

CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA EVOLUÇÃO SUPÉRGENA DAS ROCHAS CARBONATÍTIICAS DO COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTIICO DE JUQUÍÁ (SP), COM ENRIQUECIMENTO EM FOSFATOS

A. Alcover Neto
M.C. Toledo-Groke

Departamento de Geologia Geral-Instituto de Geociências-USP

RESUMO

As intrusões alcalino-carbonatíticas freqüentemente se associam concentrações de fosfato apatítico, como é o caso de diversas ocorrências e depósitos fosfáticos de origem ígnea no Brasil (Anitápolis, Araxá, Catalão, Tapira, Jacupiranga, Ipanema, Barra do Itapirapuã e Mutum, entre os complexos com carbonatitos, além de outros, sem carbonatitos). O processo de intemperismo laterítico sobre essas rochas portadoras de apatita promove o enriquecimento em fosfato.

Em Juquiá, o Complexo Alcalino-Carbonatítico do mesmo nome inclui carbonatitos beforstíticos, constituídos basicamente por dolomita e apatita, com diversos minerais acessórios. Esses carbonatitos ocupam grande parte do morro do Serrote, constituindo uma unidade litológica contínua no nível de erosão atual, ao contrário de muitos outros complexos, onde os carbonatitos ocorrem apenas em diques, nos níveis de profundidade passíveis de observação e amostragem. Essa característica favorece o local para estudos sobre a sua evolução supérgena, sem grandes influências das rochas vizinhas.

O estudo do manto de alteração nessa área está sendo efetuado com a utilização de diversas técnicas analíticas. Os resultados já obtidos permitiram o reconhecimento preliminar das fases da evolução supérgena dos carbonatitos e do comportamento dos fosfatos no processo de intemperismo mostrando as modificações químicas e mineralógicas porque passa a rocha sã, formando níveis isalteríticos nas partes basais e intermediárias do perfil de alteração, e níveis aloteríticos nas partes superiores.

Ficaram caracterizadas as duas vias de enriquecimento em fosfatos: por acumulação relativa, a partir da lixiviação dos carbonatos, e por acumulação absoluta, demonstrada pela ocorrência de várias gerações de fosfatos secundários, normalmente ainda apatíticos, já que devido ao contexto litológico, não há quase disponibilidades geoquímicas para a neoformação de outros tipos de fosfatos, a não ser nos níveis superiores, onde é possível a influência do quimismo das alcalinas silicáticas, do complexo.

INTRODUÇÃO

Os Complexos Alcalino-Carbonatíticos. O Ciclo do Fósforo no Intemperismo

Os complexos alcalino-carbonatíticos brasileiros, muito embora representem uma pequena fração da porção superficial da crosta, têm sido objeto de grande interesse para os geocientistas, uma vez que os controles temporal e tectônico de sua instalação têm importantes conseqüências nas interpretações petrológicas e geotectônicas. Por outro lado, as rochas desses complexos apresentam várias anomalias positivas de substâncias e elementos menores e traços interessantes sob o ponto de vista científico e econômico. No caso dos complexos alcalinos com carbonatitos, as mineralizações são principalmente em óxidos de Nb, Ti, Zr, Al, Be, Na, Ba, Sr, TR e fosfatos de Ca e TR.

Essas formações, quando localizadas em ambiente favorável, como é o caso da faixa tropical onde se situam os complexos brasileiros, desenvolvem espessos mantos de alteração laterítica, da ordem de dezenas ou centenas de metros de espessura, sendo raros os afloramentos naturais de rocha sã. Essa fase de alteração laterítica é notavelmente importante em termos de mobilização ou fixação seletiva dos diversos elementos químicos presentes. A maioria dos bens minerais associados a esses complexos é encontrada no manto de alteração intempérica, sendo proveniente, seja da acumulação "in situ" de certos minerais primários mais resistentes, seja da neoformação de minerais secundários que fixam certos elementos no perfil de alteração, podendo eventualmente contrariar as regras teóricas de seu comportamento dinâmico. Pouco se sabe, ainda, a respeito do comportamento daqueles elementos citados no ambiente laterítico. Sabe-se, contudo, da influência marcante que a presença dos íons fosfato têm na evolução dos perfis lateríticos.

A lateritização age no sentido de enriquecer relativamente o perfil em fósforo, que praticamente não é exportado, contrariando a regra do Potencial Iônico de Goldschmidt, enquanto que os outros minerais primários (carbonatos e silicatos) são mais ou menos rapidamente desestabilizados. A apatita primária não é

necessariamente conservada intacta. Os estudos sobre fosfatos lateríticos efetuados principalmente sobre materiais sedimentares mostram que a evolução completa conduz a recristalizações dos fosfatos, normalmente na seguinte ordem, causando uma zonalidade vertical no perfil:

fosf. Ca I --- fosf. Ca II --- fosf. Ca Al Fe --- fosf. Al Fe --- fosf. Al
 (1) (2) (3) (4) (5)
 + fosf. Fe
 (6)*

* (1) apatita primária; (2) apatita secundária; (3) palita, crandalita, wardita; (4) leucofilita, barrandita; (5) variscita, wavelita, augelita, senegalita; (6) strengita.

Nessa evolução, o cálcio, elemento normalmente solúvel, tem sua lixiviação retardada pela fixação nos fosfatos secundários. As principais tendências evolutivas são:

- descarbonatação da apatita primária;
- decréscimo de álcalis e hidratação;
- acréscimo da razão Al+Fe/P;
- aumento do grau de oxidação de ferro (Zanin, 1968; Viellard et alii, 1979; Lucas et alii, 1980; Flicoteau & Lucas, 1984).

Os minerais fosfáticos, em particular a crandalita são estruturas favoráveis à fixação de diversos elementos: Sr, Ba, TR, U, Th, V etc. Além disso, a presença dos ions PO_4 no perfil inibe a cristalização de gibbsita, já que o Al tende a participar da estrutura dos fosfatos secundários. Fosfatos de ferro são menos frequentes na natureza que fosfatos de alumínio: as reações dos ions fosfato com hidróxidos de ferro são muito mais lentas, e ocorrem somente em ausência de material argiloso ou em condições muito redutoras; assim, o ferro permanece predominantemente como óxi-hidróxidos livres, ao contrário do alumínio, que só forma gibbsita quando está em excesso em relação ao fósforo.

Segundo The British Sulphur Corporation Limited (1980), o comportamento do fósforo em depósitos sedimentares associados a calcários e margas, que pode ser adaptado para o fósforo associado a carbonatitos, seria o seguinte: num estágio inicial de alteração, soluções levemente ácidas permitiriam a dissolução dos carbonatos, originando um meio ligeiramente alcalino. A apatita, pouco solúvel nesse meio, seria mantida estável. Nos níveis onde os carbonatos já foram totalmente solubilizados, um meio mais ácido favoreceria a dissolução da apatita. O fósforo assim solubilizado seria em parte fixado com outros cátions em fases secundárias (fosfatos de Al com Ba, Fe, Sr, TR e outros), e em parte migraria para níveis inferiores do perfil, eventualmente formando apatita secundária ao atingir horizontes leve-

mente alcalinos. Dessa forma se explicaria o ciclo do fósforo no perfil, elemento até certo ponto residual mas com sucessivas reciclagens determinadas pelas condições físico-químicas dos meios.

Objetivos e Metodologia

Neste contexto, o presente trabalho faz parte de um projeto bem mais amplo, em desenvolvimento, e traz uma caracterização preliminar da evolução laterítica das rochas carbonatíticas primariamente ricas em apatita do Complexo Alcalino de Juruá, estado de São Paulo, que promoveu a formação de uma jazida fosfática essencialmente apatítica (primária e secundária), com a ocorrência de minerais secundários característicos dos controles intempéricos e disponibilidades geoquímicas locais. Nessa etapa ainda inicial do trabalho, são tratados principalmente os níveis isalteríticos e os minerais principais.

A metodologia utilizada leva em conta a evolução do conhecimento em geoquímica de superfície nas últimas duas décadas, que indica a valorização das observações e análises pontuais considerando, assim, os microssistemas de alteração como sede dos fenômenos e cuja justaposição forma e explica o todo do perfil e da paisagem.

Os trabalhos de campo foram orientados no sentido de observar e amostrar todas as facies litológicas e de alteração, bem como as transições entre as diferentes facies; esse trabalho foi favorecido graças à existência, na área, de cortes continuamente abertos e avançados pelas máquinas durante a lavra que está atualmente em andamento.

Em laboratório, além da caracterização global do material, essencialmente com descrições macroscópicas, reconhecimento mineralógico por Difração de Raios X e Análise Térmica Diferencial, fracionamento granulométrico, densimétrico e magnético, todas as amostras foram endurecidas com resina para que fosse possível confeccionar lâminas delgadas sobre o material indeformado e proceder ao seu estudo micromorfológico. Além disso, foram efetuadas algumas análises químicas pontuais qualitativas por EDS sobre lâminas delgadas (Microsonda Eletrônica) e fragmentos naturais (Microscopia Eletrônica de Varredura).

Dessa forma, procurou-se caracterizar todas as fases primárias e secundárias existentes nos materiais em diversos estágios de alteração, testando-se estabelecer as relações cronológicas e genéticas entre elas, com o objetivo de reconstituir a história evolutiva do material no ambiente superficial, em termos de filiações mineralógicas, modificações estruturais e, sempre que possível, itinerário geoquímico dos elementos.

Ao longo do texto, serão usadas as seguintes siglas para referência aos trabalhos analíticos efetuados:

- DRX: Difração de Raios X (IAG-USP);
- ATD: Análise Termodiferencial (IG-USP);
- MO: Microscopia Óptica (IG-USP);

ME: Microsonda Eletrônica (IG-USP);

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura (CBMM);

EDS: Sistema de dispersão de energia em equipamento LINK acoplado à ME (IG-USP) ou ao MEV (CBMM).

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Juquiá

Trata-se de uma intrusão circular zonada, de cerca de 14km² de área atualmente exposta, encaixada em gnaisses parcialmente fenitizados. O complexo foi datado por Amaral et alii (1967), sendo-se atribuída uma idade juro-cretácica (127 m.a.). Nesse complexo observa-se que mais da metade da área total, a NE, é dominada por olivina-piroxenitos e piroxenitos, enquanto que a SW predominam nefelina-sienitos, ijolitos (com menores quantidades de melteijitos e urtitos) e carbonatitos, constituindo um padrão subanelar concêntrico. Olivina-álcali-gabros e essexitos/sienodioritos são também encontrados associados com clinopiroxenitos e nefelina-sienitos, respectivamente nas partes N e S do complexo. Diques ankaratríticos e fonolíticos também ocorrem (figura 1) (Born, 1971; Ulbrich & Gomes, 1981; Macciotta et alii, 1988).

O morro do Serrote, de 211m de altitude, é sustentado pelos carbonatitos em sua parte central e sul. Na parte norte, o trabalho recente de Macciotta et alii (op. cit.) esclareceu a presença de ijolitos com melteijitos e urtitos subordinados.

Os carbonatitos foram divididos por Born (op. cit.) em dois tipos: um tipo interno, bandado, de composição anquerítica e dolomítica, pobre em apatita, e outro tipo, externo, de apatita-beforsito, cuja apatita seria posterior aos carbonatos.

A existência de um corpo contínuo de carbonatito, ao contrário de vários outros complexos alcalinos, onde essa rocha ocorre em diques restritos, e a associação da apatita à rocha carbonatítica e não às rochas silicatadas da intrusão, promoveram uma situação particularmente favorável ao desenvolvimento de um perfil de alteração extremamente rico em P₂O₅ (média de 28% e máximo de 34%, segundo comunicação verbal da SOCAL Mineração S.A.) e por outro lado, muito favorável ao estudo da alteração dos carbonatitos, já que praticamente não há influência das outras rochas em sua evolução, com exceção das zonas de contato.

A área do complexo alcalino faz parte da extensa baixada drenada pelo rio Ribeira de Iguape; os riachos que drenam a área têm altitudes em torno de 7m e originam-se em brejos, que ocupam grande parte das áreas baixas. Os morros em geral apresentam altitudes entre 60 e 70m (ficando o morro do Serrote destacado com seus 211m). O clima atual é quente e úmido, com pluviosidade anual média de 1400mm, mais concentrados no verão, mas sem uma estação totalmente seca e temperatura média anual de 22°C.

A ROCHA SÃ

A rocha de origem do manto de alteração estudado encontra-se em blocos deslocados e "in situ", expostos por força dos trabalhos de lavra do minério fosfático, e foi aqui caracterizada mineralógica e petrograficamente por DRX, ATD e MO, com algumas análises químicas qualitativas pontuais por EDS ao MEV e ME, que serviram de apoio às determinações mineralógicas.

O carbonatito estudado pertence ao tipo externo definido por Born (op. cit.), já que não possui anquerita e a apatita é abundante. Apresenta uma estrutura fluidal nítida, onde se alternam faixas com variações texturais e mineralógicas. A granulação dos carbonatos é principalmente fina, milimétrica, podendo chegar a centimétrica; as apatitas são sempre milimétricas a submilimétricas. A variação mineralógica é em termos da abundância relativa entre dolomita e apatita; ocorrem desde faixas pobres em apatita até faixas muito ricas, seguindo a estrutura fluidal. Ocorre também, na base do corte mais inferior estudado, um grande volume de rocha que pode ser chamada de apatitito, constituída por uma massa contínua de apatita primária, também com estrutura fluidal, que se estende por vários metros, sem a presença de carbonatos. Além de dolomita e apatita, ocorrem como acessórios mais comuns flogopita, magnetita e barita, essa última em veios e bolsões centimétricos a decimétricos. Entre os raros, tem-se pirocloro e zircão.

Os estudos petrográficos indicam que normalmente a apatita é posterior aos carbonatos, que tendem ao idiomorfismo. Parte da apatita, essencialmente fluora-apatita, apresenta uma borda de carbonato apatita, reconhecida pelas características ópticas. Os carbonatos dolomíticos podem apresentar-se zonados, com uma zona periférica calcítica, feição reconhecida em análises EDS à ME e MEV, possivelmente já de origem metéorica.

O PERFIL DE ALTERAÇÃO

Caracterização Geral

O perfil de alteração sobre os carbonatitos de Juquiá pode atingir mais de 40m de espessura, podendo ser dividido basicamente em três níveis, além do solo superficial que não foi estudado (figura 2):

nível inferior, englobando a rocha pouco a muito alterada, com estrutura conservada, onde a apatita, primária, resistente, está intacta e sustenta o arcabouço isalterítico; ocorrem acumulações absolutas de fosfatos remobilizados a partir dos níveis mais evoluídos, em poros e fissuras. No caso menos comum de ausência ou pobreza da matriz fosfática primária, a rocha em alteração se torna incoerente, com os cristais de carbonato se destacando facilmente e desmontando o conjunto.

Fissuras que ocorrem na base do perfil, na rocha sã, podem localmente apresentar preenchimentos de calcita em deposições sucessivas, formando camadas brancas botrioidais, de espessura de alguns milímetros até cerca de 1cm. Essa ocorrência é análoga a outras descritas na literatura, de depósitos fissurais transitórios de materiais instáveis, na base de perfis de alteração, provenientes da migração de elementos solubilizados nas porções mais evoluídas (Bocquier et alii, 1984). O limite com o nível imediatamente superior é gradacional.

- nível intermediário, isalterítico como o inferior, onde a apatita primária apresenta dissolução parcial, com reprecipitação de fosfatos secundários normalmente apatíticos mas também crandallíticos. É material de maior porosidade que o nível inferior, mas conserva o arcabouço fosfático resistente.

- nível superior, aloterítico, constituído por material friável, de natureza argilosa, castanho a castanho-avermelhado, com goethita, caolinita e crandallita do tipo gorceixita, rico em nódulos de cor cinza a preta de goethita e crandallita, com dimensões variando de alguns milímetros a alguns centímetros e formas irregulares. Seu limite inferior com a isalterita constitui uma descontinuidade morfológica, química e mineralógica. Encontram-se fragmentos métricos de couraça na sua parte superior, deslocados pelos trabalhos de mineração, e constituídos, como os nódulos, por goethita e crandallita. Esse nível não será mais detalhado neste trabalho, embora suas características preliminares reconhecidas sejam levadas em conta durante as discussões.

O nível inferior

O princípio da alteração da rocha carbonatítica é caracterizado pelo início de dissolução dos carbonatos, em geral pelos seus contornos e planos de clivagem, liberando espaços onde aparece um material escuro, preto a castanho, eventualmente amarelo, em películas descontínuas que envolvem total ou parcialmente os cristais carbonáticos em vias de alteração e os invadem pelas aberturas dos planos de clivagem. Os cristais de carbonato, por serem muitas vezes zonados, podem apresentar uma dissolução preferencial na sua parte interna, deixando temporariamente a parte externa mais cálcica pouco afetada. Essas feições podem ser observadas em várias escalas, no campo e laboratório. Com a progressão da dissolução dos carbonatos, aquele material secundário passa a ocupar mais espaço, constituindo uma rede tridimensional descontínua, irregular, que, em corte, apresenta um padrão geométrico tipo dendrítico e sutilmente romboédrico. Esse material é constituído essencialmente por apatita e goethita, reconhecidos por DRX e análise química qualitativa pontual

ao EDS além de produtos malcristalizados com P, Ca, Fe, Mn e traços de Al, Ti, Si, Na, Ba e possivelmente TR; a goethita está sempre acompanhada por pequenas quantidades de Mn e traços de Ti.

Mais raramente, observam-se volumes onde o preenchimento das cavidades deixadas pela dissolução dos carbonatos se deu de maneira contínua, por apatita supérgena que quase se confunde com a matriz apatítica primária, não fosse a presença de linhas descontínuas de material ferruginoso em padrão romboédrico, que sublinha os limites da antiga cavidade de carbonato, feições estas observáveis ao MO.

A rocha como um todo pode permanecer dura, se houver apatita primária suficiente entre os carbonatos para manter o arcabouço após sua dissolução, o que é o caso dominante. Como são em geral idiomórficos, os carbonatos deixam, após sua desestabilização, cavidades romboédricas, que são indícios inequívocos da sua proveniência e do caráter isalterítico desse nível. Não havendo matriz apatítica abundante, o que é raro, os cristais de carbonato logo no início de alteração já tornam a rocha friável, descolando-se uns dos outros, e desmontando o arranjo original.

Assim, nas partes superiores desse nível, tem-se a rocha carbonatítica alterada, já desprovida de carbonatos e constituída por uma matriz apatítica resistente, com cavidades romboédricas total ou parcialmente preenchidas por material supérgeno descontínuo (goethita e apatita).

A herança da estrutura fluidal primária, com alternância de faixas que se distinguem pela granulometria e proporção relativa entre apatita e carbonato é evidente: a isalterita também se apresenta em faixas, de espessura centimétrica e decimétrica, alternando características diferenciáveis nas várias escalas de observação (figura 2):

- faixas claras predominantemente brancas a rosadas com menor quantidade de cavidades romboédricas (faixas originalmente mais ricas em apatita);

- faixas predominantemente escuras, pela grande quantidade de cavidades romboédricas parcial ou totalmente preenchidas pelo material secundário escuro (originalmente mais ricas em carbonatos);

- faixas brancas a rosadas com uma porosidade romboédrica que se destaca pelo tamanho das cavidades, chegando a 2 ou 3cm na sua maior dimensão.

No caso dos volumes de apatitito, observa-se que a percolação através da rocha promove um início de dissolução da apatita primária, formando cavidades irregulares com tendência a alongadas, orientadas geralmente conforme a estrutura fluidal; essas cavidades têm o mesmo preenchimento em redes irregulares dendríticas das cavidades romboédricas.

Magnetita permanece inalterada nesse nível, eventualmente com uma fina película de goethita acicular ao redor dos cristais, observada ao MEV com EDS. Flogopita, de ocorrência rara, encontra-se já totalmente pseudomorfizada por goethita e crandallita-gorceixita, não tendo sido observados estágios intermediários de sua evolução.

Os veios e bolsões primários de barita, de espessura centimétrica a decimétrica, com cristais tabulares milimétricos a centimétricos, permanecem intactos, podendo apresentar uma deposição de apatita em cristais finos perpendiculares às fases da barita, formando, no todo, uma película branca podendo apresentar aspecto botrioidal, de espessura submilimétrica, sobre o conjunto de cristais de barita.

Ainda nesse nível, nota-se a ocorrência razoavelmente freqüente de várias gerações de preenchimentos de fissuras irregulares por apatita supérgena, em películas sucessivas, de espessura submilimétrica a milimétrica, brancas, translúcidas, botrioidais e sucedidas ou não por precipitação de cristais submilimétricos a milimétricos, transparentes, vítreos, muito bem formados, com hábito em pirâmides ou prismas completamente achatados; esses cristais podem crescer uns sobre os outros, formando assembléias ou geodos que ocupam em grande parte o espaço das fissuras. Ocasionalmente aparecem nos difratogramas, picos de crandallita-gorceixita, que não foram reconhecidos ao MO, mas o foram ao MEV com EDS, em morfologia tetraédrica típica.

O nível intermediário

Esse nível é caracterizado pela dissolução parcial da apatita primária, mantendo ainda o caráter isalterítico, evidenciando as estruturas litológicas primárias e, em menor escala, as texturas petrográficas, diminuindo a densidade aparente. O material continua resistente mas tem um aspecto bem mais poroso e escurecido. A porosidade aqui é representada por cavidades irregulares alongadas milimétricas a centimétricas, que se formam no interior da massa apatítica primária (como para os volumes de apatitito) e também pelas cavidades romboédricas, que começam a apresentar deformações pela dissolução da matriz apatítica primária que as delimitam. Os dois tipos de cavidades apresentam o preenchimento descontínuo em rede romboédrica sutil (cujos planos parcialmente deformados mostram um padrão dendrítico) ou irregular de goethita e apatita já descrito.

Magnetita e flogopita conservam as características do nível anterior.

A barita permanece em geral sã, mas localmente ocorrem moldes de apatita secundária evidenciando a presença anterior de cristais tabulares que foram desestabilizados.

São menos freqüentes, nesse nível, os preenchimentos de poros e fissuras por apatita secundária bem cristalizada, como os do nível inferior.

O nível intermediário mostra, portanto, a dissolução tardia e lenta da apatita primária, contribuindo para a acumulação absoluta de Ca^{++} e PO_4^- verificada nos níveis mais inferiores.

Os Fosfatos no Perfil de Alteração

Apatita

A apatita primária, essencialmente fluorapatita em ripas hexagonais, que pode apresentar-se com uma coroa de carbonato -apatita de origem endógena, caracteriza-se pela resistência à alteração, dissolvendo-se lentamente nas partes intermediárias do perfil, mas mantendo-se em grande parte intacta, a ponto de sustentar o arcabouço isalterítico. Sua dissolução lenta e tardia fornece material para a precipitação de fosfatos secundários, o que é evidenciado pelas várias gerações de apatita secundária observadas nos depósitos fissurais. Uma análise preliminar em catodo-luminescência mostrou diferentes cores para a apatita primária e as apatitas secundárias, indicando diferenças no conteúdo em elementos-traço, ainda não completamente esclarecidas.

As apatitas supérgenas ocorrem ao longo de toda a isalteria:

- nas cavidades romboédricas ou alongadas irregulares, em cristais submilimétricos ripiformes vítreos associados a produtos ferruginosos (goethita e outros malcristalizados);
- nas fissuras transminerais, como depósitos sucessivos de cristais perpendiculares às paredes, com aspecto fibroso em corte e mamelonar em superfície, geralmente brancos translúcidos, com brilho perláceo;
- sobre os depósitos acima ou diretamente sobre a matriz apatítica primária, como cristais vítreos, muito bem formados, em prismas ou pirâmides achatados, milimétricos, isolados ou em assembléias tipo geodos ou aglomerados até centimétricos.

Fosfatos de alumínio

Os fosfatos da família da crandallita citados anteriormente têm composição próxima ao pólo gorceixita (com bário), mas com traços de estrôncio e de terras raras, dentro, portanto, da solução sólida gorceixita-goyazita-florencita, segundo indicaram as análises pontuais qualitativas por EDS em MEV.

Esses fosfatos, detectados também por DRX e ATD, ocorrem em maior escala no nível alotérfico, junto com caolinita e goethita, imersos na massa argiloferruginosa e não distinguíveis ao MO; ocorrem também na isalterita, onde as análises ao MEV os evidenciaram.

Outros Minerais Secundários

O único composto supérgeno de ferro evidenciado nas determinações mineralógicas foi a goethita; os espectros EDS a MEV mostram que sempre há uma certa quantidade de Mn associado, e frequentemente traços de Ti. Ocorre principalmente na aloterita, associada à caolinita e aos fosfatos de alumínio, mas também na isalterita, desde o início da dissolução dos carbonatos, nos primeiros produtos secundários que se instalam nos espaços liberados.

A caolinita ocorre somente na aloterita, compondo a matriz castanha a castanho-avermelhada que contém os nódulos ferruginosos com fosfatos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manto de alteração isalterítica sobre as rochas alcalino-carbonatíficas de Juquiá mostra de maneira evidente a sua origem, indicando as variações texturais e mineralógicas, no caso da porção estudada, proveniente do carbonatito. Também evidencia os limites desse tipo litológico, bem como a existência de xenólitos das alcalinas silicáticas dentro do corpo carbonatítico.

Do ponto de vista mineralógico, a isalterita mostra uma evolução simples, com dissolução congruente dos minerais primários mais instáveis no meio supérgeno (dolomita) e alteração mais lenta da apatita primária, havendo reciclagem (ciclos de dissolução e reprecipitação dos fosfatos "in situ" ou após transferência mais ou menos longa, ainda dentro da alterita considerada. Os carbonatos podem sofrer uma fase transitória e restrita de acumulação absoluta na base dos perfis, como calcita.

Alguns dos minerais primários acessórios também tiveram sua evolução reconhecida. Magnetita e flogopita alteram-se respectivamente por dissolução e oxidação progressiva, e pseudomorfização por goethita e fosfatos secundários. A barita, presente em veios e bolsões, apresenta uma grande resistência à alteração, sendo encontrada intacta até nos níveis superiores da isalterita; localmente, contudo, observam-se sinais de sua dissolução total, provavelmente em meios particularmente desfavoráveis à sua conservação (figura 2).

Essa evolução mineralógica corresponde à seguinte evolução geoquímica (figura 2):

- Mg^{2+} , Ca^{2+} e HCO_3 são liberados pela dissolução congruente da dolomita; Mg^{2+} é totalmente lixiviado, enquanto que Ca^{2+} e HCO_3 podem ser transitoriamente retidos na base do perfil (acumulações absolutas de calcita); o Ca^{2+} disponível no perfil pode, ainda, contribuir para a formação dos fosfatos secundários;

- Ca^{2+} e PO_4^{3-} sofrem vários ciclos de precipitação e dissolução a partir da apatita primária, formando as apatitas supérgenas, resultando em acumulações absolutas nas porções inferiores.

- Fe^{3+} , que forma a goethita encontrada nas cavidades e nas pseudomorfoses de flogopita, é proveniente parcialmente dos minerais opacos, representando acumulações absolutas;

- para formar a gorceixita das pseudomorfoses de flogopita, além de PO_4^{3-} , abundante no perfil, Ba^{2+} deve ter-se originado a partir da leve desestabilização da barita; a fonte de Al^{3+} deve ser creditada à própria flogopita, pelo menos parcialmente;

- os elementos-traço verificados em algumas análises EDS sobre os minerais secundários foram certamente liberados a partir de minerais acessórios ainda não estudados ou dos próprios minerais essenciais.

Com relação à parte superior do perfil, aloterítica, constata-se uma morfologia, composição mineralógica e química incompatíveis com uma evolução simples da isalterita, caracterizando uma descontinuidade entre os dois níveis principais. Al, Fe e principalmente Si são encontrados em quantidades não facilmente explicáveis a partir da evolução dos carbonatitos. É possível que o material que constitui a aloterita seja proveniente da alteração das rochas alcalino-silicáticas que ocorrem na parte norte do morro do Serrote e que se estendiam em direção ao sul sobre os carbonatitos. O prosseguimento dos trabalhos na aloterita e na zona de descontinuidade que a separa da isalterita poderá confirmar ou não essa hipótese.

A figura 2 ilustra o perfil típico simplificado da alteração no local, com a mineralogia primária e secundária presente segundo os níveis de alteração; o comportamento dos elementos químicos principais, conforme evidenciado pelos estudos realizados, pode ser correlacionado, na figura, às desestabilizações dos minerais primários e aparecimento dos minerais secundários.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP e CNPq pelo suporte financeiro; à SOCAL Mineração S.A. pelo acesso à área; e à CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) pelo convênio que possibilitou as análises ao MEV com EDS, orientadas pelo geólogo Bruno F. Riffel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. 1967. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta* 31(1):117-142.
- BOCQUIER, G.; MULLER, J.P.; BOULANGÉ, B. 1984. Les laterites. *Connaissances et perspectives actuelles sur les mécanismes*

- de leur differentiation. In: A.F.E.S. Livre Jubilaire du Cinquentaire, pp.123-140.
- BORN, H. 1971. O complexo alcalino de Jiquiá, São Paulo. Universidade de São Paulo. 200p. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - USP.
- FLICOTEAUX, R. & LUCAS, J. 1984. Weatering of phosphate minerals. In: Nriagu, J. (ed.) Phosphate Minerals, Berlin. Springer Verlag, p.292-317.
- KAHN, H. 1988. Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do maciço alcalino de Anitápolis, SC. São Paulo, Universidade de São Paulo, 219p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP.
- LUCAS, J.; FLICOTEAUX, R.; NATHANY, Y.; PRÉVÔT, L.; SHAHAR, Y. 1980. Different aspects of phosphorite weathering. *Sepm. Special Public.* 29:41-51.
- MACCIOTTA, G.; BARBIERI, M; BECCALUVA, L.; BORN, H.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MORDIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIENA, F.; TRAVERSA, G. 1988. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. The Jiquiá intrusive alkaline-carbonatite complex state of São Paulo. In: International conference "Geochemical evolution of the continental crust", Poços de Caldas, 1988. Abstracts. Poços de Caldas, p. 92-97.
- THE BRITISH SULPHUR CORPORATION LIMITED. 1980. World survey of phosphate deposits. London, 237p.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. 1981. Alkaline rocks from Brazil. *Earth Science Reviews*, 17:135-154.
- VIELLARD, Ph.; TARDY, Y.; NAHON, D. 1979. Stability fields of clays and aluminum phosphates: Parageneses in lateritic weathering of argillaceous phosphatic sediments. *Am. Miner.*, 64:626-634.
- ZANIN, YU.N. 1968. Zones of lateritic weathering of secondary phosphorites of Altay-Sayan region. *Internat. Geology Rev.* 10(10):1119-1127.

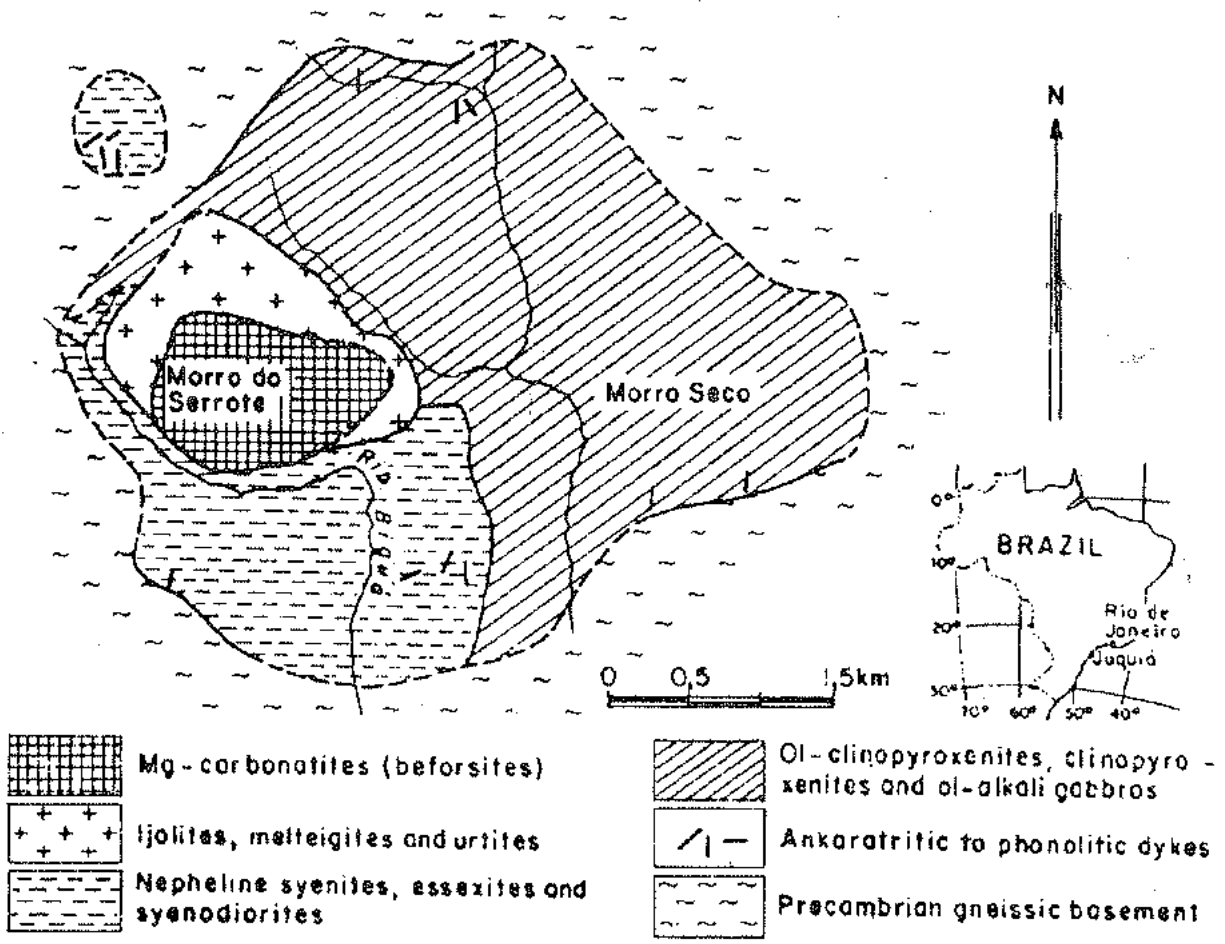


Fig. 1 - Mapa geológico do complexo alcalino-carbonatítico de Juquiá (SP) (conforme Macciotta et alii, 1988, modificado de Born, 1971).

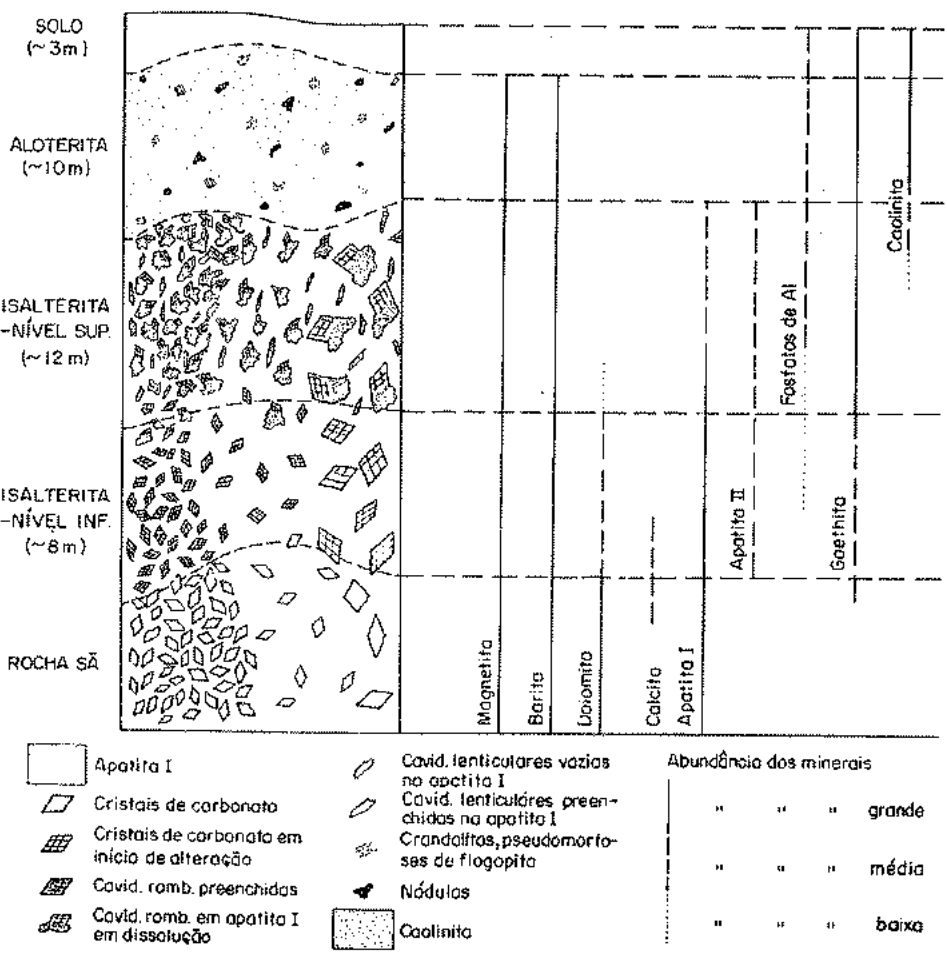


Fig. 2 - Perfil morfológico típico e evolução mineralógica da alterita sobre carbonatito em Juquiá.