



## Ankaratritos do complexo alcalino de Poços de Caldas, MG/SP, Brasil

A.D. Alves & J.H.D. Schorscher

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, 05508-080, São Paulo, SP. artur.alves@cvr.com.br

**Abstract** Ankaratrite breccia lavas and overlying ankaratrite volcanic agglomerates are the oldest rocks of the nephelinitic magmatism of the Poços de Caldas Alkaline Complex. They are nephelinitic-basanitic, basic to ultrabasic rocks formed from H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluid-rich mantle-derived alkaline ultrabasic magmas. Exsolution of the fluids during decompressive magma ascent and subaerial eruption caused intense vesiculation, autoclastic hydraulic fracturing and autohydrothermal alterations of the ankaratrite flows still during extrusion and finally cementation of the autoclastic breccias by calcitic carbonate and zeolitic silicate masses. The ankaratrites belong to two successive groups of distinct magmato-stratigraphic evolution. Breccia ankaratrites formed first, show higher Mg#, lower SiO<sub>2</sub> and higher Cr and Ni concentrations than the subsequent ankaratrites of the volcanic agglomerates. They also show K<sub>2</sub>O, MgO and CaO depletion and Na<sub>2</sub>O enrichment along with increasing SiO<sub>2</sub> contents, whereas the agglomerate ankaratrites reveal an opposite, sodic to potassic trend. Both ankaratrite groups are petrogenetically related to carbonatite magmas as well as to the main phonolites and nepheline syenites of the Poços de Caldas Alkaline Complex.

*Palavras-chave:* ankaratrito, basanita, brecha autoclástica, Poços de Caldas.

**INTRODUÇÃO** O Complexo Alcalino de Poços de Caldas localiza-se no SW do Maciço de Guaxupé, borda E da Bacia do Paraná, numa região de rochas precambrianas. Apresenta forma circular e área de 800km<sup>2</sup> sendo o maior complexo alcalino conhecido da América do Sul e um dos maiores do mundo. Fonolitos, vulcanoclásticas fonolíticas, nefelina sienitos e em menor proporção, ankaratritos e carbonatitos são as rochas magmáticas alcalinas principais. Adicionalmente ocorrem ainda, granitóides, gnáisses e os sienitos do Maciço Pedra Branca precambrianos, sedimentos areníticos e siltíticos de posição estratigráfica incerta, diabásios da Bacia do Paraná e diques lamprofíricos ultramáficos ultrapotássicos, como rochas regionais (Ellert 1959, Schorscher & Shea 1992). Os ankaratritos são as rochas mais antigas do magmatismo nefelínico e ocorrem ao longo da borda interna W-NW do complexo, numa faixa de 8 a 9km de extensão NE-SW, com largura máxima de 2 a 2,5km. Nessa área, afloram desde as cotas mais baixas do vale do Ribeirão do Quartel (~840m) até altitudes de 1075m; a partir daí sendo cobertos por derrames e tufos fonolíticos. Ocorrências menores de ankaratritos são encontradas na borda interna E do complexo alcalino perto do contato com o gnáisse encaixante, como xenolitos em nefelina sienitos do aeroporto e da pedreira da Prefeitura de Poços de Caldas e ainda, como fragmentos em lapilli-tufos fonolíticos.

Os ankaratritos do vale do Quartel formam uma sucessão magmato-estratigráfica que se inicia com derrames de lavas brechadas, evoluindo ao topo, para derrames aglomeráticos. Nos afloramentos foram

encontradas apenas ankaratritos e tufos ankaratríticos por vezes associados com arenitos mesozóicos pretéritos da borda E da Bacia do Paraná; fragmentos de nefelina sienitos, fonolitos ou rochas do embasamento não ocorrem. Tudo indica que os derrames e tufos ankaratríticos depositaram-se diretamente sobre um embasamento precambriano não-exposto ou com coberturas sedimentares mesozóicas parciais. Os tufos ankaratríticos são finamente estratificados, formados por grãos detríticos de quartzo, feldspatos e fragmentos líticos provenientes de sedimentos arenosos e diabásios da Bacia do Paraná. Adicionalmente, contem também, *shards* vulcânicos ankaratríticos finamente vesiculados. Os tufos ankaratríticos apresentam-se cimentados por carbonato calcítico. As lavas ankaratríticas são maciças ou vesiculadas e/ou amigdaloidais, comumente com amígdalas e/ou vesículas coalescentes e alongadas por fluxo magmático. À vesiculação seguiu-se, nos ankaratritos de lavas brechadas, uma importante fase de brechação autoclástica hidráulica e de alteração autohidrotermal pelo desprendimento máximo, tardi a pós-magmático, de grandes volumes de fluidos carbonáticos. Adicionalmente ocorreram ainda fraturamentos tectônicos de todos os ankaratritos já litificados, também na presença de fluidos carbonáticos. Os carbonatos ocorrem nos ankaratritos disseminados na matriz, nas amígdalas associados com zeólitas, como cimento nas brechas autoclásticas e nas venulações e fraturas tectônicas subsequentes que cortam indistintamente fragmentos e matriz.

**PETROGRAFIA** Os ankaratritos são porfíricos, com fenocristais zonados até centimétricos de clinopiroxênios (diopsídio-hedenbergita augitas e diopsídio titanogaugitas) eventualmente com inclusões de opacos finos e olivinas pseudomorfizadas por serpentina, talco, clorita, carbonatos e opacos finos. A matriz é afanítica a fanerítica fina de cor castanho-avermelhada a cinza escura, maciça a microamigdaloidal (<0,1mm) com eventuais estruturas perlíticas de resfriamento rápido. Silicática criptocristalina de devitrificação, é composta de argilominerais/clorofeíta, zeólitas, clinozoisita-epidoto e carbonatos em proporções variáveis, com cristaltos finos disseminados de magnetitas euédricas (<0,5 até ~1mm) e de plagioclásios parcialmente substituídos por carbonato. As abundantes amígdalas de carbonatos calcícos com texturas em mosaico e zeólitas, em proporções e ordens de formação variáveis, sustentam o desprendimento tardi a pós-magmático de grande volume de fluídos aquosos, ricos em CO<sub>2</sub> causando, por depressurização, vesiculação progressiva até a autobrechação dos derrames ankaratríticos. Por vezes, ocorrem ainda leucóxênio-titanita e óxidos secundários de Ti (anatásio e/ou brookita), e ainda, caulinitas hidrotermais. Composições mineralógicas análogas, tanto nas matrizes dos ankaratritos, quanto nos fragmentos de venulações que cortam indistintamente matrizes e fragmentos dos ankaratritos brechados e aglomeráticos já litificados, sugerem a associação próxima desses processos em curto intervalo de tempo.

**GEOQUÍMICA** Os ankaratritos são rochas básicas a ultra-básicas, alcalinas, com SiO<sub>2</sub> variando de 46 a 30% (de peso) e álcalis (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) >3,4%. São as mais primitivas entre todas as rochas alcalinas com nefelina modal e/ou normativa, com teores de MgO de 4,6 a 9,3%, Mg# de 28 a 44, exibindo, ainda, concentrações mais elevadas de CaO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No diagrama TAS (Le Maitre 1989) figuram nos campos dos foiditos e basanita-tefritos (Fig. 1).

Pelas razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O (em %-peso e proporções moleculares) ocorrem variedades potássicas (K<sub>2</sub>O até 6,83%) e sódicas (Na<sub>2</sub>O até 4,46%), com predomínio de, respectivamente, leucita e kalsilita, e nefelina normativas. O mesmo é verificado nas análises das amostras estudadas por Thompson *et al.* (1998) (Fig. 2).

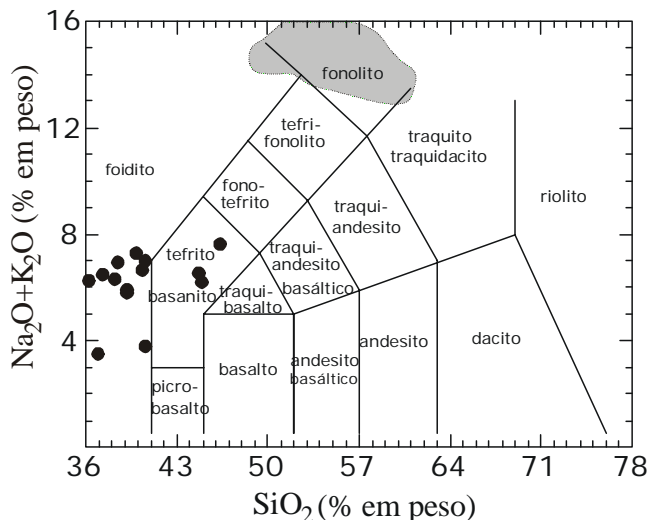


Figura 1. Diagrama TAS (Le Maitre (1989): (●) rochas ankaratríticas; (●) campo dos nefelina sienitos e fonolitos (Alves 2003)

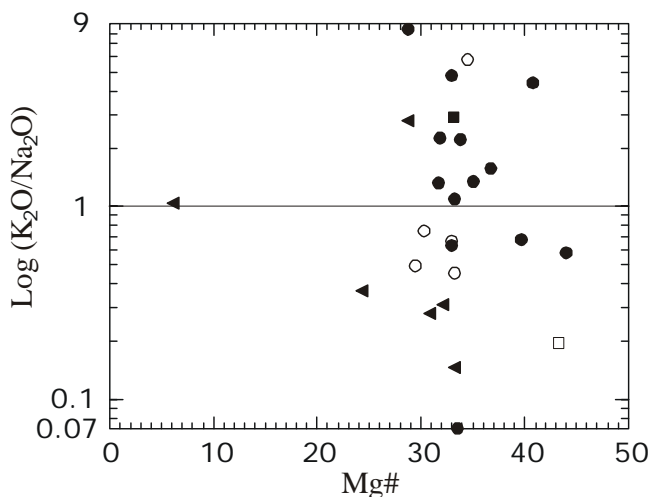


Figura 2. Diagrama Log (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O % em peso) versus Mg# dos ankaratríticos: (●) aglomerados vulcânicos; (■) lavas brechadas; (□) dique ankaratrítico; (○) fragmt. de brecha de conduto vulcânico; (▲) brechas e aglomerados ankaratríticos segundo Thompson *et al.* (1998)

Os ankaratritos de lavas brechadas basais da sequência magmato-estratigráfica são mais primitivos do que aqueles dos aglomerados vulcânicos que os recobrem. Diagramas de Harker ilustram a evolução descontínua distinta dos dois grupos com o aumento dos teores de SiO<sub>2</sub>. Os ankaratritos de lavas brechadas, em geral mais pobres em sílica, mostram decréscimos de K<sub>2</sub>O, MgO e menos claramente de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e aumento de Na<sub>2</sub>O (com SiO<sub>2</sub> crescente). Já nos ankaratritos aglomeráticos, em geral algo mais ricos em sílica, observa-se tendência oposta de decréscimos de Na<sub>2</sub>O e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (menos acentuado) e aumento de K<sub>2</sub>O e MgO (Fig. 3).

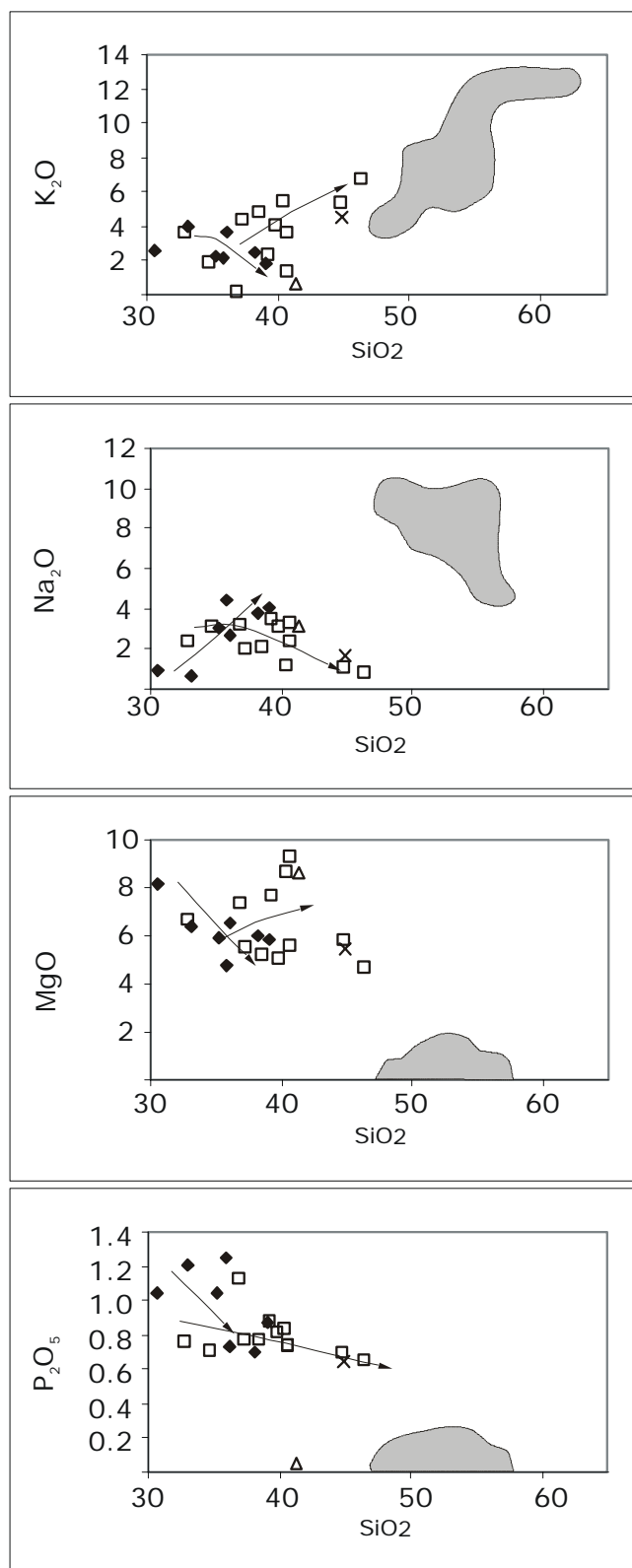


Figura 3. Diagramas de Harker das rochas ankaratríticas: (□) aglomerados vulcânicos; (♦) lavas brechadas; (△) dique ankaratrítico; (×) fragmento em brecha de conduto vulcânico; (●) campo dos nefelina sienitos e fonolitos (Alves 2003)

Os valores elevados de LOI, de >4 até >16% (Tabela 1) indicam a riqueza em carbonatos e zeólitas

de todos os ankaratríticos de Poços de Caldas e apontam para a importância dos fluidos aquo-carbônicos nos seus magmas parentais. Nesse contexto destaca-se ainda que tanto amostras fortemente amigdaloidais quanto sem amígdalas macroscópicas podem apresentar valores de LOI de >10%.

	Nefelinitos ricos e pobres em olivina (I e II)*		Basanita
	I	II	III
%			
SiO <sub>2</sub>	39,80	40,60	41,00
TiO <sub>2</sub>	3,00	2,60	3,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,30	11,40	11,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,80	12,34	15,57
MnO	0,20	0,26	0,23
MgO	12,30	6,39	10,52
CaO	12,80	11,89	11,10
Na <sub>2</sub> O	3,40	4,79	2,33
K <sub>2</sub> O	1,10	3,46	1,48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,60	0,94
H <sub>2</sub> O	2,1	1,65	0,87
CO <sub>2</sub>		0,60	0,07

Tabela 1. Comparação dos ankaratríticos com rochas de outros Complexos Alcalinos

	Ankaratríticos de Poços de Caldas		
		Nefelinitos com baixo e alto LOI (V e VI)	
%	IV	V	VI
SiO <sub>2</sub>	39,10	40,30	32,80
TiO <sub>2</sub>	5,04	4,18	3,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,04	12,45	9,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,74	12,62	11,44
MnO	0,17	0,12	0,19
MgO	5,85	8,68	6,66
CaO	13,74	6,65	11,37
Na <sub>2</sub> O	4,06	1,23	2,35
K <sub>2</sub> O	1,84	5,45	3,68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,87	0,84	0,77
H <sub>2</sub> O	3,55	4,19	1,13
CO <sub>2</sub>	1,16	3,35	16,04

Tabela 1 (Continuação): I-Média dos nefelinitos com olivina (após Le Bas 1987), in: Fitton & Upton, 1987.

II-Basanito da suíte basanita-fonolítica do Monte Kenya (dados de Prince et al, 1985 apud Wilson et al. 1995). III-Média das composições de rochas ígneas extrusivas (176 amostras) (após Le Maitre 1976 apud Hall 1987). IV-fragmento em brecha ankaratrítica (nefelinito) do Complexo Alcalino de Poços de Caldas. V e VI-Blocos (nefelinito) em aglomerado ankaratrítico do Complexo Alcalino de Poços de Caldas

As características geoquímicas e petrográficas apontam no sentido de que as rochas ankaratríticas do Complexo, são enriquecidas em componentes voláteis integrantes de uma importante fase aquo-carbonática



que sofreu processos de desmistura durante a acensão e erupção, exsolvendo-se da fase silicática de composição nefelínico-basanítica.

Em nefelinitos e basanitos de províncias alcalinas associadas com carbonatitos do *rift* do Kenya, os conteúdos de SiO<sub>2</sub> mostram valores entre 40% a 50%, e CaO entre 2% a 16% (Le Bas 1987, Baker 1987), já as rochas basaníticas do Maciço Central de Cantal, na França, exibem conteúdos de SiO<sub>2</sub> próximos de 41%, CaO em torno dos 11% e LOI menor que 1,5% (Wilson *et al.* 1995) (Tabela 1). Os ankaratritos do Complexo Alcalino de Poços de Caldas são mais pobres em SiO<sub>2</sub> (entre 30% e 44%) e exibem altos conteúdos de CaO (6,7% a 17,5%), condizentes com os valores de LOI, CO<sub>2</sub>, com a abundância de carbonatos e de feldspatóides normativos. Comparativamente as rochas ankaratríticas de Poços de Caldas são algo mais enriquecidas em carbonatos que as rochas de outras províncias alcalinas analisadas (Tabela 1).

Outra importante comparação demonstra que a média mundial das composições de nefelinitos e basanitos é claramente mais pobre em álcalis em relação às rochas ankaratríticas do Complexo Poços de Caldas.

**CONCLUSÕES** Os ankaratritos de derrames brechados e dos aglomerados vulcânicos subsequentes são as rochas mais antigas do magmatismo nefelínico do Complexo Poços de Caldas. Sem recorrências posteriores, foram cobertos por derrames e tufos fonolíticos da fase principal do magmatismo nefelínico. Não ocorrem rochas com composições de membros transicionais entre os extremos básico-ultrabásicos ankaratríticos e intermediários nefelino-sieníticos e fonolíticos. Os ankaratritos são rochas nefelínico-basaníticas formadas a partir de magmas ricos em voláteis aquo-carbônicos que causaram geração e preenchimento de vesículas até o ponto de autobrechagem dos derrames de ankaratritos ainda durante a extrusão, fortes alterações auto-hidrotermais

nas rochas em si e cimentação das brechas autoclásticas. Os ankaratritos pertencem a dois grupos distintos, embora de evolução magmato-estratigráfica parecida e subsequente; o primeiro, dos derrames brechados, de tendências potássicas a sódicas e o segundo, dos aglomerados, de tendências sódicas a potássicas com teores crescentes de sílica. Ambos apontam, por características geológicas de campo, mineralógicas e analogias geoquímicas, para relações petrogenéticas com magmas carbonatíticos e com os fonolitos e nefelina sienitos principais do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

Apesar da pequena área de exposição das rochas ankaratríticas, provavelmente sua quantidade volumétrica é muito maior do que a atualmente considerada, estando em grande parte recobertas por derrames fonolíticos e vulcanoclásticas associadas. Tal suposição é reforçada pela existência de afloramentos de lavas ankaratríticas na borda interna E do complexo e pela ocorrência de xenólitos em nefelina sienitos próximos ao aeroporto (Ellert 1959). Considerando, portanto, a distribuição dessas rochas entre as cotas topográficas de 840 a 1075 metros, pode-se estimar uma espessura mínima de 235 metros de rochas distribuídas por pelo menos 1/3 de toda área superficial do complexo (800km<sup>2</sup>) o que totalizaria um volume mínimo de 62km<sup>3</sup> de rochas ankaratríticas produzidas durante as primeiras manifestações vulcânicas do complexo alcalino.

Ainda assim, comparando-se o volume de nefelina sienitos e fonolitos atualmente preservados com o volume calculado de ankaratritos, observa-se claramente, à luz de estudos de derivação de magmas nefelino-sieníticos por diferenciação a partir de magmas máfico-ultramáficos, que a quantidade de magma parental ankaratrítico seria de longe pequena demais para gerar a quantidade de rochas nefelino-sieníticas e fonolíticas existentes. Essa comparação torna-se ainda mais gritante quando se considera o estado atual de denudação da estrutura vulcânica em caldeira do Complexo Alcalino de Poços de Caldas.

### Referência

- ALVES A.D. 2003 *Rochas Vulcanoclásticas do Complexo Alcalino de Poços de Caldas*. Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 106p.
- BAKER H.B. 1987 Nefelinites and carbonatites. In: FITTON J. G. & UPTON B.G.J. (eds.) *Alkaline Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Geological Society Special Publication, n. 30, p. 53 - 83.
- ELLERT R. 1959 Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letras*, Univ. São Paulo, **237**(Geologia 18):5-64.
- FITTON J.G. & UPTON B.G.J. 1987 *Alkaline Igneous Rocks*. Geological Society Spec. Publ. 30. London, Blackwell Sci. Publ. 568p.
- HALL A. 1987. *Igneous Petrology*. 1<sup>st</sup> ed. New York, Longman Scientific & Technical: Wiley, 573p.
- LE BAS B.J. 1987. Outline of the petrology of the Kenya rift alkaline province. In: FITTON J.G., UPTON B.G.J. (eds.). *Alkaline Igneous Rocks. Geological Society Special Publication* n. 30. Blackwell Scientific Publications. p. 293 - 311.



- LE MAITRE R. W. (ed.) 1989. *A Classification of Igneous Rock and Glossary of Terms*. IUGSS-Subc. Syst. Igneous Rock. Oxford, Blackwell Sci. Publ., 139p.
- LE MAITRE R.W. 1976. Some Problems of Projection of Chemical Data into Mineralogical Classifications. *Contrib. Mineral Petrol.*, **56**:181-189.
- SCHORSCHER H.D. & SHEA M. 1992. The regional geology of the Poços de Caldas alkaline complex: mineralogy and geochemistry of selected nepheline syenites and phonolites. *J. Geochem. Exploration*, **45** (1-3): 25-51.
- THOMPSON R.N., GIBSON S.A., MITCHELL J.G., DICKIN A.P., LEONARDOS O.H., BROD J.A., GREENWOOD J.C. 1998. Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume? *J. Petrology*, **39** (8):1493-1526.
- WILSON M., DOWNES H., CEBRIÁ J. M. 1995. Constrasting Fractionation Trends in Coexisting Continental Alkaline Magma Series; Cantal, Massif Central, France. *Journal of Petrology*, **36**(6):2739-1753.