

## CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ELEMENTOS TERRAS RARAS EM APATITAS

C.V. Dutra<sup>1</sup>, M.L.L. Formoso<sup>2</sup>

1. Geosol, Geologia e Sondagens Ltda., MG

2. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Poa, RS

## ABSTRACT

Twenty five samples of apatites were analyzed for the rare earth elements: six of pegmatites; twelve associated to carbonatites (and alkaline rocks); three of sediments or sedimentary rocks; three of sedimentary rocks with advanced diagenesis or low-grade metamorphism; one sample of apatite associated to martite and also one sample of gorceixite (secondary phosphate originated by the weathering of apatites). The highest REE values are found in apatites associated to carbonatites in Angico dos Dias, Catalão and Araxá. These rocks are very rich in REE. The apatite of Durango (México) has more than 9.000 ppm ETR. The apatites of sedimentary rocks show lower values of  $\Sigma$ REE. The apatites of pegmatites have 800 to 1800 ppm of  $\Sigma$ REE.

The apatites generally exhibit a REE normalized pattern with negative slope evidencing the LREE enrichment. The highest La/Yb are found in apatites of carbonatites. In sedimentary rocks they are lower. The apatite of Itataia (CE, Brazil) has La/Yb equal to 0,54. The negative anomalies of Eu are very conspicuous in pegmatites. Also apatites of sedimentary rocks show negative anomalies of europium. Typical negative anomalies of cerium, found generally in sea water, are present in the sedimentary apatites of Igarassu (PE, Brazil) and Florida (USA).

The ratios CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> of the studied apatites are between 1,24 and 1,47, with rare exceptions. Strontium and barium are higher in apatites of carbonatites. Niobium is quite important in the apatites of Catalão and Araxá. The ratio Th/U is higher in apatites of pegmatites and lower in sedimentary apatites.

More analytical data, as well as more detailed studies, concerning the order of crystallization of apatites in pegmatites and igneous rocks are necessary.

## RESUMO

Vinte e cinco amostras de apatitas, compreendendo seis de pegmatitos, doze associadas a carbonatitos (e rochas alcalinas), três de sedimentos ou rochas sedimentares, três de rochas sedimentares com diagênese avançada ou metamorfismo de baixo grau, uma amostra de apatita associada a martita (Durango, México) e, também, uma amostra de gorceixita (fosfato secundário oriundo da alteração da apatita) foram analisadas para os elementos terras raras (ETR). Os valores mais elevados são encontrados em apatitas associadas a carbonatitos e, em especial, em Angico dos Dias, em Araxá e em Catalão, em rochas ricas em ETR. A apatita de Durango (México) contém mais de 9.000 ppm de ETR. As apatitas de origem sedimentar possuem  $\Sigma$ ETR mais baixo. Nas apatitas de pegmatitos, os teores variam de 800 a 1.800 ppm. As apatitas mostram, em geral, curvas de abundância de ETR normalizados com inclinação negativa, ou seja, com enriquecimento em ETRL. As maiores razões La/Yb são encontradas nas apatitas de carbonatitos. Nas apatitas de rochas sedimentares, as razões La/Yb são mais baixas. Na apatita de Itataia, CE-Brasil, La/Yb é 0,54. As anomalias negativas de Eu são muito características nos pegmatitos. Também as apatitas sedimentares (fosforitos) apresentam anomalia negativa de európio. Anomalias negativas de cério, típicas de ambiente marinho, aparecem nas apatitas sedimentares de Igarassu (PE, Brasil) e Florida (EUA). No que concerne a outros elementos, as apatitas estudadas têm geralmente a razão CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 1,24 e 1,47, com poucas exceções. O estrôncio e o bário têm teores mais elevados em apatitas de carbonatitos. O nióbio é importante nas apatitas de Catalão e Araxá. A razão Th/U é alta nas apatitas de pegmatitos e baixa nas apatitas sedimentares.

São necessários mais dados analíticos relativos a apatitas, como também estudos mais detalhados concernentes à ordem de cristalização das apatitas em rochas ígneas e pegmatitos.

## INTRODUÇÃO

As apatitas apresentam a fórmula geral  $M_{10}(YO_4)_6X_2$ , em que:

M=Ca<sup>2+</sup>, com substituições possíveis por Na<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Sc<sup>3+</sup>, ETR<sup>3+</sup> (0,85 a 1,2A<sup>0</sup>);  
Y=P, com substituições possíveis por

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, VO<sub>4</sub><sup>3-</sup>;  
X=F<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>.

As posições M de Ca<sup>2+</sup> não são todas equivalentes, tendo coordenação 9 e 7 a 8. Seis Ca<sup>2+</sup> apresentam coordenação 7 a 8 e quatro,

coordenação 9 (Burt, 1989). Os teores de ETR variam desde alguns décimos até quase 20%. Em apatitas, o maior conteúdo de ETR (Roeder et al, 1987) é de 19,2% (expressos em ETRO) no Complexo Granítico Perálcalino de Pajarito, N. México, USA. Apatitas com teores superiores a 16,0% (ETRO) foram descritas em Ilmaussaq, Groenlândia (Rönsbo, 1989).

No Brasil, os maiores teores de ETR são encontrados em apatitas associadas a carbonatitos. Nesses complexos, as mesmas são, inclusive, mineradas em Araxá e Tapira (MG), em Catalão I (GO) e Jacupiranga (SP). Grandes reservas de apatita também ocorrem em Salitre e Serra Negra (MG), Anitápolis (SC), Angico dos Dias (BA) e Maicuru (PA) (Mariano, 1989).

As apatitas dos carbonatitos mostram enriquecimento importante de ETRL (elementos terras raras leves), enquanto, em algumas apatitas de pegmatitos graníticos, o enriquecimento de ETRL não é tão nítido ou mesmo inexistente.

Vinte e seis amostras, compreendendo seis de pegmatitos graníticos, doze associadas a carbonatitos (e rochas alcalinas), três de sedimentos ou rochas sedimentares, três de rochas sedimentares com diagênese avançada (ou mesmo metamorfismo de baixo grau), uma amostra de apatita associada a óxidos de ferro (Durango, México) e uma de gorceixita (fosfato secundário oriundo da alteração da apatita) foram analisadas. O objetivo deste trabalho é comparar o conteúdo total e parâmetros de ETR em apatitas de pegmatitos, de rochas alcalinas e carbonatitos, rochas sedimentares e, ainda, rochas sedimentares com diagênese avançada.

São apresentados também os parâmetros  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ ,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ ,  $\text{La}/\text{Yb}$ ,  $\text{Gd}/\text{Yb}$ ,  $\Sigma\text{ETRL}/\Sigma\text{ETRP}$  e  $\Sigma\text{ETR}$ . Os parâmetros  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ ,  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$ ,  $\text{La}/\text{Yb}$  e  $\text{Gd}/\text{Yb}$  referem-se aos valores já normalizados.

## MÉTODOS ANALÍTICOS

O método analítico adotado foi aquele utilizado por Dutra (1984, 1989). Determina doze ETR, com pré-concentração em resina trocadora de íons, utilizando ICP (Plasma de acoplamento indutivo). Os valores de ETR foram normalizados em relação a condritos, segundo Evensen et al. (1978).

As amostras foram solubilizadas apenas com HCl concentrado a quente, pois a finalidade era não dissolver outros minerais, mas apenas os fosfatos.

As amostras provenientes de pegmatitos (monocristal) e as amostras oriundas de carbonatito apresentam sempre fácil solubilização, não resultando delas nenhum resíduo insolúvel. Entretanto, em amostras de apatitas sedimentares e metamórficas, apesar de serem adotados os mais diversos processos de purificação (tais como líquidos densos e separador Franz), foi notado sempre o aparecimento de algum tipo de "resíduo insolúvel" que foi desprezado. O resíduo insolúvel é comumente constituído por silicatos, minerais de titânio e minerais de bário. No caso da gorceixita de Araxá, o resíduo contém nióbio. O CaO e o  $\text{P}_2\text{O}_5$  foram determinados por fluorescência de raios X, de maneira a poder avaliar o real teor de apatita no caso dos concentrados. Também Sr, Ba, Th, Y, Nb e Cl foram determinados por fluorescência de raios X; U, por fluorimetria, e F, por eletrodo de íon especial.

## CARACTERIZAÇÃO DAS APATITAS ESTUDADAS

O conteúdo de ETR das apatitas é apresentado na Tabela 1 e os parâmetros relativos aos ETR, na Tabela 2.

### Durango, México

Em consequência da cor amarela, da transparência e da forma cristalina perfeita das suas apatitas, Durango é uma das ocorrências de apatita mais bem estudadas no mundo. Constitui, dada a sua pureza, um fosfato padrão analítico do United States Geological Survey (USGS).

A apatita de Durango é associada a óxidos de ferro (magnetita, hematita e martita). Apatitas dessa associação com minério de ferro podem conter mais de 1% de ETR (Young et al., 1969). Seus cristais ocorrem em fissuras ou cavidades na martita, mas também são observados intercrescimentos de óxido de ferro/apatita. Crandalita é também descrita como produto de alteração dos fosfatos primários. Segundo os autores mencionados acima, os óxidos de ferro não contêm ETR, concentrando-se, estes elementos, na apatita.

A apatita de Durango (amostra 30 nas Tabelas 1 e 2) apresenta importante anomalia negativa de európio (provavelmente herdada) e não apresenta anomalia de cério. A razão  $\text{La}/\text{Yb}$  é de 59,4, mostrando a alta dominância de ETRL sobre ETRP. A razão  $\text{Gd}/\text{Yb}$  de 2,89

Tabela 1 - Valores de ETR (ppm) das apatitas estudadas.

OUTROS ELEMENTOS MENORES									
APATITAS DE CARBONATITOS BRASILEIROS									
P2O5	CaO	Sr	Ba	U	Th	Y	Nb	Cl	F
%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
42,8	53,4	4950	340	L 15	47	210	210	21	-
36	46,6	4800	38500	L 15	100	360	260	L 20	-
	-	7500	10000	L 15	47	360	160	60	-
41,8	54,1	5730	82	L 15	L 15	200	L 10	140	-
41,8	54,1	5730	82	L 15	L 15	200	L 10	140	-
36,7	53,3	3100	400	L 15	L 15	72	L 10	40	4900
42,9	54,8	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39,3	53,2	7690	790	L 15	L 15	190	L 10	300	-
39,5	50,4	8290	110	L 15	L 15	210	L 10	360	-
42,1	52,6	6000	5100	L 15	L 15	130	55	57	11000
23,4	0,87	18600	171100	L 15	L 15	76	430	L 20	-
APATITAS DE PEGMATITOS									
39,3	54	410	L 20	140	1300	690	L 10	86	22000
48,8	53,2	220	L 20	22	300	72	L 10	820	-
41,2	52,5	310	49	24	630	98	L 10	950	21000
41,7	55,2	220	L 20	23	700	110	L 10	1490	15100
-	-	340	L 20	L 15	160	560	160	6000	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
APATITAS SEDIMENTARES									
35,6	49,2	100	80	261	17	560	L 10	45	-
34,5	49,4	580	50	120	L 15	190	L 10	40	38000
31,2	39,7	2720	190	L 15	L 15	77	L 10	92	10000,0
26,7	37,5	140	150	L 15	L 15	12	L 10	26	19000
34,9	48,1	600	150	L 15	L 15	22	10	170	-
33,7	49,3	1850	27	1110	23	120	L 10	22	10000

revela que a curva de abundância de ETR suaviza-se bastante, dos ETR médios para os pesados (Fig. 1).

O teor total de ETR é de 9095 ppm ( $\approx 1\%$ ), levemente inferior, mas não conspiciamente, aos valores descritos na literatura (pouco maior que 1%, Young et al., 1969).

## I-B- Apatitas dos pegmatitos

### I-B-1- Pegmatito Limoeiro

O pegmatito Limoeiro (Virgem da Lapa, MG) tem como rochas encaixantes os quartzo-biotita xistos Macaúbas (Pré-cambriano) e é geneticamente relacionado com os granitóides Coronel Murta. Trata-se de um pegmatito zonado (Correia Neves et al., 1980) com cinco zonas: a) zona de borda, b) zona mural, c) zona intermediária, d) núcleo de quartzo e e) corpos de substituição. Os minerais principais são pertita, plagioclásio, quartzo, muscovita, biotita, schorlita e granada. A fluorapatita ocorre como acessório nos corpos de

substituição em que predominam cleavelandita, quartzo anédrico ou euédrico e muscovita de grão fino.

Em relação aos ETR (Fig. 1), a apatita (amostra 4) apresenta  $\Sigma\text{ETR}=306,9$ , valor baixo, mesmo para pegmatitos. A anomalia negativa de európio é importante (0,32) e não apresenta anomalia de cério.  $\text{La/Yb}$  é 1,53 e  $\Sigma\text{ETRL}/\Sigma\text{ETRP}$  é 2,35, mostrando (como também pode-se observar na Figura 1) que o padrão de distribuição de ETR encontra-se em uma linha quase paralela ao eixo das abcissas.  $\text{Gd/Yb}$  é 0,77, evidenciando que a curva de distribuição é levemente ascendente na direção dos ETRP.

O conteúdo mais baixo de ETR na apatita do pegmatito Limoeiro deve-se à sua cristalização tardia (nos corpos de substituição), com a provável utilização dos ETR por minerais de cristalização mais precoce. A anomalia negativa de Eu também pode ser explicada pela cristalização anterior de feldspatos. As baixas razões  $\text{La/Yb}$  e  $\text{Gd/Yb}$  (a primeira, pouco maior que um, e a segunda,

Tabela 2 - Parâmetros La/Yb, Gd/Yb, Eu/Eu\*, Ce/Ce\*,  $\Sigma$ ETR,  $\Sigma$ ETRL/ $\Sigma$ ETRP para as apatitas estudadas. (Todos os dados são normalizados em relação aos condritos) (Evensen, et al., 1978).

Número da amostra	La/Yb	Gd/Yb	Eu/Eu*	Ce/Ce*	$\Sigma$ ETR	$\Sigma$ ETRL/ETRP
1	22,8	3,99	0,45	1,20	1028	14,8
2	23,0	3,69	0,58	1,24	828	15,7
3	24,9	3,38	0,53	1,17	1154	16,7
4	1,53	0,76	0,32	1,00	307	2,35
5	47,2	4,44	0,51	1,24	1792	29,2
7	28,9	3,87	0,53	1,00	969	17,0
8	91,4	13,68	0,86	1,17	6347	23,36
9	50,9	7,46	0,95	1,03	5792	15,8
10	90,1	9,77	0,92	0,67	1448	17,8
11	98,2	17,45	0,91	0,89	1327	18,23
12	49,4	8,61	0,98	1,11	4843	16,9
13	57,6	6,28	0,99	0,75	1499	13,78
14	95,3	18,49	0,93	1,06	1345	18,0
15	66,7	14,31	0,91	1,16	1973	17,02
17	306	31,86	0,85	1,07	2706	36,3
18	187	27,59	0,85	1,00	7483	27,1
19	140	19,2	0,82	1,07	7483	27,2
20	344	28,17	0,79	0,54	5585	31,4
21	78,0	6,11	0,82	1,12	2737	30,5
22	11,97	2,75	0,51	0,94	279	8,33
24	8,78	1,5	0,71	1,03	91,7	8,81
25	10,68	1,76	0,69	0,59	1473	6,76
26	5,28	1,2	0,64	0,82	323,5	5,31
27	10,29	1,39	0,67	0,45	352	6,80
29	0,54	0,29	0,57	1,09	209,8	1,74
30	59,4	2,89	0,35	1,09	9095	25,9

Análise de amostras de apatita

N.º 01- Pegmatito camisão, BA.  
 N.º 02- Pegmatito Monteiro, PB.  
 N.º 03- Pegmatito Itambé, BA.  
 N.º 04- Pegmatito Limoeiro, MG.  
 N.º 05- Pegmatito Capim Grosso, BA.  
 N.º 07- Pegmatito Itambé, BA.  
 N.º 08- Apatita Cristalina, Araxá, MG.  
 N.º 09- Apatita Microcristalina, Araxá, MG.  
 N.º 10- Apatita - Carbonatito, Tapira, MG.  
 N.º 11- Apatita, Jacupiranga, SP - Padrão IPT.  
 N.º 12- Apatita - Decomposta, Araxá, MG.  
 N.º 13- Apatita - Fوسفertil, Tapira, Araxá, MG.  
 N.º 14- Rocha Fosfática, Jacupiranga, SP - Padrão IPT.

N.º 15- Apatita - Carbonato Dolomítico, Jacupiranga, SP.  
 N.º 17- Rocha Carbonatito, Angico dos Dias, BA.  
 N.º 18- Apatita, Angico dos Dias, BA.  
 N.º 19- Apatita, Angico dos Dias, BA.  
 N.º 20- Apatita, Catalão, GO.  
 N.º 21- Gorceixita, Araxá, MG.  
 N.º 22- Apatita, Patos de Minas, MG.  
 N.º 24- Apatita, Irecê, BA.  
 N.º 25- Apatita, Igarassú, PE.  
 N.º 26- Apatita, Flórida - NBS, EUA  
 N.º 27- Apatita, Flórida, EUA.  
 N.º 29- Apatita, Itaitaia, CE.  
 N.º 30- Apatita, Durango, México.

menor que um) não são incomuns em apatitas de pegmatitos graníticos, como é o caso de Timmins, Ontário (Mariano, 1989).

*I-B-2- Área de Pedras Altas (Ipirá) - NE - Bahia*

Na área de Pedras Altas (Ipirá) - (NE - Bahia), rochas piroxênicas (diopsiditos) são as principais hospedeiras das ocorrências de apatita. Estas rochas estão situadas entre o lineamento estrutural de direção NW-SE e a feição estrutural que passa nas imediações de Itaberaba, com idade superior a 2700 M.a. Os diopsiditos dispõem-se em faixas com larguras variadas, entre 50 a 150m, sempre em concordância com a direção geral dos granulitos, gnaisses e migmatitos encaixantes. Pegmatitos de composição sienítica cortam os diopsiditos, sendo os condicionadores da

mineralização da apatita que se encontra associada à vermiculita, à opala, à calcedônia e à escapolita. A origem atribuída (Veiga & Couto, 1981) aos jazimentos de apatita deve-se à interação de dois processos:

1) metamorfismo de seqüências sedimentares cálcio-pelíticas, 2) metassomatismo posterior com enriquecimento de fósforo, flúor e cloro, relacionado a pegmatito de composição sienítica, formando concentrações remobilizadas de apatita.

O teor de  $\Sigma$ ETR (1792 ppm; amostra 5 - Tabela 1) é o maior dentre as apatitas de pegmatitos, sendo explicável por tratar-se de pegmatito de composição sienítica. A anomalia negativa de európio é a comum apresentada pelas apatitas de pegmatito (0,51). La/Yb é 47 e  $\Sigma$ ETRL/ $\Sigma$ ETRP é 29, mostrando enriquecimento em ETRL. Gd/Yb é 4,44, evidenciando variações não muito fortes entre

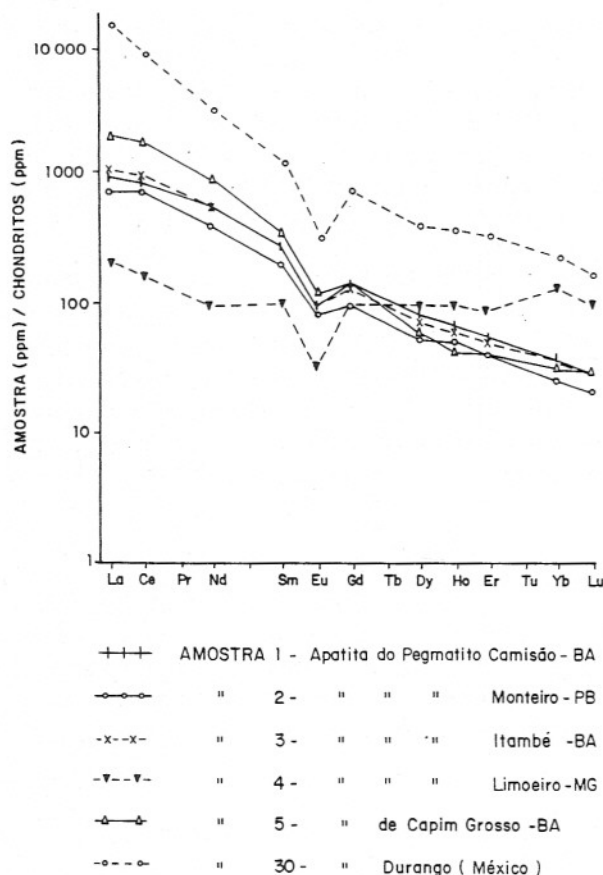


Figura 1 - Padrões de distribuição de ETR de apatitas de pegmatitos. Observa-se o comportamento anômalo das apatitas de pegmatito de Limoeiro (MG).

os ETR médios e os pesados. Leve anomalia positiva de cério é observada.

As apatitas dos três outros pegmatitos graníticos [(Camisão- BA; Monteiro-PB e Itambé- BA (duas amostras)] formam padrões de ETR similares, correspondendo, provavelmente, à composição geral desse tipo de apatita. Observa-se que as anomalias de európio variam de 0,45 a 0,53 (as apatitas dos pegmatitos Limoeiro e Capim Grosso situam-se abaixo desses valores). As anomalias de cério são inexistentes a levemente positivas. As razões La/Yb situam-se entre 20 e 30 (com exceção dos mesmos pegmatitos citados acima),  $\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$  encontra-se entre 14 e 17, e  $\Sigma ETR$  varia de 800 a 1150, também com as exceções mencionadas.

## II - ETR em Apatitas de Carbonatitos Associados a Maciços Alcalinos

As apatitas associadas a carbonatitos, em especial de Angico dos Dias, de Araxá e de

Catalão, apresentam valores mais elevados em ETR. Convém salientar que os valores dos coeficientes de partição ( $K_d$ ) de apatitas em carbonatitos são muito altos.

Angico dos Dias merece especial referência por apresentar a idade de 2011 M.a. (idade U-Pb) (Silva et al., 1988) e ser deformado tectonicamente.

### II-A - Apatita de Angico dos Dias

O Complexo Angico dos Dias, uma associação carbonatítica pré-cambriana, é constituído por sienitos e carbonatitos, com algum piroxenito e lamprófito. Segundo Silva et. al. (op. cit.), o complexo Angico dos Dias apresenta as seguintes peculiaridades:

a) o carbonatito tem alto conteúdo de apatita, superior a 14%, em média; b) os sienitos não são fenitos e não foi observada fenitização; c) os conteúdos de Nb, Th e U das diversas litologias são anormalmente baixos; d) as rochas principais, carbonatitos e sienitos, estão deformadas.

A presença de carbonatito é evidenciada pelos produtos de decomposição, pois os afloramentos são raros. O carbonatito contém calcita dominante, apatita verde clara, com forma ovóide, mica, magnetita e pseudomorfos serpentinizados de olivina. Há concentrações localizadas de apatita. Segundo Silva et. al. (op.cit.), o efeito cataclástico gera recristalização parcial ou total dos carbonatitos. A apatita manteve comportamento rúptil, enquanto outros minerais são dútilmente deformados.

Os carbonatitos de Angico dos Dias têm teores de ETR que se aproximam de 2706 ppm, sendo 2633 ppm ETRL. Grossi Sad & Dutra (1989) mostram que os teores de ETR são superiores aos dos carbonatitos de Itapirapuã e Jacupiranga, com um fracionamento de leves maior que nesses outros dois carbonatitos (Fig. 2).

A apatita de Angico dos Dias, segundo Dutra & Formoso (1991), apresenta um teor total de ETR de 7483 ppm, sendo 7217 ppm referentes a ETRL. As razões La/Yb situam-se entre 140-180 e a razão  $\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$  é de, aproximadamente, 27. Não há anomalia de cério e a de európio é levemente negativa (0,82-0,85).

A apatita de Angico dos Dias apresenta um teor de ETR superior às apatitas de outros maciços alcalinos estudados, sendo, apenas, superada pela apatita de Durango, México, que constitui uma ocorrência peculiar.

Embora a apatita de Angico dos Dias

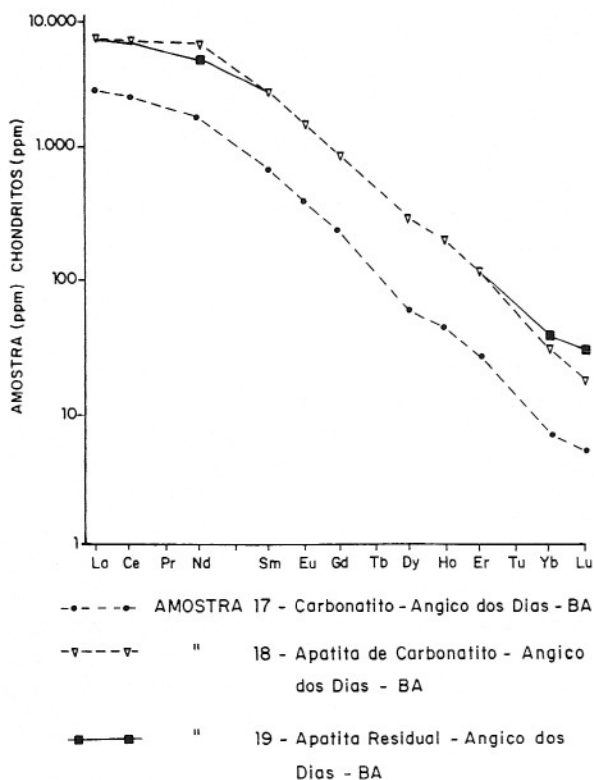


Figura 2 - Padrões de distribuição de ETR do carbonatito e das apatitas de Angico dos Dias (BA).

tenha idade superior a 2000 M.a. e seja tectonicamente deformada, o conteúdo de ETR foi preservado, mostrando que não houve perda (ou houve pequena perda) desses elementos. A razão La/Yb (>140) evidencia o grande fracionamento de ETRL como acontece, também, nos carbonatitos da área.

### II-B - Complexos Alcalino-Carbonatíticos (Cretáceo-Terciário)

As idades K-Ar dos maciços alcalino-carbonatíticos situam-se entre 65 a 130 M.a. (Ulbrich & Gomes, 1981). Um episódio mais antigo, de 110-130 Ma inclui os maciços de Jacupiranga, Ipanema e um mais jovem, de 60 a 90 M.a., inclui Catalão I, Tapira e Araxá.

#### II-B-1- Jacupiranga, SP

Os carbonatitos de Jacupiranga (sovitos) são intrusivos em magnetita clinopiroxenitos. Hirano et al. (1987), com base em critérios petrológicos, reuniram os carbonatitos de Jacupiranga em quatro grupos: calcita carbonatito, calcita carbonatito rico em magnetita, calcita carbonatito rico em apatita e dolomita carbonatito. Fluorapatita é o único

fosfato dos carbonatitos, ocorrendo em grãos ovóides ou prismáticos, geralmente, em diâmetro de 0,2 a 2 mm. Os grãos ovóides são mais comuns. As apatitas, em geral, encontram-se pouco alteradas, e apresentam um conteúdo de ETR de 1300-1400 ppm. Como acontece com apatitas associadas a carbonatitos, a razão La/Yb é elevada, aproximadamente 66, e a razão  $\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$  é 17. A razão Gd/Yb é 14, mostrando, também, a predominância de ETRM sobre ETRP. Apresenta anomalias pouco significativas de Eu e Ce (próximas a 1). Dentre as apatitas de complexos alcalino-carbonatíticos estudadas, as de Jacupiranga têm os teores menos elevados de ETR (Fig. 3).

#### II-B-2- Tapira (MG)

Os carbonatitos de Tapira (sovitos) encontram-se associados a piroxenitos, peridotitos, traquitos, sienitos e silexitos (?). A área exposta aproximada do complexo é de 33 Km<sup>2</sup> e a idade é de 70 milhões de anos. As

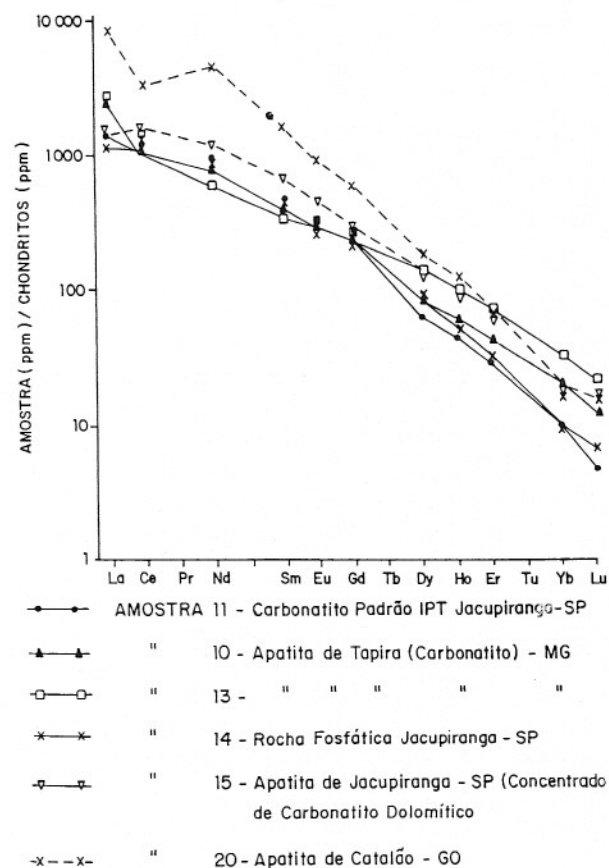


Figura 3 - Padrões de distribuição de ETR de apatitas de Jacupiranga, Tapira e Catalão. Observa-se o comportamento diferente de Catalão em relação a Jacupiranga e Tapira.

rochas encaixantes são quartzitos e xistos do grupo Canastra, Pré-cambriano Superior (Rodrigues et. al., 1984). Os carbonatitos consistem de calcita, flogopita, magnetita, apatita, perovskita, pirita e titanita. Os carbonatitos (e rochas associadas) sofreram alteração laterítica com um manto de alteração de espessura média de 30m. Pode atingir até 250m em alguns locais.

As amostras da apatita de Tapira (10 e 13) mostram  $\Sigma ETR$  entre 1400-1500 ppm, conteúdo relativamente baixo, quando comparado com o de outras apatitas de carbonatitos. A razão La/Yb é elevada, situando-se entre 50 e 100, mostrando o fracionamento normal nos carbonatitos ( $\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$  situa-se entre 13 e 18). Gd/Yb encontra-se entre 6 e 10. A anomalia negativa de európio é muito pequena, mas a relativa ao cério (0,67 e 0,75) é importante. Mariano (1989) não apresenta essa anomalia negativa em apatita de Tapira.

### II-B-3-Araxá (MG)

O complexo ultrabásico-alcalicarbonatítico de Araxá é intrusivo em seqüências metassedimentares pré-cambrianas do Grupo Araxá. A idade é de 91 M.a. (Loureiro & Figueiredo, 1989). O caráter intrusivo gerou uma estrutura dômica nas rochas encaixantes. A existência dessa estrutura contribuiu para a formação de um manto de intemperismo muito espesso, onde estão situadas importantes jazidas residuais de nióbio.

As rochas do complexo são, predominantemente, glimeritos, beforritos, noritos, foscoritos, lamprófiros e silexitos (?). Os minerais dominantes nos carbonatitos são dolomita, ankerita, calcita, apatita, barita, magnetita, flogopita, anfíbio, perovskita, pirocloro e pirita. O manto de intemperismo tem espessura média de 80 m, atingindo 230 m em alguns locais. Os teores de ETR no manto de intemperismo são elevados, podendo constituir depósitos econômicos de ETR; 800.000 toneladas com teor médio de 13,5% de  $TR_2O_3$  (depósito da área Zero) ou 2.500.000 toneladas a 6,3% de  $TR_2O_3$ . Também os ETR podem estar associados ao minério fosfático e ao minério de nióbio. A área Zero (Mariano, 1989) contém, principalmente, gorceixita/goyazita, que constituem uma provável fonte supergênica, com possibilidades econômicas de ETR, no complexo Araxá (Fig. 4).

No caso de Araxá, além de serem analisadas as apatitas, foi também analisado um

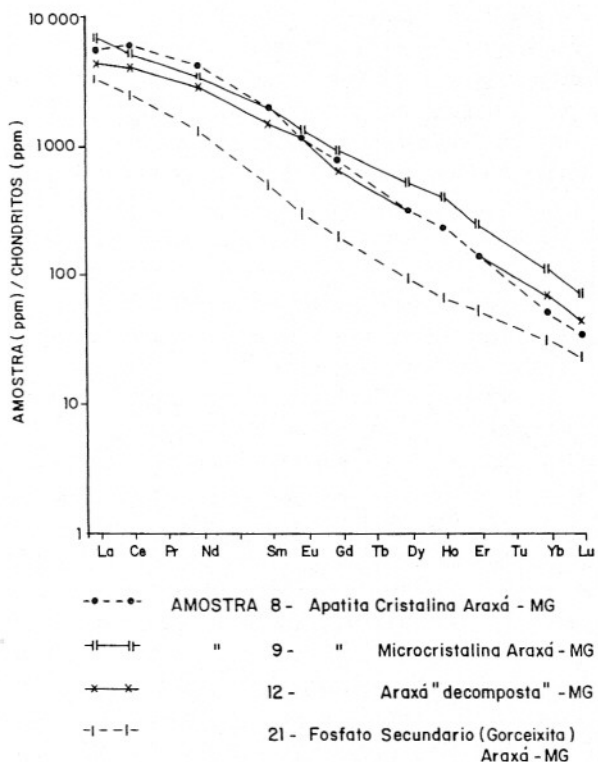


Figura 4 - Padrões de distribuição de ETR de apatitas de Araxá e também de gorceixita (fosfato secundário). Observa-se a semelhança da curva da gorceixita (secundária) com a das apatitas, que geraram a gorceixita.

concentrado de gorceixitas, produto da alteração laterítica das apatitas.

O  $\Sigma ETR$  das apatitas de Araxá atinge valores de 5700-6300 ppm (amostras 8, 9, 12; Figura 4). A razão La/Yb atinge valores de 50-90, mostrando a elevada concentração e importante fracionamento dos ETR. As anomalias de európio e cério são pouco significativas. O padrão de ETR do concentrado de gorceixitas é muito similar ao das apatitas de Araxá. O conteúdo total de ETR é de 2737 ppm; La/Yb é de 78 e  $\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$  é de 30,5. A anomalia de európio é levemente negativa (0,81) e a de cério, levemente positiva (1,10). A razão Gd/Yb é de 6, mostrando a suavização da curva descendente dos ETR médios para os pesados. No caso de Araxá, é evidente o elevado conteúdo de ETR das apatitas e o padrão (ou assinatura) das gorceixitas é semelhante ao das apatitas dos carbonatitos.

### II-B-4- Catalão

Catalão I(GO) apresenta-se como um corpo de forma oval com cerca de 24 Km<sup>2</sup> de área exposta e com idade de 83 M.a., sendo



constituído por carbonatito, peridotito, piroxenito (serpentinito), silexito (?) e glimeritos. As rochas encaixantes são quartzitos com micaxistos subordinados (Grupo Araxá). O carbonatito é constituído por calcita, apatita, flogopita, serpentinas, magnetita, pirita, barita, titanita, monazita, zircão, pirocloro, perovskita e fluorita. A alteração intempérica foi profunda, com espessura média de 30m, atingindo 250m em alguns locais (Rodrigues et al., 1984). As mineralizações associadas ao maciço são fosfato, nióbio, titânio, ETR e vermiculita.

Vê-se, na Figura 3, que o padrão de ETR da apatita de Catalão é característico de carbonatito e de rochas alcalinas associadas. Se comparadas às curvas relativas às apatitas de Tapira e Jacupiranga, observa-se que a concentração de ETR é mais elevada, atingindo a razão amostra/condrito para o La, por exemplo, o nível de 10000. O conteúdo total de ETR é igual a 5585 ppm, semelhante às concentrações encontradas em apatitas de Araxá, e inferior àquelas de Angico dos Dias (7480 ppm). A razão La/Yb é de 344, enquanto  $\Sigma\text{ETRL}/\Sigma\text{ETRP}$  é 31,4, mostrando a curva altamente descendente das apatitas de Catalão, comparável, mas superior à de Angico dos Dias. No caso das apatitas de Catalão I, chama a atenção as anomalias negativas significativas de Eu (0,79) e, principalmente, de cério (0,54). A razão Gd/Yb é 28,1, mostrando suavização similar a apatitas de outros carbonatitos.

É importante enfatizar os teores altos de ETR de apatitas de carbonatitos, especialmente, Angico dos Dias, Araxá e Catalão. A concentração de ETR nas apatitas de Anitápolis, SC, é de, aproximadamente, 0,12% (Pereira et al. 1991) e o carbonatito (sovito) da mesma área possui  $\Sigma\text{ETR}$  igual a 774-779 ppm (Furtado, 1989). A apatita retrata o conteúdo relativamente baixo de ETR no carbonatito. As apatitas de Tapira e Jacupiranga apresentam valores relativamente próximos àquelas de Anitápolis. Em Lages, o ankerita carbonatito é muito rico em ETR (Scheibe & Formoso, 1982), com valores da razão rocha total/condrito superiores a 10000 para os três primeiros ETRL, mas não havendo dados sobre o teor de ETR em apatitas

### III - Apatitas de Rochas Sedimentares

Dentre as apatitas de rochas sedimentares típicas, foram selecionadas dois tipos de amostras: a apatita de Igarassú (PE) e a apatita da Florida, inclusive aquela relativa ao padrão NAS-120.

Os fosforitos marinhos constituem a maior fonte de fosfato existente, e o conteúdo médio de ETR desses fosfatos (Mariano, 1989) varia de 100 a 1000 ppm. Embora sejam fontes potenciais da recuperação de ETR, como o conteúdo é relativamente baixo e há outras possibilidades de extração menos cara de ETR, não houve tentativas, pelo menos importantes, de aproveitamento de ETR dos fosfatos sedimentares.

O fosfato de Igarassu (PE) ocorre em depósitos sedimentares, ao longo da faixa costeira, ao norte de Recife. O horizonte rico em fosfatos encontra-se entre os calcários da Formação Gramame e os arenitos da Formação Beberibe (Baltar et al, 1984). Apresenta 1,2 m de espessura. As reservas de fosfato atingem 36,5 milhões de toneladas, com cerca de 8 milhões de toneladas de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os fosfatos concentram-se nas frações granulométricas mais finas. Os principais minerais são quartzo e fluorapatita.

O padrão de ETR dos fosfatos de Igarassu mostra algumas características peculiares, como, por exemplo, anomalia negativa de cério. A água do mar apresenta anomalia negativa de cério. A explicação dada seria o baixo tempo de residência do cério (e dos ETR, em geral) na água do mar, devido à oxidação e hidrólise do cério, com a respectiva precipitação de seus hidróxidos e óxidos. Fato similar ocorre nos perfis lateríticos continentais (Formoso et al, 1989 e Braun et al, 1990), onde pode, inclusive, aparecer cerianita. Carpenter e Grant (1967) mostram que  $\text{Ce}^{3+}$  na água do mar ( $\text{pH} \approx 8$ ) precipita como hidróxido de cério coloidal. Assim, a precipitação dos ETR nos fosfatos, nas vasas carbonáticas e a sorção nos argilominerais constituem os mecanismos de diminuição da concentração de ETR na água do mar e explicam a anomalia negativa de cério nas apatitas sedimentares marinhas. O fosforito da Florida também apresenta anomalia negativa de cério (0,45), enquanto o padrão NBS-apatita Florida (purificada) apresenta anomalia menos significativa (0,82).

As anomalias negativas de európio são bem características; estendendo-se de 0,64 a 0,69. São, provavelmente, herdadas de áreas fontes.

O teor total de ETR do fosforito de Igarassu atinge 1473 ppm, enquanto, na Florida, atinge 323 e 352 ppm. O fosforito de Igarassu é menos puro, contendo constituintes mais ricos em ETR. As razões La/Yb encontram-se entre 5 e 10, evidenciando que o fracionamento dos ETR não é tão nítido como

nas apatitas de carbonatitos e de pegmatitos. Os padrões de ETR das apatitas sedimentares são mais suaves, não havendo fracionamento muito nítido entre ETRL e ETRP, assim como entre os ETRM (médios) e os ETRP.

#### IV- Apatita de Rochas Metassedimentares

##### IV-A- Apatita de Itataia, CE

O depósito de P-U de Itataia está incluído em uma seqüência de rochas metassedimentares de natureza clástica, vulcanosedimentar e química. Há níveis associados a carbonatos e gnaisses do grupo Caicó (Saad et Al., 1984; Netto, 1984) com idades de 1700-2000 M.a.. Ainda, segundo os primeiros autores, o grau de metamorfismo da área dos fosfatos encontra-se entre fácies xistos verdes e anfíbolito. A principal zona de fosfato apresenta-se, sob forma amebóide, com extensão de 900 a 1000 m e espessura de 150 a 200 metros. A hipótese de gênese mais aceita seria aquela de associação dos fosfatos de Itataia a sedimentos marinhos de plataforma. As influências do vulcanismo e também da matéria orgânica, que reduziriam o  $U^{6+}$  a  $U^{4+}$ , que pode entrar na estrutura da apatita, não podem ser omitidas (Fig. 5).

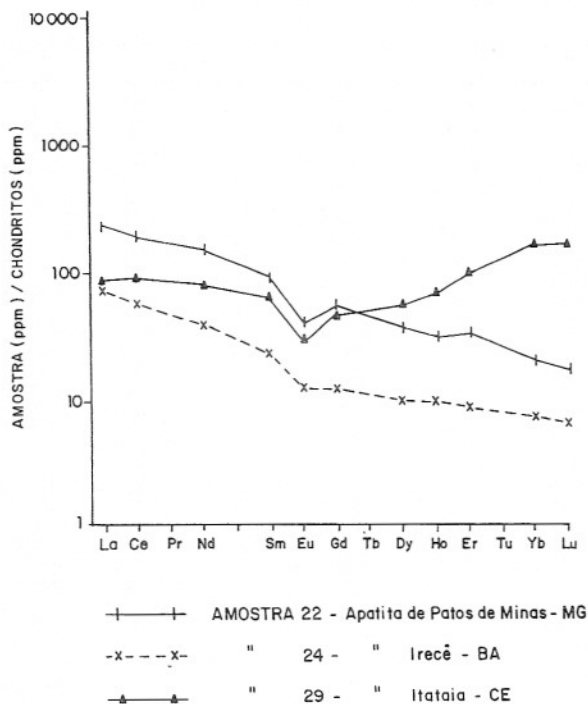


Figura 5 - Padrões de distribuição de ETR de apatitas de rochas metassedimentares. Observa-se o crescimento dos ETRP nas apatitas de Itataia (CE) e os baixos teores das apatitas de Irecê (BA).

As apatitas de Itataia apresentam um padrão peculiar de ETR, mas que se aproxima de apatitas sedimentares marinhas. A anomalia de cério característica dos minerais marinhos (herdada da água do mar) é inexistente. A presença de matéria orgânica, que é a provável responsável pela redução do  $U^{6+}$  a  $U^{4+}$ , deve manter o cério na forma trivalente em solução. A anomalia negativa de európio (0,57) aparece também nas demais apatitas sedimentares estudadas. O comportamento excepcional da apatita de Itataia é concernente às razões La/Yb (0,54),  $\Sigma ETRL/\Sigma ETRP$  (1,74) e Gd/Yb (0,29), mostrando a importante abundância dos ETRP. Uma hipótese que poderia ser considerada é a presença de  $U^{4+}$  e ETRP, em solução, na forma de complexos com carbonatos, e, a partir desses complexos, a participação desses cátions na estrutura da apatita, em substituição ao  $Ca^{2+}$ .

Em suma, o comportamento da apatita de Itataia, em relação aos ETR, é bastante peculiar. Ainda, o teor total de  $\Sigma ETR$  é relativamente baixo (109,79).

##### IV-B- Apatitas de Patos de Minas e de Irecê (BA)

Boujo et al. (1994) descreveram depósitos de fosfatos sedimentares que ocorrem no Proterozóico Médio e Superior e no Cambriano do Brasil e oeste da África, constituindo uma província de fosfatos Afro-Brasileira. Irecê (BA) e Patos de Minas (MG) pertencem a essa província. O fosfato de Irecê (BA) (Boujo et al., 1994) é constituído por 98% de apatita, 2% de esmectita, em superfície, e 74% de apatita, 24% de dolomita e 2% de esmectita, em profundidade. O fosfato de Patos de Minas é formado por 60% de apatita, 15% de quartzo, 16% de mica branca, 1% de caolinita, 2% de goethita e 3% de fosfatos supérgenos (crandalita, wavelita). Observa-se, tipicamente, no último caso, a influência da alteração intempérica.

As apatitas de Patos de Minas e Irecê mostram, em linhas gerais, o comportamento das apatitas sedimentares. Ambas não apresentam anomalias de cério (0,94 e 1,03, respectivamente), indicando que o ambiente foi redutor, provavelmente com cério na forma trivalente, e ambas apresentam anomalia negativa de európio (0,51 e 0,71, respectivamente). A origem dessas anomalias negativas é discutível, provavelmente, relacionando-se com a natureza da área de origem do material. As razões La/Yb são relativamente baixas, características de fosfatos

sedimentares. As razões Gd/Yb são, respectivamente, 2,75 e 1,50, mostrando que não há importante fracionamento entre os elementos terras raras médios e os pesados. Não é observado o enriquecimento de ETRP como em Itataia. As quantidades totais de ETR ( $\Sigma$ ETR) são relativamente baixas. Para Patos de Minas é 279,57, e, para Irecê, 91,73. Este último valor representa o fosfato com o teor mais baixo de ETR dentre os estudados.

## Outros Elementos

Na Tabela 3, vê-se os resultados analíticos relativos a outros elementos (alguns maiores e outros menores).

A razão CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, para as apatitas (em concentrados) estudadas, não mostra grandes variações. Assim, as apatitas de carbonatitos têm essa razão compreendida entre 1,249 e 1,452 (respectivamente, Catalão e Jacupiranga).

Nos pegmatitos, as apatitas têm a razão compreendida entre 1,092 (pegmatitos Monteiro) e 1,374 (Itambé).

Nas apatitas sedimentares ou metasedimentares, CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> varia desde 1,274

(Patos de Minas) a 1,462 (Itataia). As apatitas sedimentares típicas (Igarassu e Florida) apresentam valores intermediários.

Os fosfatos do Proterozóico Médio/Cambriano Inferior apresentam razões CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Boujo et al. op. cit.) entre 1,28 e 1,75, mas com a maioria dos valores entre 1,30 e 1,40.

Dentre os elementos menores, o Sr e o Ba são os mais importantes. As apatitas de rochas carbonatíticas apresentam, em geral, os teores maiores de estrôncio e bário. O conteúdo de estrôncio situa-se entre 3100 ppm (em Jacupiranga) e 8290 ppm (em Angico dos Dias). A gorceixita é um mineral de bário (Ba, ETR Al<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH, H<sub>2</sub>O), conseqüentemente, é normal que apresente um teor de 17,11% de Ba (e 1,86% de Sr). A alta concentração de estrôncio deve representar a presença de goyazita em menores quantidades.

O conteúdo de estrôncio das apatitas de pegmatitos estudados varia de 220 ppm a 410 ppm. A concentração de bário é muito baixa, pois apenas a apatita do pegmatito de Camisão (BA) atinge valor acima do limite de detecção do método (49 ppm).

As apatitas sedimentares e metassedi-

Tabela 3 - Dados analíticos de outros elementos estudados para as mesmas amostras.

Número da amostra	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu
1	192,4	490	235,7	39,66	5,05	26,76	19,17	3,76	9	5,7	0,7
2	153,5	403,4	185,3	31,67	5,15	20,61	13,84	2,87	7,05	4,51	0,58
3	233,4	557,2	253,3	39,4	5,99	26,44	19,05	3,64	8,98	6,32	0,69
4	49,32	98,05	50,01	16	1,93	20,61	25,08	5,6	15,4	21,76	2,43
5	367,2	919	387,1	52,8	7,27	28,88	14,83	2,61	7,02	5,25	0,8
7	216,8	432	223,8	37,56	5,61	24,26	13,84	2,89	7,28	5,06	0,61
8	1126	3018	1637	248,7	57,46	140,7	75,1	12,74	22,88	8,31	0,85
9	1257	2594	1304	230,8	62,4	153,8	115,3	19,83	37,26	16,67	1,65
10	466	541	297,5	52,08	14,6	42,2	20,76	3,38	7,02	3,49	0,32
11	276,3	537,6	366,1	62,39	16,4	41,03	17,9	2,68	5,39	1,9	0,14
12	912	2206	1192	206,4	56,62	132,8	82,99	13,93	27,26	12,46	1,26
13	485,4	600,7	247,2	48,91	15,33	44,22	32,99	5,86	12,07	5,69	0,59
14	249,8	596,2	349,6	62,1	16,3	40,5	19,9	2,98	5,48	1,77	0,18
15	322,9	897,3	526,5	93,75	23,66	57,76	32,49	5,54	10,12	3,26	0,36
17	552,18	1282,8	682,2	95,46	21,09	48,04	15,9	2,66	4,53	1,22	0,14
18	1326	3229	2240	346,7	75,53	163,4	69	10,5	17,91	4,78	0,44
19	1365	3382	2063	337,9	70,58	158,7	68,1	11,42	19,73	6,67	0,73
20	1588	1770	1780	228,6	46,57	108,3	43	6,4	11,2	3,11	0,34
21	652,2	1363	543,2	75,14	16,7	42,66	24,64	4	9,2	5,64	0,64
22	55,68	111,5	67,39	12,98	2,05	10,69	8,89	1,72	5,1	3,14	0,43
24	18,87	39,2	19,69	3,83	0,79	2,69	2,75	0,62	1,65	1,45	0,19
25	418,3	454,4	335,3	61,81	13,79	57,58	55,57	12,6	34,2	26,44	3,6
26	69,6	114,2	71,68	13,89	2,9	13,25	14,77	3,21	9,95	8,9	1,1
27	118,3	93,54	77,12	14,55	3,15	13,42	11,82	2,71	8,47	7,79	-
29	21,88	60,17	39,35	10,02	1,87	9,76	14,51	4,04	16,56	27,42	4,21
30	3210	4189	11,76	165,8	17,46	130,5	95,13	19,8	51,1	36,45	4,33

### Análise de amostras de apatita

N.º 01- Pegmatito camisão, BA.  
 N.º 02- Pegmatito Monteiro, PB.  
 N.º 03- Pegmatito Itambé, BA.  
 N.º 04- Pegmatito Limoeiro, MG.  
 N.º 05- Pegmatito Capim Grosso, BA.  
 N.º 07- Pegmatito Itambé, BA.  
 N.º 08- Apatita Cristalina, Araxá, MG.  
 N.º 09- Apatita Microcristalina, Araxá, MG.  
 N.º 10- Apatita - Carbonatito, Tapira, MG.  
 N.º 11- Apatita, Jacupiranga, SP - Padrão IPT.  
 N.º 12- Apatita - Decomposta, Araxá, MG.  
 N.º 13- Apatita - Fوسفertil, Tapira, Araxá, MG.  
 N.º 14- Rocha Fosfática, Jacupiranga, SP - Padrão IPT.

N.º 15- Apatita - Carbonato Dolomítico, Jacupiranga, SP.  
 N.º 17- Rocha Carbonatito, Angico dos Dias, BA.  
 N.º 18- Apatita, Angico dos Dias, BA.  
 N.º 19- Apatita, Angico dos Dias, BA.  
 N.º 20- Apatita, Catalão, GO.  
 N.º 21- Gorceixita, Araxá, MG.  
 N.º 22- Apatita, Patos de Minas, MG.  
 N.º 24- Apatita, Irecê, BA.  
 N.º 25- Apatita, Igarassu, PE.  
 N.º 26- Apatita, Florida - NBS, EUA  
 N.º 27- Apatita, Florida, EUA.  
 N.º 29- Apatita, Itataia, CE.  
 N.º 30- Apatita, Durango, México.

mentares apresentam concentrações de estrôncio e bário também relativamente baixas (entre 100 e 600 ppm para o Sr e 27 a 190 ppm para o Ba). No caso do estrôncio, as exceções são Patos de Minas (2720 ppm) e Itataia (1850 ppm), que constituem ambientes peculiares.

O nióbio é importante apenas nas apatitas de Araxá (e também na gorceixita) e Catalão, que são importantes jazidas de nióbio.

O ítrio comporta-se geoquimicamente como um ETR pesado (embora não o seja pela sua configuração eletrônica). Os teores de ítrio das apatitas dos carbonatitos variam de 72 a 360 ppm. As apatitas de Araxá são as mais ricas nesse elemento. No que concerne às apatitas de pegmatito, a de Itambé (BA) tem 690 ppm e a do pegmatito Monteiro (PB) tem 72 ppm.

As apatitas sedimentares também não têm conteúdo de ítrio uniforme. A fosforita de Igarassu contém 560 ppm, enquanto a de Irecê tem 22 ppm. A apatita de Itataia tem 120 ppm de ítrio, coincidindo com o enriquecimento de ETRP e urânio na mesma.

Os teores de urânio e tório são altamente irregulares. Nas apatitas dos carbonatitos, apenas as de Araxá têm um conteúdo de tório significativo (47 a 100 ppm). As demais apresentam valores abaixo do limite de detecção do método.

As apatitas de pegmatito apresentam o teor de tório bastante superior ao de urânio, atingindo a razão Th/U valores de algumas dezenas. A apatita do pegmatito de Itambé apresenta as maiores concentrações de Th (1300 ppm) e U (140 ppm). No caso das apatitas sedimentares, o urânio pode aparecer em maior quantidade que o tório. A fosforita de Igarassu e a da Florida apresentam teores de urânio superiores a 100 ppm e a apatita de Itataia contém 1110 ppm de urânio, constituindo Itataia um depósito de urânio e fósforo.

As apatitas estudadas pelos autores são fluorapatitas, apresentando, algumas, teores significativos de cloro.

Na Tabela 3, são incluídas algumas análises do verdete Abaeté (MG), apatita em rocha metassedimentar, apenas para comparação.

A apatita de Durango (México), pelos teores de Th, Y, Nb, Sr mostra estar associada a rochas com tendências alcalinas.

## CONCLUSÕES

1 -  $\Sigma$ ETR mais elevado é encontrado em apatitas associadas a carbonatitos, em especial,

Angico dos Dias, Araxá e Catalão. Angico dos Dias sofreu metamorfismo e tem idade de 2011 M.a. (U/Pb), mas preserva o alto conteúdo de ETR. Araxá e Catalão são os maciços alcalinos (Cretáceo-Terciário) em que o teor de ETR das apatitas é mais elevado. Na apatita de Durango (México),  $\Sigma$ ETR é 9000 ppm.

2 - As apatitas de origem sedimentar possuem  $\Sigma$ ETR mais baixo, especialmente Irecê e Itataia (metassedimentares). Também a apatita da Florida, EUA, tem baixo  $\Sigma$ ETR (323 ppm).

3 - Em geral, as curvas de abundância de ETR normalizadas apresentam inclinação negativa - enriquecimento em ETRL.

4 - A razão  $(La/Yb)_N$  de apatitas em pegmatitos: 20-30 (média)

pegmatito Limoeiro: 1,5-1,6

Capim Grosso (composição sienítica - 47) em carbonatitos: > 50

Angico dos Dias - 140

Catalão - 344

em rochas sedimentares: 5-10

Itataia (U e matéria orgânica) - 0,54 (enriquecimento em ETRP)

5 - A razão Eu/Eu\* de apatitas

em pegmatitos: 0,32-0,50

pegmatitos Limoeiro - 0,32

em carbonatitos: 0,8-1,0

gorceixita (Araxá) - 0,82 (herdada)

em rochas sedimentares: 0,51-0,71

apatita Durango (México): 0,34

6 - A razão Ce/Ce\* de apatitas

em pegmatitos  $\approx 1$

em carbonatitos  $\approx 1$  (exceto Tapira e Catalão, que apresentam anomalia negativa discreta de Ce).

em sedimentares: Igarassu (0,59), Florida (0,82 e 0,45) - herdadas da água do mar.

Patos de Minas, Irecê e Itataia - não mostram anomalias de cério (ambientes especiais, provavelmente, redutores).

7 - Outros elementos

a. a maior parte das apatitas estudadas têm razão CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 1,240 e 1,470, com poucas exceções.

b. os teores de estrôncio e bário, como seria de esperar, são mais elevados para apatitas de carbonatitos. Os teores de bário das apatitas de pegmatitos são baixos. As apatitas sedimentares apresentam também baixos teores de estrôncio e bário. No caso de estrôncio, Patos de Minas e Itataia contêm importantes teores.

8 - O nióbio é importante apenas nas apatitas de Catalão e Araxá (e também na gorceixita). Catalão e Araxá são jazidas de nióbio.

9 - Os teores de ítrio oscilam entre 72 a 360 ppm nas apatitas de carbonatitos. As apatitas sedimentares têm conteúdos de ítrio variados. A apatita de Itataia tem 120 ppm de ítrio, coincidindo com importantes concentrações de ETRP e urânio.

As apatitas dos pegmatitos apresentam teores de ítrio variados entre 72 e 690 ppm.

10 - A distribuição dos teores de urânio e tório é altamente irregular. Nos carbonatitos, apenas as apatitas de Araxá têm uma concentração de tório significativa (47 a 100 ppm).

Nas apatitas de pegmatitos, a razão Th/

U pode atingir algumas dezenas.

Nas apatitas sedimentares, o urânio tende a ser superior ao tório. As apatitas da Florida e de Igarassu apresentam teores de urânio superiores a 100 ppm e a apatita de Itataia contém 1110 ppm de urânio, associada à jazida de urânio.

11 - São necessários mais dados analíticos relativos a apatitas, como também, estudos mais detalhados relativos a sua ordem de cristalização em rochas ígneas e pegmatitos, assim como de minerais associados com coeficiente de partição elevado em relação aos ETR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTAR, C.A.M.; BARROS, M.L.; PEREIRA NETO, J.; SANTOS, J.C.R. (1984) Estudo do beneficiamento de Fosfato do Estado de Pernambuco. Anais do 8º Encontro de Tratamento de Minério e Hidrometalurgia, 1:147-157.
- BOUJO, A.; TROMPETTE, R.; FLICOTEUAX, R.; MELFI, A.J.; AFFATON, P.; BLOT, A. OLIVEIRA, J.J.; MAGAT, P. (1994) Fosfatos Sedimentares Marinhos do Proterozóico Médio e Superior da África e do Brasil: Geologia, Mineralogia, Geoquímica e Importância Econômica. An. Acad. Bras. Cienc., 66(3):293-318.
- BRAUN, J.J.; PAGEL, M.; MULLER, J.P.; BILONG, P.; MICHARD, A.; GUILLET, B. (1990) Cerium Anomalies in Laterite Profiles. Geochim. Cosmochim. Acta., 54:781-795.
- BURT, D.M. (1989) Compositional and Phase Relations among Rare Earth Element Minerals. In: Lipin, B.R. & McKay, G.M. Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Reviews in Mineralogy, 21 (10):259-307.
- CARPENTER, J.H. & GRANT, V.E. (1967) Concentration and State of Cerium in Coastal Waters. J. Mar. Res., 25:228-238.
- CORREIA NEVES, J.M.; SOARES PEDROSA, A.C.; VALLE, R.R. (1980) Geoquímica e Gênese do Pegmatito Limoeiro (Virgem da Lapa- Minas Gerais). 31º Cong. Bras. Geol., Camboriú, SC., 4:2134-2143.
- DUTRA, C.V. (1984) Método para determinação de traços e sub-traços de Terras raras em rochas por Espectrometria de Plasma (ICP). Aplicação em Petrogênese. 33º Cong. Bras. Geol. Rio de Janeiro, RJ., 10:4792-4805.
- DUTRA, C.V. (1989) Geoquímica Analítica de Elementos Terras Raras -Aplicação da Espectrometria de Plasma (ICP). In: Formoso, M.L.L.; Nardi, L.V.S.; Hartmann, L.A. (Eds.) CPRM, DNPM, SBGq. Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil., 1:7-13.
- EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. (1978) Rare Earth Abundances in Chondritic Meteorites. Geochim. Cosmochim. Acta, 42:1199-1212.
- FORMOSO, M.L.L.; MELFI, A.J.; KRONBERG, B.I. (1989) Comportamento dos Elementos Terras Raras no Intemperismo Tropical. In: Formoso, M.L.L.; Nardi, L.V.S.; Hartmann, L.A. (Eds.) CPRM, DNPM, SBGq. Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil, 7:109-120.
- FURTADO, S.M.A. (1989) Petrologia do Maciço Alcalino de Anitápolis, SC. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP, 245p.
- GROSSI SAD, J.H. & DUTRA, C.V. (1989) Fracionamento dos Elementos Terras Raras e suas Aplicações em Metalogênese. Comportamento Geoquímico em Sistemas Diversos. In: Formoso, M.L.L.; Nardi, L.V.S.; Hartmann, L.A. (Eds.) CPRM, DNPM, SBGq. Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil, 8:123-141.
- HIRANO, H.; KAMI TANI, M; DAITX, E.C. (1989) Jacupiranga in the São Paulo State, Brazil. In: Report of the International Research and Development Cooperations-ITIT-, Project 8316. Geol. Sur. Japan. Agency of Industrial Science and Technology, Japan.
- LOUREIRO, F.V.L. & FIGUEIREDO, C.M.V. (1989) Os Elementos Terras Raras nos Complexos Carbonatíticos Brasileiros. In: Formoso, M.L.L.; Nardi, L.V.S.; Hartmann, L.A. (Eds.). Geoquímica dos Elementos Terras Raras no Brasil. CPRM, DNPM, SBGq., 3:47-59.
- MARIANO, A.N. (1989) Economic Geology of Rare Earth Minerals. In: Lipin, B.R. & McKay, G.A. (Eds.) Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Reviews in Mineralogy, 21(11):309-337.
- NETTO, A.M. (1984) Contribuição à Mineralogia e à Petrografia da Jazida Fósforo-uranífera de

- Itataia - CE, Brasil. 33<sup>a</sup> Cong. Bras. Geol., Rio de Janeiro, RJ., p. 1424-1436.
- 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. 3<sup>a</sup> Cong. Bras. Geol., São Paulo, SP, Resumos, 2:647-650.
- ROEDER, P.K.; MAC ARTHUR, D.; MA, X.P.; PALMER, A.N.; MARIANO, A.N. (1987) Cathodoluminescencia and microprobe study of Rare Earth Elements in Apatite. Amer. Miner., 72:801-811.
- RÖNSBO, J.G. (1989) Coupled Substitutions involving REE<sub>s</sub> and Na and Si in Apatites in alkaline rocks from Ilmansaq, South Greenland and the Petrological Implications. Amer. Mineral., 74:896-901.
- RODRIGUES, C.S. de & SANTOS LIMA, P.R.A. dos (1984) Complexos Carbonatíticos do Brasil: Geologia, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (Ed.), 44p.
- SAAD, S.; MUNNIE, A.F.; TANAKA, A.Y. (1984) Proposição: Um novo modelo genético para a Jazida de Itataia. 23<sup>a</sup> Cong. Bras. Geol., Rio de Janeiro, RJ., p. 1410-1423.
- SCHEIBE, L.F.& FORMOSO, M.L.L. (1982) Contribuição da Geoquímica das Terras Raras à Caracterização dos Carbonatitos de Fazenda Varela, Lages, SC. Rev. Bras. Geoc., 12(4):553-561.
- SILVA, A.B.; LIBERAL, G.S.; GROSSI SAD, J.H.; ISSA Fº, A.; RODRIGUES, C.S.; RIPPEL, B.F. (1988) Geologia e Petrologia do Complexo Angico dos Dias (Bahia, Brasil). Uma Associação Carbonatítica Pré-cambriana. Geochim. Bras., 2(1):81-108.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.V. (1981) Alkaline Rocks from Continental Brazil: a review. Earth Sci. Rev., 17:135-154.
- VEIGA, P.M.O. & COUTO, P.A.A. (1981) A Natureza e Distribuição das Ocorrências de Apatita da área de Ipirá- Pedras Altas, NE da Bahia. Rev. Bras. Geoc., 11:104-114.
- YOUNG, E.J.; MYERS, A.T.; MUNSON, E.; COUKLIN, N. (1969) Mineralogy and Geochemistry of Fluorapatite from Cerro do Mercado, Durango, Mexico. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 650D:D84-D93.