

CONCENTRAÇÃO DOS ETR NOS PRODUTOS DE ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA DO COMPLEXO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE CATALÃO I, GO

Rosely Aparecida Liguori Imbernon¹, Sonia Maria Barros de Oliveira² e Ana Maria G. Figueiredo³

¹Pós-graduação: Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, USP, C. P. 20.899, São Paulo, SP, 01498-970

²Departamento de Geologia Geral, Instituto de Geociências, USP, C. P. 20.899, São Paulo, SP, 01498-970

³Instituto de Pesquisas Nucleares, Supervisão de Radioquímica, CNEN, C. P. 11049, São Paulo, SP, 055422-970

RESUMO

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão I situa-se no estado de Goiás, a aproximadamente 280 km ao sul de Brasília.

Constitui-se num corpo semi-circular com cerca de 6 km de diâmetro. Compõem, juntamente com os complexos de Araxá, Catalão II, Salitre I e II e Tapira, um grupo de complexos alcalinos pertencentes à província do Alto Paranaíba, que intrudiram em metassedimentos proterozóicos do Grupo Araxá.

As rochas frescas são principalmente glimmeritos cortados por veios carbonatíticos, podendo ocorrer restritos corpos de piroxenito e peridotito. Anatásio, vermiculita, minerais de terras raras, apatita e pirocloro são os principais minerais de interesse econômico relacionados à intrusão carbonatítica.

Apesar da intensa ação do intemperismo sobre as rochas do complexo, o relevo do maciço foi mantido graças a resistência das rochas quartzíticas que o circundam, o que permitiu um aprofundamento dos perfis de alteração que podem chegar a mais de 100 metros de espessura no centro do complexo. Os processos tipicamente lateríticos geraram concentrações residuais de apatita e pirocloro nos níveis intermediários do perfil de alteração, os quais são atualmente explorados.

Os elementos terras raras ocorrem de duas formas distintas: como fosfatos aluminosos secundários nos horizontes mineralizados em apatita, e como monazita em horizontes silicificados.

ABSTRACT

ETR concentrations in the weathering products of the Catalão I alkaline-carbonatite complex, Goiás

The Alkaline-Carbonatite Complex of Catalão I is located in the state of Goiás, approximately 280 km south of Brasília. Together with the Araxá, Catalão II, Salitre I and II, and Tapira complexes it focus a group alkaline-carbonatitic intrusions within the Alto Paranaíba province. Catalão I is a semi-circular body 6 km in diameter wich intruded Proterozoic metassediments of the Araxá Group in the Cretaceous.

Principal rock types are glimmerites cut by carbonatites veins. Restricted bodies of pyroxenite and peridotite may also occur. Anatase, vermiculite, REE-bearing minerals, apatite, and pyrochlore are the main minerals of economic interest related to this carbonatitic intrusion.

Although intensely weathered, the complex is dome-shaped, its relief sustained by the resistance of the surrounding, fenitized quartzite rocks, wich also permitted weathering profile to reach more than 100 meters in depth.

Typical lateritic processes generated residual concentrations of apatite and pyrochlore at intermediate levels of the weathering profile. These are presently being exploited. Rare-earth elements are concentrated in monazite in hidrothermally silicified horizons and secondary aluminous phosphates by weathering. Most of the silicification observed in the complex is of hidrothermal origin. Weathering silicification occurs locally in alteration levels.

INTRODUÇÃO

O comportamento dos ETR durante os processos de alteração intempérica de diversos litotipos tem sido estudado por diversos autores, mas não se encontra ainda bem definido. Nesbitt (1979), Duddy (1980), Formoso *et al.* (1989) entre outros, observaram que, de modo geral esses elementos sofrem lixiviação durante os processos de alteração intempérica, com exceção do Ce, que tende a imobilizar-se.

Em complexos alcalino-carbonatíticos, algumas das variedades litológicas, como os carbonatitos, são naturalmente enriquecidas em ETR, e esse enriquecimento acentua-se nos produtos de alteração intempérica gerando, por vezes, concentrações de grande interesse econômico. Segundo Lapido-Loureiro & Neumann (1993), as maiores reservas e os mais altos teores de ETR no Brasil são encontrados em solos lateríticos e silixitos associados a complexos carbonatíticos.

O complexo alcalino-carbonatítico de Catalão I, Goiás, apresenta importantes concentrações de Nb, P, Ti e ETR associados a produtos do intemperismo. Para o caso específico dos ETR, esse enriquecimento foi observado na forma de fosfatos aluminosos secundários, nos horizontes superiores do perfil de alteração. Além disso, esses elementos encontram-se também concentrados como monazita, em perfis de alteração extremamente silicificados.

GEOLOGIA DO COMPLEXO

O complexo de Catalão I, juntamente com os complexos de Araxá, Catalão II, Salitre I e II e Tapira, pertence à província do Alto Paranaíba (Ulbrich & Gomes 1981) que representa um grupo de complexos alcalinos intrusivos em metassedimentos proterozóicos, ao longo da margem sudeste do Cráton São Francisco. Esses complexos localizam-se numa extensa faixa constituída pelas coberturas dobradas Uruaçu e Brasília, compreendidas entre o Maciço Mediano de Goiás a noroeste, a borda da bacia do Paraná a oeste e o Cráton do São Francisco a leste.

O embasamento mais antigo da região é constituído por rochas graníticas e gnáissicas, essencialmente de composição granodiorítica com intercalações de anfíbolitos de idade provavelmente arqueana (Dyer 1969, Barbosa *et al.* 1970). As rochas supracrustais proterozóicas que envolvem a estrutura e servem como encaixantes à intrusão de Catalão I são metamorfitos do Grupo Araxá, pertencentes à fácies epidoto-anfíbolito e constituídos, principalmente, por micaxistos com intercalações de delgados leitos de quartzitos e raros anfíbolitos (Barbosa 1955 *apud* Carvalho 1974).

Determinações isotópicas K/Ar para os principais complexos da Província do Alto Paranaíba posicionaram no Cretáceo superior o auge do magmatismo gerador destes corpos (Machado Jr. 1991). Para o complexo de Catalão I uma idade de $82,9 \pm 4,2$ Ma, também obtida pelo método K/Ar em sienito da borda do complexo (Hasui & Cordani 1968), foi posteriormente recalculada com novas constantes de decaimento (Sonoki & Garda 1988) resultando em um valor de $85,0 \pm 6,9$ Ma. Imbernon (1993), utilizando o mesmo método em flogopitas da matriz de uma "brecha" magmática, obteve uma idade de $91,8 \pm 3,3$ Ma.

As principais unidades litológicas reconhecidas no complexo podem ser assim agrupadas:

- rochas ultramáficas e metassomáticas;
- rochas carbonatíticas e
- fenitos.

As rochas ultramáficas originais em Catalão I são dunitos, peridotitos e piroxenitos que, durante a evolução do magmatismo carbonatítico, sofreram importantes processos de transformação metassomática (Carvalho 1974, Baecker 1983, Danni *et al.* 1991). Os litotipos originados a partir desse intenso autometassomatismo potássico foram descritos como metafoscritos por Baecker (1983) e Danni *et al.* (1991), e denominados de glimmeritos por Carvalho (1974) e Araújo & Gaspar (1992). Essas rochas são observadas em larga escala no complexo, intensamente cortadas por veios carbonatíticos.

As rochas carbonatíticas ocorrem como veios irregulares, semelhante a um *stockwork*, cortando as rochas ultramáficas. Cinco estágios magnéticos sucessivos de formação de rochas carbonatíticas foram definidos para o complexo (Baecker 1983, Danni *et al.* 1991).

A intrusão das rochas ultramáficas e carbonatíticas que geraram o complexo de Catalão I produziram em sua borda uma auréola de fenitização que circunda todo o complexo. Essa auréola é resultante da reação entre as soluções de origem ígnea, rica em álcalis e alumina, e as encaixantes. Fenômenos de feldspatização, nefelinização e aegerinização originados desta intensa atividade metassomática produziram estruturas como brechação e pegmatização, comuns neste tipo de complexo.

ETR ASSOCIADOS A FOSFATOS ALUMINOSOS SECUNDÁRIOS

Para o estudo do comportamento dos ETR no perfil de alteração, foram coletadas amostras numa frente de lavra de fosfato, na região centro-norte do corpo. O perfil aflora num corte de aproximadamente 60 metros de altura, de onde foram amostrados, da base ao topo, materiais representativos de 4 horizontes definidos, segundo suas características macroscópicas, como:

- horizonte rocha fresca** - nível onde aflora o glimmerito fresco cortado por veios carbonatíticos;
- horizonte saprolítico** - material isalterítico rico em apatita;
- horizonte laterítico** - material aloterítico, rico em óxidos de ferro;
- cobertura superficial** - material de capeamento do perfil, de origem parcialmente alóctone, argiloso e sem estruturas.

As amostras de rochas fresca analisadas (Tabela 1) apresentam teores de ETR elevados, considerando-se a média crustal de 0,0151%. O carbonatito é mais enriquecido que o glimmerito e apresenta uma maior razão (La/Lu)_n, o que indica que os ETRL concentraram-se preferencialmente em relação aos ETRP. Em ambos os litotipos, a apatita é certamente uma das fases portadoras desse grupo de elementos, pois apresenta em média 0,85% em TR₂ O₃ (Imbernon 1993). Esse valor é dos mais altos encontrados para apatitas provenientes de carbonatitos (Dutra & Formoso 1991). No entanto, a baixa abundância desse mineral nas rochas originais (4,1% no glimmerito e 6,5 %

no carbonatito) não permite atribuir apenas a ele os teores de ETR. Outros minerais possivelmente portadores de ETR nas rochas estudadas são os carbonatos, a barita, o pirocloro e a perovskita.

A análise do conteúdo de ETR nos vários horizontes de alteração do perfil (Tabela 1) evidenciou um ligeiro aumento de TR_2O_3 na passagem do horizonte rocha fresca para o saprolítico, concomitante com um aumento brutal de P_2O_5 . Na passagem do horizonte saprolítico para o laterítico o P_2O_5 cai e há um aumento substancial de TR_2O_3 . O enriquecimento notável dos ETR nos horizontes de alteração, com relação à rocha fresca, o que pode ser observado pelo paralelismo das curvas de distribuição (Figura 1).

A MONAZITA EM MATERIAL SILICIFICADO

Foram coletadas três amostras do material extremamente silicificado na região central do complexo, de onde é explorado o nióbio. Esse material é semelhante ao descrito por Carvalho (1974) na região denominada Córrego do Garimpo, na borda leste do complexo.

As amostras apresentam uma composição mineralógica bastante homogênea, composta por quartzo, barita, monazita e óxidos de ferro, com pequenas variações com relação à quantidade de óxido de ferro e ao grau de cristalização do quartzo. Encontram-se bastante afetadas pelo intemperismo, evidenciado por feições de dissolução e reprecipitação do quartzo e da barita, bem como pela formação de óxidos de manganês. A análise química indica teores de TR_2O_3 entre 2,48 e 4,83%.

As cavidades do material silicificado são preenchidas por um mineral esverdeado identificado por difração

de raios-X como monazita. Uma amostra desse mineral separada manualmente forneceu 50,55% de TR_2O_3 com acentuada predominância dos ETRL sobre os ETRP. Só La e Ce somam 87,50% desse total.

DISCUSSÃO

O comportamento dos ETR em perfis de alteração sobre carbonatito e glimmerito com acentuado enriquecimento em seus níveis superiores, é bem diferente daquele observado em outros litotipos. A explicação para isso reside na mineralogia peculiar dos horizontes de alteração sobre essas rochas:

no saprolito, os ETR permanecem nos minerais concentrados residualmente pela dissolução dos carbonatos, como apatita e perovskita; na laterita, a apatita já sofreu dissolução, liberado o fósforo e os ETR, que cristalizaram-se como fosfatos aluminosos secundários. No horizonte de cobertura, composto por materiais do perfil de alteração misturados com material caulinitico alóctone, os teores de ETR ficam diluídos.

A ausência de fracionamento dos ETR com relação à rocha fresca, durante a alteração intempérica, observada em Catalão I, contraria a tendência apontada na literatura, segundo a qual, dada a maior solubilidade dos complexos de ETRP, os ETRL ficam mais enriquecidos no material alterado. Uma possível explicação para isso é que na passagem rocha fresca horizonte saprolítico os ETR liberados pela dissolução dos carbonatos são lixiviados do perfil por falta de minerais neogenéticos capazes de incorporá-los. Os ETR que permanecem no perfil, concentrando-se residualmente, estão contidos apenas em minerais que resistiram ao intemperismo, principalmente a apatita. Por esse motivo o padrão de distribuição dos ETR no saprolito seria o mesmo da rocha fresca (Figura 1).

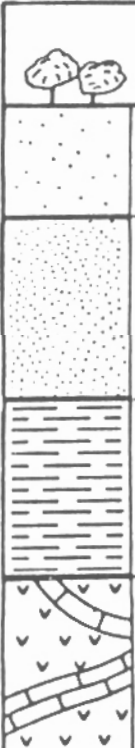
	Teores (%)		$(La/Lu)_N$	MINERALOGIA
	P_2O_5	TR_2O_3		
Cobertura	6,90	0,79	170	Caulinita, quartzo, magnetita, goethita, fosfatos de alumínio
Laterita	4,20 - 4,80	1,30 - 1,92	185 - 287	Goethita, quartzo, fosfatos de alumínio
Saprolito com estrutura conservada	20,0 - 31,2	0,56 - 0,75	183 - 396	Apatita, goethita, quartzo, magnetita, barita, anátasio
Rocha fresca: Glimmerito	1,40	0,13	187	Flogopita, magnetita, apatita, carbonatos
Carbonatito	2,70	0,32	530	Carbonatos, magnetita, olivina, flogopita

Tabela 1 - Dados analíticos para ETR (ppm), P_2O_5 (%), mineralogia e razões $(La/Lu)_n$ para os horizontes de alteração do perfil.

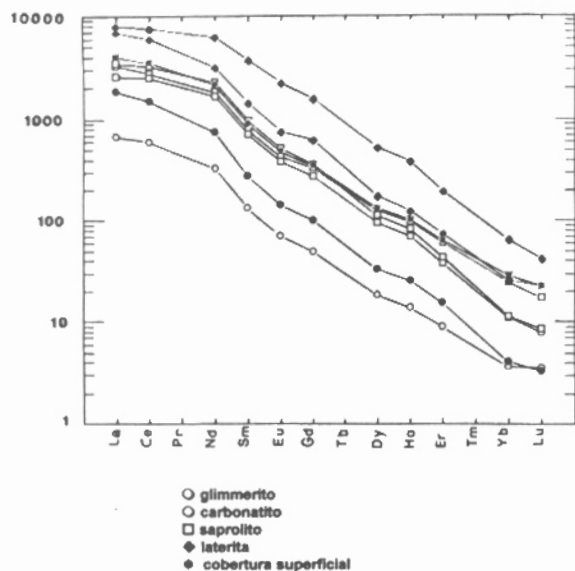


Figura 1 - Curvas para os teores de ETR, normalizados para o condrito.

A distribuição espacial do material silicificado rico em monazita, circunscrito a certas zonas do maciço, sugere mais uma origem hidrotermal do que intempérica. Neumann & Lapido-Loureiro (1993) também sustentam essa hipótese, apresentando o argumento adicional da presença de pirrotita associada a esse material.

Há portanto, dois tipos de concentrações de ETR em Catalão I:

- de origem intempérica, estando esses elementos concentrados na forma de fosfatos aluminosos secundários, neoformados nos níveis superiores do perfil de alteração, e
- de origem hidrotermal, na forma de monazita associada a silixitos.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho somente foi possível de concretizar-se graças ao apoio da Goiásfértil S/A, em especial ao geólogo Carlos Cordeiro Ribeiro e ao engenheiro Vicente Humberto Lobo Cruz e à Mineração Catalão de Goiás Ltda., em especial aos geólogos Manfred Luís Baecker e Luis Carlos Assis pelo apoio nos trabalhos de campo, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de auxílios financeiros para sua realização.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D.P. & GASPAR, J.C. 1992. Química mineral dos carbonatitos e rochas associadas de Catalão I, GO. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37º, São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos*.... São Paulo, SBG. v.2, p.90-91.

BAECKER, M.L. 1983. A mineralização de nióbio do solo residual laterítico e a petrografia das rochas ultramáficas-alcálicas do domo de Catalão I, Goiás. Brasília, 113p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências/UNB).

BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C.; CUNHA, C.A.B. 1970. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 140 p. (Boletim 136).

CARVALHO, W.T. 1974. Trabalho de pesquisa mineral desenvolvido no complexo Ultramáfico-Alcalino de Catalão I, GO. CONGR. BRAS. GEOL., 28º. Porto Alegre, 1974. *Anais*...., Porto Alegre, SBG. v.5, p. 251-272.

DANNI, J.C.M.; BAECKER, M.L.; RIBEIRO, C.C. 1991. The geology of the Catalão I carbonatite complex. In: INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 5ª, Araxá. *Field Guide Book*.... Araxá, p.25-29.

DYER, R.C. 1969 Os domos ultrabásicos-alcálicos dos arredores de Catalão, Geologia Regional. REM- *Revista da Escola de Minas de Ouro Preto*, 27: 170-176.

DUDDY, I.R. 1980. Redistribution and fractionation of rare earth and other elements in a weathering profile. *Chemical Geology*, 30:362-381.

DUTRA, C.V. & FORMOSO, M.L.L. 1991. Algumas considerações sobre a distribuição de ETR em apatitas. CONGR. BRAS. GEOQUÍMICA, 3º, v.1, p.640-646.

FORMOSO, M.L.L.; MELFI, A.J.; KROMBERG, B.I.1989. Comportamento dos ETR no intemperismo tropical. In: CPRM/DNPM/SBGQ. *Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil*. p. 109-120.

HASUI, Y & CORDANI, U.G. 1968. Idades K/Ar de rochas eruptivas mesozóicas do oeste mineiro e sul de Goiás. In: CONGR. BRAS. GEOL., 22º, Belo Horizonte, 1968. *Anais*.... Belo Horizonte, SBG. p. 63-85.

IMBERNON, R.A.L. 1993. Evolução geoquímica e mineralógica dos produtos de alteração intempérica sobre as rochas do complexo alcalino-carbonatítico de Catalão I, Goiás. Dissertação de Mestrado. IG/USP. 132 p.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V. & NEUMANN, R. 1993. Terras raras no Brasil: revisão dos conceitos de minério, depósitos e reservas associados a complexos carbonatíticos (mineralogia, geoquímica, metalogenia). 4º CONGR. BRAS. GEOQUÍMICA, 4º. Brasília, 1993, *Resumos Expandidos*.... Brasília, SBGQ. p. 142-143.

MACHADO JR., D.L. 1991. Geologia e aspectos metalogenéticos do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão II (GO). Campinas. 103p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/UNICAMP).

NESBITT, N.W. 1979. Mobility and fractionation of rare-earth elements during weathering of granodiorite. *Nature*, 279 (5710): 206-210.

NEUMANN, R. & LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V. 1993. Caracterização mineralógica e litogeoquímica dos depósitos de Elementos Terras Raras do Córrego do Garimpo (Catalão, GO), Morro do Ferro (Poços de Caldas, MG) e Barreiro-Arafertil (Araxá, MG). In: CONGR. BRAS. GEOQUÍMICA, 4º Brasília, SBGQ. *Resumos Expandidos*.... p. 189-192.

SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. 1988. Idades K/Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IG-USP, Série Científica*, 19:63-85.

ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B.1981. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Science Reviews* 17:135-154.