



REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMBROSI, J. P. & NAHON, D. (1986) Petrological and geochemical differentiation of lateritic iron crust profiles. *Chem. Geol.*, 57: 371-393.
- AMBROSI, J. P.; NAHON, D.; HERBILLON, A. J. (1986) The epigenic replacement of kaolinite by hematite in laterite-petrographic evidence and the mechanisms involved. *Geoderma*, 37:283-294.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. (1985) Handbook for soil thin section description. ISSS, Waine Research publications, England, 152p.
- NAHON, D. (1991) Introduction to the petrology of soil and chemical weathering. John Wiley & Sons, New York, 313p.
- TARDY, Y. (1993) *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson ed., Paris, 451p.

ASPECTOS CRISTALOQUÍMICOS, MINERALÓGICOS E TECNOLÓGICOS DAS APATITAS DE TAPIRA (MG)

C.N. SANTOS¹; V.C. FERRARI²; M.C.M. TOLEDO³; H. KAHN⁴

1. cnogueir@usp.br - Mestrado, IG-USP;

2. vferrari@usp.br - Doutorado, IG-USP e Un. Paul Sabatier (França)

3. mcristol@usp.br - Dep. de Geologia Sedimentar e Ambiental, IGc e NUPEGEL-USP;

4. henrkahn@usp.br - Lab. de Caracterização Tecnológica - Dep. Eng. Minas - EPUF.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Parcela expressiva dos minérios fosfáticos brasileiros estão associados a mantos de alteração laterítica sobre complexos alcalino-carbonatíticos, com mineralogia complexa, baixo grau de uniformidade e conteúdos de apatita usualmente entre 20 e 40% em peso. Seu beneficiamento é difícil e oneroso, necessitando rígidos controles nas frentes de lavra e utilização de operações de fragmentação controladas aliadas à concentração por flotação aniônica em circuitos bastante complexos (Kahn, 1988).

Mesmo assim, ocorrem grandes perdas de fósforo durante o processo de beneficiamento. O conhecimento detalhado de todas as características do minério pode levar a aprimoramentos no processo de concentração, contribuindo para o melhor aproveitamento de nossas reservas fosfáticas e para o desenvolvimento sustentado.

Além dos minerais de ganga, a natureza físico-química e cristalográfica da apatita, tal como hábito, cristalinidade, recobrimento superficial, granulometria, cela unitária, associação mineral e vínculo com o perfil de intemperismo, também apresentam interferências no processo de flotação.

Os estudos de caracterização tecnológica, que visam à previsão e otimização do comportamento dos minerais durante os processos industriais, são efetuados, via de regra, de forma desvinculada dos estudos acadêmicos, constituídos normalmente por maior quantidade de amostras e por análises mais localizadas e individualizadas das várias fases eventualmente presentes. Este foi o objetivo principal desta pesquisa (Santos, 1998), qual seja, integrar o estudo mineralógico, micromorfológico e cristaloquímico das apatitas de Tapira e seus produtos de alteração, com o estudo sobre amostras coletadas na usina, em diversas etapas do processo industrial.

Na primeira parte foi dado um enfoque à caracterização das fases fosfatadas primárias e se-

cundárias e sua evolução e distribuição no perfil de alteração. A segunda parte foi consagrada ao estudo de amostras de diferentes etapas do circuito de beneficiamento e aos ensaios de caracterização tecnológica.

CARACTERÍSTICAS DA APATITA NO PERFIL DE ALTERAÇÃO

O estudo mineralógico de amostras provenientes de perfis de alteração, desenvolvidos principalmente sobre silexitos e piroxenitos, cortados por carbonatitos, revelou a presença de três tipos de apatita: apatita primária (que apresenta-se *sã* ou intemperizada), apatita pré-meteórica (tardimagnética ou hidrotermal) e apatita meteórica ou supérgena.

Os tipos estudados apresentam características micromorfológicas distintas: a apatita primária forma, em geral, cristais anhedrais de dimensões milimétricas com inclusões fluidas, e mais raramente, cristais prismáticos. A apatita pré-meteórica localiza-se normalmente entre os cristais de apatita primária *sã*, é prismática e forma uma textura fina em mosaico. As apatitas supérgenas formam botríoides de cristais criptocristalinos ou fibrosos localizados nos espaços intercristalinos de materiais da base do perfil de alteração. Nos materiais alterados estudados as apatitas primárias apresentaram fraturamento e desenvolvimento de porosidade, por vezes revestida por apatitas supérgenas, fosfatos da série da crandallita ou fosfatos de terras-raras como o rhabdofânio e a monazita.

As apatitas de amostras representativas de diferentes materiais encontrados na frente de lavra foram analisadas por microsonda eletrônica e microespectrometria Raman, tendo sido os dados obtidos utilizados para os cálculos das fórmulas estruturais na base 10 cátions, obtendo-se os teores em OH⁻ por diferença. As diferenças de composição ob-

servadas entre as apatitas primárias, sobretudo nos constituintes catiônicos, refletem o tipo litológico onde são encontradas, sendo as apatitas de piroxenitos as mais ricas em cátions substituintes do cálcio (ETR, Na e Sr principalmente). Foram detectadas pequenas variações no quimismo das apatitas primárias, com o intemperismo.

As apatitas pré-meteoríticas apresentam maior riqueza no sítio catiônico do que as apatitas primárias. As apatitas supérgenas são mais ricas em CO_3^{2-} e em F e mais pobres em cátions substituintes do sítio do cálcio quando comparadas aos outros tipos de apatita (Figura 1 e Tabela 1). As fórmulas estruturais obtidas a partir dos dados de microsonda eletrônica revelaram que todas as apatitas primárias

e pré-meteoríticas são do tipo hidroxifluorapatita levemente carbonatadas. Os valores dos índices de OH das apatitas supérgenas são os mais baixos, permitindo supor que sua composição é mais próxima de uma fluorapatita.

As apatitas primárias de amostras correspondentes a diferentes estádios de alteração foram analisadas em difratometria de raios x e pôde-se verificar que, apesar das diferenças composicionais citadas, essas apatitas apresentam aproximadamente a mesma estrutura que as apatitas primárias e pré-meteoríticas, com parâmetros cristalográficos a (entre 9,396 e 9,405 Å) e c (entre 6,887 e 6,891 Å) próximos aos da hidroxiapatita (JCPDS 9-432, a=9,418 Å e c=6,8841 Å).

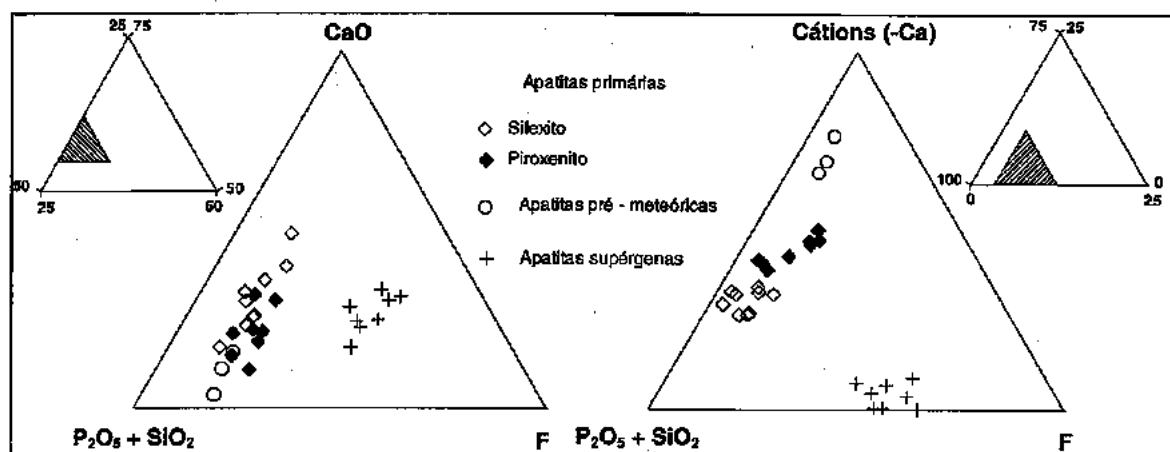


Fig. 1 - Diagramas composicionais das apatitas obtidos a partir de dados de microsonda eletrônica.

Tabela 1: Fórmulas estruturais calculadas das apatitas.

Apatitas primárias													
a) Piroxenito													
Ca	9.79	Na	0.02	Fe	0.02	Sr	0.15	(PO ₄)	5.77	(SiO ₄)	0.11	(CO ₃)	0.12 (F 1.13 OH 0.99)
Ca	9.79	Na	0.05	Mn	0.02	Sr	0.13	(PO ₄)	5.64	(SiO ₄)	0.12	(CO ₃)	0.23 (F 1.00 OH 1.23)
Ca	9.82	Na	0.05			Sr	0.10	(PO ₄)	5.56	(SiO ₄)	0.13	(CO ₃)	0.31 (F 0.87 OH 1.44)
b) Silexito													
Ca	9.84	Na	0.08	Sr	0.08	(PO ₄)	5.79	(SiO ₄)	0.11	(CO ₃)	0.10	(F 0.82 OH 1.28)	
Ca	9.86	Na	0.04	Sr	0.07	(PO ₄)	5.59	(SiO ₄)	0.07	(CO ₃)	0.34	(F 0.88 OH 1.45)	
Ca	9.83	Na	0.04	Sr	0.08	(PO ₄)	5.73	(SiO ₄)	0.06	(CO ₃)	0.22	(F 0.93 OH 1.29)	
Apatitas Pré - meteoríticas													
Ca	9.64	Na	0.17	Sr	0.10	La	0.02	Ce	0.06	(PO ₄)	5.90	(CO ₃)	0.09 (F 0.96 OH 1.13)
Ca	9.67	Na	0.14	Sr	0.10	La	0.02	Ce	0.05	(PO ₄)	5.77	(CO ₃)	0.22 (F 0.93 OH 1.29)
Ca	9.64	Na	0.14	Sr	0.11	La	0.03	Ce	0.06	(PO ₄)	5.82	(CO ₃)	0.18 (F 0.91 OH 1.27)
Apatitas supérgenas													
Ca	9.98			(PO ₄)	5.89	(CO ₃)	0.30	(F 1.84 OH 0.46)					
Ca	9.95			(PO ₄)	5.55	(CO ₃)	0.38	(F 1.77 OH 0.61)					
Ca	9.99			(PO ₄)	5.48	(CO ₃)	0.49	(F 1.93 OH 0.55)					

CARACTERÍSTICAS DA APATITA NO CIRCUITO INDUSTRIAL

Através da espectrometria de fluorescência de raios x verificou-se as diferenças nos teores de P_2O_5 em cada etapa da usina, que estava processando o minério da pilha 739. As amostras representativas da alimentação apresentaram teores da ordem de 9%, os rejeitos por volta de 3% e os concentrados, aproximadamente 35% de P_2O_5 .

Em laboratório, a concentração de apatita seguiu as etapas de peneiramento via úmida, em 400# (0,037mm), meio denso com tetra-bromo-etano (2,95g/cm³) da fração acima de 0,037mm e separação magnética (em Frantz) do afundado do meio denso.

Os teores ponderados nas diferentes frações granulométricas e produtos de separações minerais mostraram uma boa correlação com a recuperação real de P_2O_5 no circuito industrial. Esses resultados



mostram uma recuperação global calculada de 62,9% de P_2O_5 no concentrado final da pilha 739. Na usina, a recuperação final da mesma pilha foi de 60,2% de P_2O_5 .

Utilizando microscopia óptica e eletrônica de varredura sobre amostras de concentrados e rejeitos, tanto obtidos em laboratório como coletados na usina, verificou-se que os grãos mais alterados, fraturados, recobertos e impregnados por produtos secundários estavam presentes em maiores quantidades nos rejeitos.

Análises por catodoluminescência foram realizadas visando avaliar quantitativamente as diferentes variedades de apatita e o seu comportamento frente ao processo industrial, em um trabalho até então inédito no país. As características das apatitas estudadas levaram em consideração as apatitas primárias (luminescência violeta-azulada), as apatitas secundárias (luminescência rosa-alaranjada) e os diferentes graus de mistura entre essas duas fases (apatitas mistas).

De maneira geral, as apatitas dos concentrados, são principalmente aquelas com luminescência violeta, ou seja, as primárias são livres, sem alterações, e as dos rejeitos, principalmente as mistas (são alteradas e secundárias) e as rosadas (secundárias).

Esses dados mostraram a importância da natureza das apatitas durante o processo de flotação. As apatitas primárias livres flutam melhor que as apatitas secundárias e que as apatitas mistas.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A natureza das apatitas presentes no minério depende diretamente do grau de alteração intempérica da rocha, ou seja, quanto mais alterada a rocha, maiores são os problemas de rugosidade, de irregularidades morfológicas, de heterogeneidades causadas por dissolução incongruente, de recobrimento superficial e impregnação das descontinuidades e também maior a presença de fosfatos supérgenos (apatíticos e não apatíticos) e outros produtos que podem prejudicar o processo de flotação. As apatitas primárias livres de modificações típicas do intemperismo laterítico têm flotação mais eficiente que as secundárias e que aquelas recobertas e impregnadas por produtos secundários em geral. No entanto, é comum que as rochas mais enriquecidas em P_2O_5 sejam as mais alteradas, já que os processos intempéricos causam geralmente enriquecimento relativo em apatita. Em menor proporção, as apatitas de alteração pré-meteórica também apresentam características distintas das primárias, estas mais ajustadas aos processos industriais.

Assim, de acordo com Toledo *et al.* (1999),

verifica-se que a alteração intempérica tem um papel duplo na formação da jazida; se, por um lado, enriquece o material em P_2O_5 , pela perda de outros compostos por lixiviação, por outro lado, prejudica a qualidade do minério, imprimindo aos grãos apatíticos uma série de modificações indesejáveis, do ponto de vista do beneficiamento, além de terminar por reciclar o fósforo presente nas apatitas, formando fosfatos aluminosos não aproveitáveis.

Neste trabalho, a observação de amostras naturais indeformadas e as análises pontuais sobre elas efetuadas permitiram reconhecer várias feições relacionadas às características de superfície dos grãos de apatita e correlacioná-las principalmente com os diferentes graus de alteração dos materiais lavrados. Por outro lado, o estudo das amostras coletadas na usina permitiu a correlação das características antes citadas com as das apatitas predominantemente concentradas e rejeitadas durante as etapas do processo de beneficiamento.

Em síntese, apatitas primárias livres de modificações típicas do intemperismo laterítico flutam mais facilmente do que as variedades secundárias e aquelas recobertas e impregnadas por produtos secundários em geral.

Além disso, verificou-se que tanto a separação magnética quanto o estudo das propriedades de catodoluminescência correspondem a técnicas eficientes na separação/caracterização das variedades de apatita e seu comportamento diferencial no processo de concentração. Ambas as técnicas retratam resultados decorrentes de processos supergênicos com implicações negativas no beneficiamento mineral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (processos 95/6685-5, 95/05690-5 e 98/04077-6), à CAPES (processo BEX1705/96-2), ao acordo CAPES-COFECUB (169/95) e à FOSFÉRTIL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KAHN, H. (1988) Caracterização mineralógica e tecnológica da jazida de fosfato do Maciço de Anitápolis, SC. Diss. Mestr., IGc - USP, 219 p., São Paulo.
- TOLEDO, M.C.M. de, FERRARI, V.C., SANTOS, C. N. dos, ALCOVER NETO, A., PARSEVAL, P. de, FONTAN, F.; RIBEIRO, C.C. (1999) "Lateritic weathering effects over phosphatic brazilian ores: Catalão I and Juquiá (Brasil)". 19th International Geochemical Exploration Symposium, Vancouver (Canadá), Abstracts Volume, p. 142-143.
- SANTOS, C.N. dos (1998) Estudo mineralógico e micromorfológico das apatitas de Tapira (MG) - Correlação com o processo de beneficiamento. Trab. de Formatura, IGc-USP.