

QUÍMICA MINERAL DE EUDIALITAS DA SUÍTE ALCALINA DA ILHA MONTE DE TRIGO (SP)

Enrich, G.E.R.¹ & Ruberti, E.¹¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. gastonenrich@hotmail.com

ABSTRACT

Small euhedral grains of eudialyte are found in a nepheline microsyenite dyke within the Monte de Trigo Island alkaline complex. Its composition is characterized by a relative enrichment of Ca, REE, Mn and Nb, which corresponds to the eudialyte-kentbrooksite solid solution. The presence of eudialyte shows the agpaic trend of the final differentiates of this magmatism, similarly to other bodies of the Serra do Mar Alkaline Province.

INTRODUÇÃO

A eudialita, um ciclossilicato complexo de Na, Ca, Fe e Zr, foi descrita pela primeira vez em 1819 por F. Stromeyer (Johnsen *et al.*, 2001) como um dos constituintes maiores de um nefelina sienito do complexo alcalino de Ílimaussaq, na Groenlândia. Trata-se de um mineral típico de nefelina sienitos e fonólitos agpaíticos, podendo também ser encontrado em granitos alcalinos. No Brasil, a eudialita foi descrita em diversas ocorrências congêneres, como Poços de Caldas, Lages, Passa Quatro e Ilha dos Búzios.

A fórmula do grupo da eudialita é expressa por (Johnsen *et al.*, 2001):

$Na_{12}[M(1)]_6[M(2)]_3Zr_3[M(3)](Si_{25}O_{73})(O,OH,H_2O)_3(Cl,EOH)_2$ possuindo uma combinação única de anéis de $[Si_3O_9]^{6-}$ e $[Si_5O_{13}]^{10-}$, alojando no sítio M(1) elementos como Ca e ETR, no M(2) Fe e Mn, e no M(3) Nb e Si.

O presente trabalho descreve pela primeira vez a ocorrência e a química de eudialitas na Ilha Monte de Trigo, litoral norte do Estado de São Paulo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Análises quantitativas pontuais (WDS) e imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-COMPO) das eudialitas foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do IGC-USP, utilizando-se instrumental JEOL-8600, com sistema de automação Voyager-NORAN. As condições analíticas empregadas foram de 25kV para potencial de aceleração, 100nA para corrente de feixe eletrônico e 30µm de diâmetro de feixe. Para a obtenção de imagens, as condições foram de 15kV, 20nA e 1µm, respectivamente. A rotina analítica WDS desenvolvida conta com 27 elementos, incluindo maiores e traço (ETR, HFSE e LILE). Foram avaliados os efeitos de migração dos elementos leves (principalmente F e Na), a partir de testes de reprodutibilidade sobre o mesmo ponto.

CONTEXTO GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A ilha Monte de Trigo consiste de um complexo alcalino intrusivo do tipo sienito-gabróide (Enrich, 2000), cretácico,

pertencente à Província Alcalina da Serra do Mar. Diques de nefelina microssienito inequigranular seriado médio a fino, hololeucocrático e de tendência agpaítica ocorrem na ilha, cortando um corpo cumulático de olivina gabros com nefelina, melateralitos e clinopiroxenitos. Aparentemente eles representam diferenciados finais do *stock* nefelina sienítico miaskítico, que sustenta o maciço.

A eudialita foi encontrada em apenas um destes diques, compondo paragêneses distintas nas porções do centro e próximas à parede do dique. A rocha possui textura em mosaico, composta por feldspato alcalino, nefelina eudral, além de egrina e (mangano) magnetita anedrais. Junto à parede do dique (amostra MTR01a), a eudialita encontra-se associada com lãvenita, zirconolita, (Ce)-pirocloro, titanita e apatita, enquanto no centro (amostra MTR01b), com wöhlerita, perovskita, britholita e titanita. Apresenta-se sob a forma de pequenos grãos eudrais, hexagonais a arredondados e levemente zonados (Figura 1). Ela é incolor, de relevo moderado e birrefringência baixa, semelhante à apatita.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Análises representativas de um total de 22, de eudialitas da ilha Monte de Trigo, são apresentadas na tabela 1. A fórmula estrutural foi calculada com base em 29 cátions de Si, Al, Zr, Ti, Hf, Nb e Ta, utilizando a distribuição catiônica segundo Johnsen *et al.* (2001).

De acordo com os resultados analíticos, o Si preenche as 24 posições relativas aos anéis da estrutura, além de uma das posições do sítio M(3), central ao anel de coordenação 9. A outra posição de M(3) é dividida entre o restante de Si (0,035 a 0,453 a.f.u.), Nb (0,310 a 0,759 a.f.u.) e Ti (0,064 a 0,135 a.f.u.) e traço de Ta (até 0,042 a.f.u.). As concentrações maiores de Si e Ti ocorrem nos grãos encontrados junto à borda do dique e no núcleo dos grãos da porção central, enquanto Nb possui teores maiores na borda dos grãos do centro do dique (Figura 2a).

O Zr preenche totalmente seu sítio (2,87 a 3,17 a.f.u.) acompanhado de traços de Hf (até 0,039 a.f.u.).

No sítio M(2), a substituição entre Mn (1,356 a 2,084 a.f.u.) e Fe²⁺ (1,402 a 2,126 a.f.u.) é extensa (Figura 2b), com as

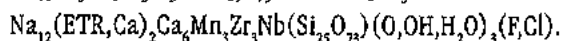
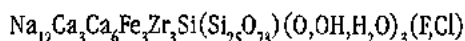
bordas dos grãos mais ricos em Mn. O Mg aparece em quantidades pequenas (até 0,473 a.f.u.) na amostra da borda do dique (MTR01a). O excesso de cátions (até 0,963 a.f.u.) sugere que parte do Mn e Fe²⁺ seja alocado em M(1), ou ainda parte como Fe³⁺ no M(3).

O Ca (6,101 a 7,100 a.f.u.), juntamente com o excesso de Mn (e Fe²⁺), preenche as 6 posições de M(1). O excedente de Ca (até 1,710 a.f.u.), juntamente com os ETR (0,393 a 0,656 a.f.u.) e Y (0,106 a 0,244 a.f.u.), segundo a distribuição catiônica adotada, são locados num sub-sítio do Na, com 3 posições denominado Na(4). O Na ocupa praticamente na íntegra os demais sub-sítios, sempre próximo a 12,0 a.f.u., variando dentro do erro estatístico 2σ, de 0,1 a.f.u. Somam-se ao Na, o K (0,155 a 0,339 a.f.u.) e traço de Pb (até 0,028 a.f.u.) e U (até 0,020 a.f.u.).

O comportamento dos ETR em relação ao condrito CI (McDonough & Sun, 1995) é caracterizado por um forte enriquecimento dos ETR leves (La, Ce e Pr), com razões La_N/Nd_N variando de 5,4 a 8,3 (Figura 2c). Os ETR médios a pesados, por outro lado, mantêm-se praticamente constantes em relação ao condrito CI, com Nd_N/Yb_N variando de 2,2 a 2,9 para a amostra da borda do dique (MTR01a) e de 0,8 a 1,3 para a amostra no centro do dique (MTR01b).

O sítio dos halogênios possui ocupação entre 1,76 e 2,12 a.f.u., e dado ao erro 2σ de 0,25 a.f.u., pode-se considera-lo completo (2 a.f.u.). Neste sítio, o Cl predomina (1,53 a 1,66 a.f.u.) sobre o F (0,2 a 0,5 a.f.u.).

A partir das variações químicas encontradas, juntamente com as correlações entre os diferentes íons, pode-se definir uma substituição acoplada ao longo de dois membros finais, representadas pelas fórmulas:



Estas composições são similares às fórmulas da eudialita *sensu stricto* e kentbrooksita de Johnsen *et al.* (2001), respectivamente, porém com Ca e ETR ocupando 3 posições do sítio Na, e sem definir um comportamento claro para o F.

Assim, as composições obtidas situam-se mais próximas ao membro final da kentbrooksita rica em ETR e Ca (Figura II). Os grãos mais próximos à parede do dique (MTR01a) são relativamente mais ricos no membro final eudialita *sensu stricto* rica em Ca, interpretados como de cristalização precoce. A borda dos grãos do centro do dique (MTR01b) é relativamente mais ricas no membro final kentbrooksita, rica em ETR e Ca (Figura 2), sugerindo uma evolução magmática no sentido eudialita-kentbrooksita.

CONCLUSÕES

A paragénes mineral deste dique, que inclui a eudialita, evidencia um enriquecimento em álcalis, E, ETR e HFSE nos estágios finais do magmatismo da ilha. Estas características ilustram bem o caráter residual do magma em que foram cristalizados, típico de magmas agpáticos. A principal diferença em relação aos magmas agpáticos mais comuns reside na abundância em Ca e ETR juntamente com o enriquecimento de álcalis e na insaturação em Al, que se traduzem nos altos conteúdos de Ca e ETR na eudialita e na presença de minerais como britholita (silicato de Ca, ETR e P) e Nb-Zr-silicatos de Na e Ca como lavenita e wöhlerita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENRICH, G.E. 2000. *Geologia e química mineral da ilha Monte de Trigo, litoral norte do Estado de São Paulo*. São Paulo, IGC-USP, 227p. Dissertação de mestrado.
- JOHNSEN, O.; GRICE, J.D. & GAULT, R.A. 2001. The eudialyte group: a review. In: SØRENSEN, H. (ed.). The Ilímaussaq alkaline complex, South Greenland: status of mineralogical research with new results. *Geol. Greenland Surv. Bull.*, 190: 65-72.
- MCDONOUGH, W.F. & SUN, S. 1995. The composition of the Earth. *Chem. Geol.* 120: 223-253.

Tabela 1. Composição química representativa, em porcentagem de peso, para eudialitas da ilha Monte de Trigo.

Amostra	mtr01a	mtr01b núcleo	mtr01b borda	Fórmula estrutural calculada na base de 29 cátions (Si, Al, Nb, Ta, Ti, Zr)					
				mtr01a	mtr01b núcleo	mtr01b borda	mtr01a	mtr01b núcleo	mtr01b borda
SiO ₂	48,273	47,296	46,019	Si	25,000	25,000	Ca	1,339	1,185
TiO ₂	0,217	0,336	0,157	Σ sítio Si	25,000	25,000	Y	0,108	0,243
ZrO ₂	12,112	11,984	11,565	Si	0,402	0,227	La	0,134	0,138
HfO ₂	0,114	0,224	0,238	Al	0,009	<0,007	Ce	0,174	0,207
Nb ₂ O ₅	1,532	1,906	3,086	Nb	0,369	0,466	Pr	0,015	0,013
Ta ₂ O ₅	0,068	0,172	0,255	Ta	0,010	0,025	Nd	0,042	0,047
Al ₂ O ₃	0,015	<0,011	<0,011	Ti	0,086	0,135	Sm	0,006	0,013
Y ₂ O ₃	0,385	0,855	0,730	Σ sítio M(3)	0,876	0,847	Gd	0,013	0,018
La ₂ O ₃	0,588	0,702	1,096	Zr	3,107	3,119	Er	0,004	0,017
Ce ₂ O ₃	0,901	1,061	1,454	Hf	0,017	0,034	Yb	0,005	0,018
Pr ₂ O ₃	0,079	0,064	0,121	Σ sítio Zr	3,124	3,153	Th	<0,002	<0,002
Nd ₂ O ₃	0,286	0,244	0,308	Mg	0,325	0,010	U	0,015	0,012
Sm ₂ O ₃	0,034	0,070	0,088	Fe	2,124	1,534	Pb	0,022	0,014
Gd ₂ O ₃	0,073	0,104	0,099	Mn	0,551	1,457	K	0,230	0,189
Er ₂ O ₃	0,026	0,101	0,078	Σ sítio M(2)	3,000	3,000	Na	11,463	12,277
Yb ₂ O ₃	0,027	0,096	0,079	Mn	0,805	0,299	Σ Cátions	51,490	52,291
ThO ₂	<0,019	<0,019	<0,019	Ca	5,195	5,701	F	0,476	0,447
UO ₂	0,128	0,102	0,086	Σ sítio M(1)	6,000	6,000	Cl	1,647	1,613
PbO	0,154	0,095	0,124				Σ Ânions	2,123	2,060
FeO	4,828	3,436	3,780						
MnO	3,043	3,894	4,523						
MgO	0,414	0,012	0,017						
CaO	11,415	12,040	12,009						
Na ₂ O	11,298	11,863	11,325						
K ₂ O	0,373	0,278	0,255						
F	0,286	0,265	0,172						
Cl	1,847	1,783	1,670						
-O=Cl,F	0,54	0,51	0,45						
Total	97,99	98,42	98,39						

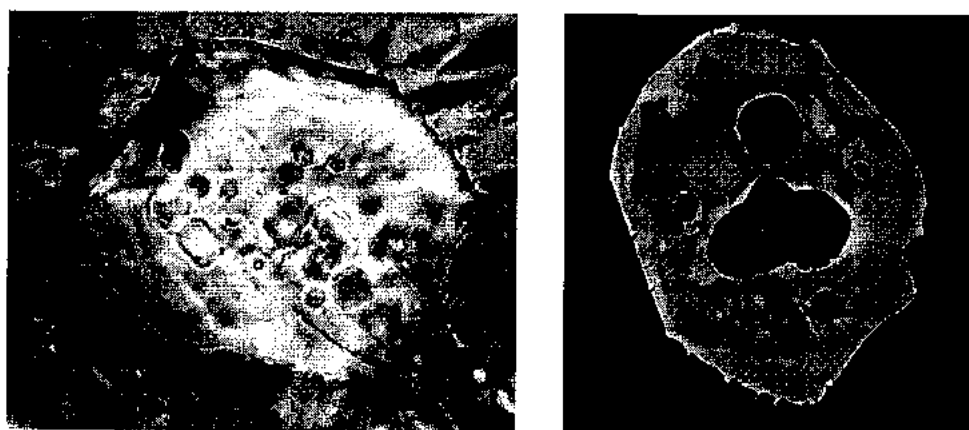


Figura 1. Fotomicrografia (esquerda) e imagem BEI-COMPO (direita) de grãos eudiais zonados de eudialita, em dique de nefelina microssienito da ilha Monte de Trigo.

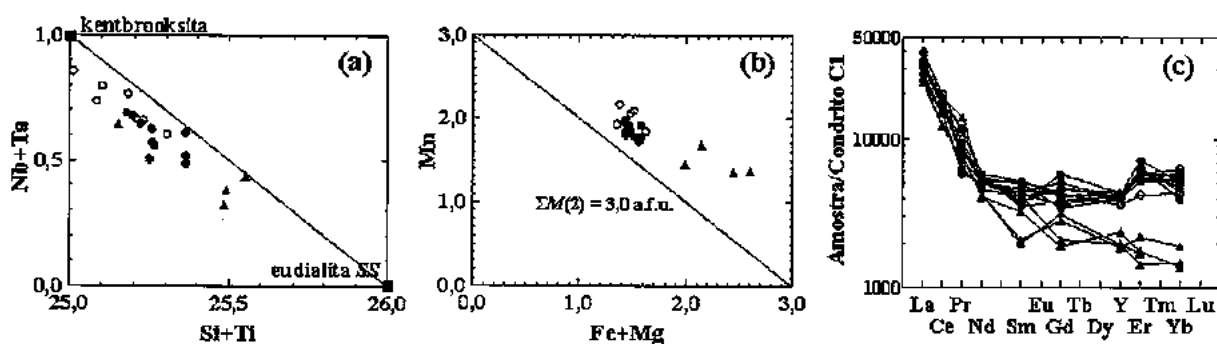


Figura 2. Diagramas de variação química para as eudialitas da Ilha Monte de Trigo. (a) substituição do sítio M(3); (b) substituição do sítio M(2); (c) multi-elementar para ETR, normalizados segundo o condrito C1 de McDonough & Sun (1995). Símbolos: amostra MTR01a, na borda do dique (▲); amostra MTR01b, no centro do dique, para os núcleos (●) e bordas (○) dos grãos.