13,7	8,7	15,3	14,9	16,8	23,7	42,4	73,5	30,6	13,4	9,5

	100	101	102	103	104	105	106	107	170	171	172	173	Média
Na ₂ O	0,3	0,2	0,1	0,1	0,5	0	1	0	0,1	0	0	0	0,4
MgO	0	0,9	0,2	0,7	0,5	0,4	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	1
Al ₂ O ₃	36,8	36,4	37,2	36,3	36,6	35	34,8	33,4	23,4	25,7	24,8	21,4	27,4
SiO ₂	13,2	12,8	12,6	14,9	13,4	20,5	20,4	17,7	29,6	34,3	32,4	25,7	23,3
P ₂ O ₅	26,5	26	26,7	25,5	26,7	22,4	20,9	22,2	13,2	6,6	8,8	15,7	18,3
K ₂ O	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,5	0,7
CaO	3	2,9	3,1	2,6	2,9	2,5	2,2	2,9	0,8	0,8	0,7	3,2	2,3
TiO ₂	0	0,3	0,2	0,8	0,3	0,3	0,6	0,7	1,5	1,6	1,4	1,2	1
MnO	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1	1,2	0,1
Fe ₂ O ₃	5,2	5,3	4,7	6	5,2	5,9	7	7,9	29,2	28,6	28,7	29,3	19,1

Tabela 9 - Composição química dos plasmas secundários derivados da reorganização de materiais fosfáticos da rocha glimerítica nos materiais do perfil Gonzaga de Campos, obtida por análises semiquantitativas ao M.E.V. com EDS sobre lâminas delgadas, normalizadas a 100%.

	149	150	152	157	158	159	160	Média
Na ₂ O	0,6	0,3	0,1	0,2	2,4	0,0	0,4	0,6
MgO	1,5	2,3	2,0	1,9	0,7	11,6	2,9	3,3
Al ₂ O ₃	17,6	17,2	15,0	10,6	17,4	14,3	17,4	15,6
SiO ₂	56,5	53,1	54,9	48,7	64,0	42,1	63,1	54,6
P ₂ O ₅	1,9	1,4	1,2	2,0	0,3	0,2	1,6	1,2
K ₂ O	0,7	1,5	0,8	0,5	11,6	7,8	1,6	3,5
CaO	1,5	2,5	1,8	1,5	0,6	0,3	2,0	1,4
TiO ₂	0,4	1,4	0,6	0,6	0,2	4,7	0,2	1,2
MnO	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
Fe ₂ O ₃	18,4	19,2	22,9	32,7	1,0	17,6	9,4	17,3

anfíbólio, pouca apatita e rara magnetita); esta rocha e seus produtos de alteração ocupam a maior parte da frente de exposição; - rocha apatítica bandada (orientada, com textura fanerítica fina a média, constituída por

bandas lenticulares, descontínuas, de espessura milimétrica a submilimétrica); as bandas possuem as seguintes composições: a) essencialmente apatítica, com pouca biotita e/ou anfíbólio orientados, formando

bandas brancas, b) bandas com mistura de anfíbólio e biotita orientados, mais ou menos ricas em apatita e com raro feldspato potássico, formando bandas cinza-esverdeadas e c) bandas muito ricas em biotita orientada, com anfíbólio e apatita, com pouca magnetita e raro feldspato potássico, formando bandas castanhas, cinzas ou pretas.

A biotita presente é uma biotita medianamente ferruginosa; o anfíbólio é do tipo hastingsita e a magnetita é algo titanífera. Não foram detectadas diferenças composicionais entre os minerais primários presentes nos dois tipos litológicos.

O estudo sobre a alteração destas rochas mostrou uma evolução dos minerais primários em direção a minerais se-

cundários típicos do intemperismo em clima tropical, sendo que as fases filossilicáticas apresentaram estágio intermediário importante. Assim, os anfíbios mostraram alteração para oxihidróxidos de ferro (goethita) em pseudomorfoses; as biotitas, passando por estágio importante de interestratificados biotita-vermiculita e vermiculita, mostraram evolução para caulinita somente nas partes mais evoluídas do perfil; a magnetita mostrou dissolução parcial e, finalmente, a apatita evoluiu para wavelita. Apatita secundária teve formação muito restrita e ligada à mobilização de fósforo e cálcio fora dos locais com apatita primária, tendo sido verificada sua presença na porosidade de pseudomorfoses de anfíbios.

Estas filiações minerais indicam o itinerário geoquímico geral dos elementos principais. Assim, na alteração da biotita e do anfíbio, há, inicialmente, a lixiviação dos alcalinos e alcalino-terrosos (potássio e magnésio), com aportes de alumínio e ferro, resultando nos argilominerais e nos produtos ferruginosos. No caso da alteração da apatita, com a formação imediata da wavelita, verifica-se a lixiviação total do cálcio e aporte de alumínio, proveniente de porções a montante; os vazios muitas vezes formados são indicativos da migração parcial do íon PO_4^{4-} .

A maior parte do perfil é formada por isalterita, sustentada pelos produtos ferruginosos (essencialmente goethita), nas pseudomorfoses e no revestimento das discontinuidades ori-

ginais, e pela apatita, que é o mineral primário mais resistente.

A aloterita que se superpõe à isalterita, faz com ela uma transição onde uma rede de descontinuidades encontra-se preenchida por materiais iluviais e separa fragmentos de isalterita que sofrem uma desorganização progressiva por uma via centrípeta (acumulação de produtos iluviais com presença de Fe, Si, Al, P e Ti, formando goethita, caulinita e wavelita ao longo de fissuras em sucessivas gerações de cutãs que aumentam progressivamente seu volume, crescendo e forçando o deslocamento relativo dos fragmentos de isalterita, além de invadi-los, causando a sua subdivisão) e por uma via centrífuga (desestabilização progressiva das pseudomorfoses destes fragmentos isalteríticos).

Enquanto na isalterita ainda há elementos potencialmente lixiviáveis nestas condições de intemperismo laterítico, tanto pela mais tardia alteração das apatitas (no caso do Ca) como pela lenta evolução das biotitas (no caso do K e Mg e, em menor escala, do Si), na aloterita ocorrem, essencialmente, os elementos residuais (Fe, Al e, em parte, Si). O fósforo quase não ocorre na aloterita, demonstrando que sofreu lixiviação após a formação dos fosfatos secundários, embora não tenha sido verificada diretamente a desestabilização da wavelita.

Dois pontos devem ser ressaltados neste estudo, com respeito a peculiaridades deste setor do manto de alteração sobre o Complexo de Ipanema: a) a alteração da apatita forma dire-

tamente um fosfato de alumínio (wavelita), sem estágios intermediários existentes em outros locais (fosfatos da família da crandalita), promovendo, portanto, uma lixiviação imediata do cálcio, mesmo em meios aparentemente mal drenados (espaços inter e intracristalinos fechados), e b) o papel do intemperismo na gênese do depósito mineral fosfático de Ipanema foi no sentido de friabilizar a rocha e não de promover um enriquecimento relativo em fósforo apatítico, já que a grande quantidade de micas primárias sofreu lenta evolução com pouca perda de matéria na maior parte do perfil, ao contrário do que ocorre em outros maciços com menor abundância de minerais micáceos em suas rochas primárias, onde a alteração com perda importante de massa aumenta relativamente os teores em apatita.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto da pesquisa que resultou em dissertação de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica do IG - USP (Florêncio, 1995). Para sua realização, foram fundamentais o financiamento pela FAPESP (processo 92/3490-0), a colaboração da administração da antiga Fazenda Ipanema, da Serrana S.A. de Mineração e do geólogo Richard Margutti. Os trabalhos analíticos foram realizados no IG e NUPEGEL - USP e no Centro de Microscopia Eletrônica da ORSTOM, em Bondy. As autoras também agradecem aos relatores da revista.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOVER NETO, A. (1991) Evolução supérgena das rochas carbonatíticas ricas em apatita do Complexo Alcalino de Juquiá, (SP). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP, 131 p.

- ALCOVER NETO, A. & TOLEDO, M.C.M. de (1993) Evolução supérgena do carbonatito de Juquiá (SP). *Rev. Inst. Geológico, São Paulo*, **14**(1):31-43.
- ALCOVER NETO, A.; TOLEDO, M.C.M. de; LENHARO, S.L.R.; OROUÉ, D.; MATOS, J.R. (1995a) Caracterização geoquímica preliminar dos minerais do grupo do pirocloro no maciço alcalino-carbonatítico de Chiriguelo (Paraguai Oriental). *In: Congr. Bras. Geol.*, 5, Niterói. Anais.
- ALCOVER NETO, A.; ALMEIDA, T.I.R. de; KARMANN, I.; TOLEDO, M.C.M. de (1995b) Estudo da composição isotópica de C e O em carbonatos e fosfatos secundários de Juquiá e da Caverna Santana, Vale do Ribeira (SP). *In: Congr. Bras. Geol.*, 5, Niterói. Anais.
- ALMEIDA, T.I.R. de; ALCOVER NETO, A.; TOLEDO, M.C.M. de; MOREIRA, M. (1994) Supergene calcite of the bottom of a weathering profile over carbonatite of Juquiá, SP, Brazil: isotopic composition and genesis. *In: Congresso Geológico Chileno*, 7, Chile. *Actas*, **11**:1483-1487.
- ALTSCHULLER, Z.S. (1973) The weathering of phosphate deposits, geochemical and environmental aspects. *In: E.J. Griffith; A. Beeton; J.M. Spencer; D.T. Mitchel (Eds.) Environmental phosphorus handbook*. John Wiley and sons, New York, p.33-36.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1967) Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **31**:23-34.
- APS, V. & BORN, H. (1975) Pesquisa do Minério fosfático de Ipanema. *Geologia e Metalurgia*, **37**:25-34.
- BERBERT, C.O. (1984) Carbonatites and associates mineral deposits in Brasil. *Geological Survey of Japan Report*, **263**:269-90.
- BISDOM, E.B.A.; STOOPS, G.; DELVIGNE, J.; CURMI, P.; ALTEMULLER, H.J. (1982) Micromorphology of weathering biotite and its secondary products. *Pedologie*, **32**(2):225-252.
- BORN, H. (1976) Recursos minerais associados a complexos alcalino-carbonatíticos no Brasil. *In: Semana de estudos geológicos do Paraná*, 1. 10p. (Inédito).
- BORN, H. (1989) The Ipanema phosphate deposit, São Paulo, Brazil. *In: A.J.G. Notholt; R.P. Sheldon; D.F. Davidson (Eds.) Phosphate deposits of the world*. Cambridge, University Press, 2:116-119.
- BORN, H.; LENHARO, S.L.R.; KAHN, H. (1996) Mineralogical characterization of apatites from Brazilian phosphate deposits with reference to flotation behaviour. *In: Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth sci.)*, **105**:117-126.
- BRAGA, J.R.K. & BORN, H. (1988) Características geológicas e mineralógicas da mineralização apatítica de Araxá. *In: Congr. Bras. Geol.*, 35, Belém. Anais, SBG, **1**:219-226.
- COSTA, M.L. da (1984) A dinâmica de formação de lateritas: O exemplo do NE do PA e NW do MA. *In: Congr. Bras. Geol.*, 33, Rio de Janeiro. Anais, SBG, p.4823-4837.
- COSTA, M.L. & SÁ, J.H.S. (1980) Os fosfatos lateríticos da Amazônia Oriental: Geologia, Mineralogia, Geoquímica e correlações com as bauxitas da Amazônia. *In: Congr. Bras. Geol.*, 31, Camboriú. Anais, SBG, **3**:1459-1472.
- COSTA, M.L. da & REYMÃO, M.F.F. (1984) Senegalita/ $Al_2(OH)_3(H_2O).(PO_4)_3$, nos fosfatos lateríticos do PA e MA (Amazônia Oriental). *Rev. Bras. Geoc.*, **14**(3):170-174.
- COSTA, M.L.; COSTA, W.A.M.; SCHWAB, R.G. (1980) Mineralogia das ocorrências de fosfatos lateríticos do PA e MA (Brasil). *In: Congr. Bras. Geol.*, 31, Camboriú. Anais, SBG, **4**:1982-1996.
- DAVINO, A. (1975) Geologia da Serra de Araçoiaba, Estado de São Paulo. *Bol. Inst. de Geociências /USP*, **6**:129-44.
- FLICOTEAUX, R. & LUCAS, J. (1984) Weathering of phosphate minerals. *In: J.O. Nriagu; P.B. Moore (Eds.) Phosphate minerals*. Berlim, Springer, p.292-317.
- FLICOTEAUX, R.; WALTER, A.V.; BONNOT-COURTOIS, C.; TOLEDO-GROKE, M.C. (1990) Transformation and precipitation of phosphates during weathering: characterization by REE distributions. *In: International Symposium on Geochemistry of the Earth's Surface and of Mineral Formation*, 2, Aix-en-Provence. *Chem. Geol.*, **84**(1/4):365-367.
- FLORÊNCIO, R.V. de S. (1995) Estudo da alteração intempérica das rochas ricas em apatita da

- Mina Gonzaga de Campos, associadas ao maciço alcalino-carbonatítico de Ipanema, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP, 90p.
- GOMES, C.B.; RUBERTI, E.; MORBIDELLI, L. (1990) Carbonatite complexes from Brazil: a review. *J. South Am. Earth Sci.*, **3**(1):51-63.
- HERZ, N. (1977) Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **88**:101-112.
- IMBERNON, R.A.L. (1993) Evolução Geoquímica e Mineralógica dos produtos de alteração intempérica sobre as rochas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão I, Goiás. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP, 132p.
- KAHN, H. (1988) Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP, 236 p.
- KNECHT, T. (1940) Apatita. *Boletim do Instituto Geogr. Geol.*, **27**:8-27.
- LEINZ, V. (1940) Petrologia das jazidas de apatita de Ipanema (Estado de São Paulo). *Bol. DNPM*, **40**:52p.
- LEMOS, V.P. & COSTA, M.L. da (1987) Participação dos terras raras nos lateritos fosfáticos de Maicuru (PA). *In: Congr. Bras. Geoq.*, 1, Porto Alegre. Anais, SBGQq, **1**:83-102.
- LENHARO, S.L.R. (1994) Caracterização mineralógica/tecnológica das apatitas de alguns depósitos brasileiros de fosfato, SP. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, USP, 196p.
- LENHARO, S.L.R. & BORN, H. (1994) Caracterização mineralógica/tecnológica das apatitas de alguns depósitos brasileiros de fosfato. *BT/PMI/026*, 44p.
- LUCAS, J.; FLICOTEAUX, R.; NATHANY, Y.; PRÉVÔT, L.; SHALAR, Y. (1980) Different aspects of phosphorite weathering. *Tulsa, S.E.P.M. Special Publications*, **29**:41-51.
- MELFI, A.J.; SOUBIÈS, F.; TOLEDO-GROKE, M.C. (1991) Comportamento do nióbio nas alterações das rochas do Complexo alcalino-carbonatítico de Tapira, Minas Gerais. *In: Congr. Bras. Geoq.*, 3, São Paulo. Resumos, IG-USP, **1**:85-87.
- MENDES, H.C.; BORN, H.; MELCHER, G.C.; (1976) Avaliação das Reservas de Minério de Ipanema (SP). *In: Congr. Bras. Geol.*, 29, Ouro Preto. Anais, SBG, **1**:142-153.
- NOGUEIRA FILHO, J.V.; SARAGIOTTO, J.A.R.; SINTONI, A. (1976) A jazida de apatita de Ipanema. *In: Congr. Bras. Geol.*, 29, Ouro Preto. Anais, SBG, **1**:75-87.
- OLIVEIRA, N.P.; SCHWAB, R.G. (1980) Itacupim: Um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. *In: Congr. Bras. Geol.*, 31, Camboriú. Anais, SBG, **1**:184-196.
- PEREIRA, V.P. (1991) Alteração das rochas no maciço Alcalino de Anitápolis - SC. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, UFRGS, 199p.
- PEREIRA, V.P. (1995) Alteração no Maciço Alcalino-carbonatítico de Catalão I - GO, evolução mineralógica. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UFRGS, 279p.
- PEREIRA, V.P.; DUTRA, C.V.; FORMOSO, M.L.L.; FIGUEIREDO, A.M.G. (1991) Os elementos terras raras nas apatitas do Maciço alcalino de Anitápolis, SC. *In: Congr. Bras. Geoq.*, 3, São Paulo. Resumos, IG-USP, **2**:647-650.
- SCHWAB, R.G.; HEROLD, H.; COSTA, M.L. da; OLIVEIRA, N.P. de (1989) The formation of aluminous phosphates through lateritic weathering of rocks. *In: K.S. Balasubramaniam & V.P. Evangelov (Eds.) Weathering: its products and deposits. Athens, Theophrastus*, **2**:369-386.
- SCHWAB, R.G.; HEROLD, H.; GÖTZ, C.H.; OLIVEIRA, N.P. (1990) Compounds of the crandallite type: Synthesis and properties of pure goyazite, gorceixite and plumbogummite. *N. Jb. Miner. Mh.*, **3**:113-126.
- SERRANA S.A. DE MINERAÇÃO (1975) Jazida Ipanema - Plano de Aproveitamento Econômico - Relatório Interno IPAN **48**:15p.
- SERRANA S.A. DE MINERAÇÃO (1976a) Projeto para implantação de usina de produção de concentrado de apatita em Ipanema - Relatório Interno Pesquisa Mineral IPAN **15**:6p.
- SERRANA S.A. DE MINERAÇÃO (1976b) Geologia de Ipanema e Pesquisa Mineral. Relatório Interno IPAN **12**:23p.
- SILVA, A.B.; LIBERAL, G.S.; GROSSI SAD, J.H.; ISSA FILHO, A.; RODRIGUES, C.S.; RIFFEL, B.F. (1988) Geologia e Petrologia do Complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil), uma associação carbonatítica precambriana. *Geoch. Bras.*, **2**:81-108.

- SIQUEIRA, N.V.M. & LIMA, W.N. (1982) Estudo geoquímico de alterações e distribuição de elementos em perfil laterítico desenvolvido sob a influência do fósforo-Pirocaua (MA). *In*: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador. Anais, SBG, 5:1991-2002.
- SOUBIÈS, F.; MELFI, A.J.; AUTEFAGE, F. (1991a) 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. de Geociências*, 21:3-16.
- SOUBIÈS, F.; SONDAG, F.; DELAUNE, M.; LEDRU, M.P.; MARTIN, L.; SUGUIO, K.; TURC, B.; MELFI, A.J. (1991b) Neoformação de fosfato de titânio em sedimentos da Lagoa Campestre de Salitre, MG. *In*: Congr. Bras. Geoq., 3, São Paulo. Resumos, SBGQ/Sociedade Geológica de Portugal, IG-USP, 1:74-77.
- THE BRITISH SULFUR CORPORATION LIMITED (1980) World survey of phosphate deposits. London, 237p.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sc. Ver.*, 17:135-54.
- VIEILLARD, P.; TARDY, Y.; NAHON, D. (1979) Stability fields of clays and aluminium phosphates: paragenesis in lateritic weathering of argillaceous phosphatic sediments. *Am. Min.*, 64:626-634.
- WALTER, A.V. (1991) Caractérisation géochimique et minéralogique de l'altération de la carbonatite du complexe alcalin de Juquiá (Brésil): compartement des terres rares dans le minéraux phosphatés. Thèse. Université d'Aix Marseille, 247p.
- WALTER, A.V.; LOUBET, M.; FLICOTEAUX, R.; TOLEDO-GROKE, M.C.; NAHON, D. (1989) Mineralogical and geochemical variations along the alteration profiles of Juquiá Carbonatite (Brazil). *Terra Abstracts, Journal of the European Union of Geosciences (EUGV)*, Strasbourg, 1(1).
- ZANIN, Y.N. (1989) Phosphates bearing weathering crusts and their related deposits. *In*: K.S. Balasubramaniam & V.P. Evagelon (Eds.) *Weathering: its products and deposits*. Athens, Theophrastus, 2:321-67.