

CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO QUÍMICA DE ANFIBÓLIOS EM GRANITOS PERALCALINOS DO COMPLEXO MORRO REDONDO (PR/SC), PROVÍNCIA GRACIOSA

Frederico C. J. Vilalva⁽¹⁾ & Silvio R. F. Vlach

Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

1: fredcjv@igc.usp.br

Abstract

Amphiboles are the main mafic minerals in peralkaline granites from the Morro Redondo Complex, an important occurrence of A-type granites from the Graciosa Province in southern Brazil. They appear as interstitial crystals, corresponding mainly to riebeckite-arfvedsonite, as well as richterite. Amphibole compositions in the less evolved granites vary from sodic-calcic to riebeckite, while in the more evolved granites compositional trends towards arfvedsonite are seen. In the first case, the compositional evolution indicates crystallization conditions in progressively more oxidizing environments, while in the second a reducing trend is usually inferred. This later reducing trend is, however, apparent. The inferred presence of Li in arfvedsonite indicates that crystallization developed under oxidizing conditions as high as or even higher than those found in the less evolved rocks.

Keywords: amphiboles, microanalysis, peralkaline granites

Introdução

O Complexo Morro Redondo (Góis, 1995), com cerca de 250 Km², é uma das maiores ocorrências de granitos de tipo-A da Província Graciosa (Gualda & Vlach, *no prelo*), uma importante província pós-colisional com idade neoproterozóica (*ca.* 580 Ma, Vlach et al., 2006), formada por mais de uma dezena de plútôns graníticos e sieníticos de ambas as associações alcalina e aluminosa de granitos de tipo-A, na região sul-sudeste do Brasil.

O complexo aflora nas proximidades das cidades de Tijucas do Sul (PR) e Garuva (SC). É formado por dois plútôns, um em que aparecem granitos *moderadamente peraluminosos* (Plutônio Quiriri) e outro com termos *peralcalinos* (Plutônio Papanduva). Rochas ácidas e básicas constituem uma associação vulcânica bimodal contemporânea.

As rochas que formam o Plutônio Papanduva estão entre as mais evoluídas da Província Graciosa, com IA $[(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3] > 1,0$ (Kaul & Cordani 2000). Sua mineralogia inclui egririna e anfibólios essencialmente sódicos, contrastando com as composições mais cálcicas encontradas em outros plútôns da província (*e.g.* granitos e sienitos da Serra da Graciosa - Gualda & Vlach, 2007; Plutônio Corupá - Garin, 2003).

Neste trabalho apresenta-se uma caracterização química dos anfibólios presentes nas rochas do Plutônio Papanduva e discute-se algumas implicações para a evolução petrogenética.

Aspectos geológicos e petrográficos gerais

O Plutônio Papanduva aflora na porção norte do Complexo Morro Redondo. É constituído por álcali-feldspato granitos hipersolvus leucocráticos a hololeucocráticos, de granulação média a fina. De acordo com suas estruturas e texturas, são individualizadas quatro unidades distintas, denominadas informalmente de A, B, C e D.

As Unidades A e B são caracterizadas por teores mais elevados de quartzo (50-60 % modal) e por texturas deformacionais desde cataclásticas (Unidade B) até protomiloníticas (Unidade A), resultantes de eventos deformacionais tardíos pós-magmáticos. A Unidade C agrupa as rochas menos evoluídas do plutônio. As estruturas são maciças e os teores de quartzo próximos de 20 %. A Unidade D compreende diques de álcali-feldspato microgranitos interpretados como o último evento magmático.

Ao microscópio as texturas são dominadas por uma trama de feldspato alcalino mesopertítico e quartzo, com anfibólios, egririna e minerais acessórios intersticiais. Os acessórios incluem zircão, fluorita, astrofilita, ilmenita, chevkinita e titanita. Nas rochas mais evoluídas da Unidade A, as texturas são marcadas por porfiroclastos de anfibólio sódico e feldspato potássico, em matriz granoblástica de quartzo, albita, feldspato potássico, egririna, e acessórios raros que conferem um caráter “agpáítico” às rochas (Vilalva & Vlach, 2006), como narsarsukita, britholita, nacareniobsita, zirconossilicatos de (Na, K) e ekanita, além de neptunita e enigmatita em amostras com ilmenita ausente.

Materiais e Métodos

Análises quantitativas pontuais (WDS) e imagens de elétrons retro-espelhados em modo composicional (BEI-Compo) de cristais representativos das diferentes variedades texturais de anfibólio do Plutônio Papanduva foram obtidas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do IGc-USP, que conta com o equipamento JEOL-8600S. As condições

analíticas empregadas foram 15 keV, 20 nA, 5 μm e 15 keV, 20 nA e 1 μm para a voltagem de aceleração, corrente e diâmetro do feixe eletrônico para as análises pontuais e para as imagens BEI-Compo, respectivamente. As correções dos efeitos de matriz e redução dos valores de intensidades para porcentagens em peso de óxidos foram efetuadas utilizando o programa PROZA (Bastin & Heijligers 1990). As análises foram feitas ao longo de perfis núcleo-borda, com as variações compostionais mais relevantes evidenciadas pelas imagens eletrônicas.

As proporções catiônicas e a partição $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ foram calculadas de acordo com os procedimentos descritos em Gualda & Vlach (2005), uma variação do método de Schumacher (1997). O Li pode ser um componente significativo em anfibólios sódicos, com valores que podem superar 1,0 % em peso de Li_2O (cf. Hawthorne et al., 1993), ocasionando problemas no cálculo das fórmulas estruturais, particularmente em arfvedsonita (e.g., excesso de Si, deficiência no sítio C). Uma vez que a microssonda não o detecta, os seus teores foram estimados com o método de Oberti et al. (2003).

Aspectos texturais e químismo mineral

Os anfibólios sódicos são predominantes no Plutão Papanduva. Aparecem como cristais isolados intersticiais, em agregados de 3 ou mais grãos ou como porfiroclastos alongados a estirados em amostras protomiloníticas. Sobrecrecimentos pós-magnéticos de cristais de egirina são relativamente comuns.

Nas rochas de estrutura **maciça** da Unidade C, o anfibólio é mais cárlico. Cristaliza-se como cristais subédricos isolados ou em aglomerados de 2 ou 3 cristais. Variedades tardias mais sódicas aparecem como sobrecrecimentos ao longo das bordas e planos de fratura/clivagem ou como pequenos cristais sobre quartzo.

O padrão pleocróico é variável: os tipos mais cárlicos são caracterizados por tons de verde, variando para azul-esverdeado e azul-escuro nos tipos mais sódicos. Zonamentos compostionais concêntricos, irregulares a setoriais são bem marcados nos anfibólios sódicos (Fig. 1).

Os dados químicos obtidos (Tab. 1, Fig. 2) mostram que os anfibólios sódicos correspondem a arfvedsonita na Unidade A e a riebeckita nas Unidades B e D. As variedades sódico-cárlicas da Unidade C são tipicamente Fe-richterita, enquanto os sobrecrecimentos sódicos classificam-se como riebeckita. Em amostras próximas às bordas da unidade, com foliação subsolidus incipiente, o anfibólio corresponde a uma arfvedsonita. (análises 9 e 10, Tab.1).

As variações químicas sistemáticas núcleo → borda (Fig. 1) estão relacionadas ao aumento de Si, Na_B , Fe^{3+} , e diminuição de Al, Ca_B , Ti e Fe^{2+} . A somatória ($\text{Na}+\text{K}$)_A aumenta junto às bordas dos anfibólios sódicos, e diminui nas variedades sódico-cárlicas.

Na Unidade C, os anfibólios evoluem desde Fe-richterita até riebeckita (Fig. 2), com razão a $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$ variando de 0,1 até 0,3-0,5. A evolução acompanha, aproximadamente, o aumento nos teores modais de quartzo, com aumento de Si e diminuição de ($\text{Na}+\text{K}$)_A. Nas Unidades A, B e D a cristalização se dá em direção a composições mais ricas em Na, K e Si, em detrimento de Ca e Al (Fig. 2), com razões $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$ entre 0,2 e 0,4 (Tab. 1).

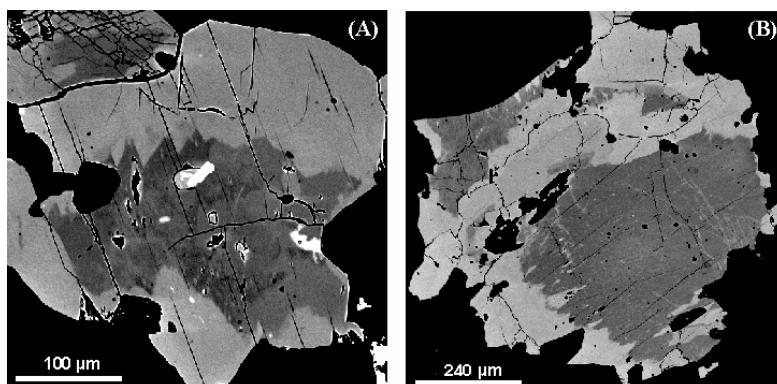


Figura 1: Imagens de elétrons retro-espalhados em modo compostional de anfibólios sódicos com zonamento compostional concêntrico irregular (A) e setorial (B) do Plutão Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR-SC). Alternam-se núcleos/porções escuras mais ricas em Ca, Fe^{2+} , Al e Ti, com bordas/porções mais claras, ricas em Na, Fe^{3+} e Si.

Implicações e Considerações Finais

A trajetória evolutiva observada nos anfibólios da Unidade C indica condições progressivamente mais oxidantes, como observado em outros plútões da Província Graciosa e em diversas ocorrências descritas na literatura (e.g. Gualda & Vlach, 2007, Strong & Taylor, 1984), enquanto as tendências observadas para os anfibólios das Unidades A, B e D sugerem condições redutoras (Strong & Taylor, 1984). Entretanto, tais condições são aparentes, uma vez que a arfvedsonita pode conter quantidades apreciáveis de Li, elemento incorporado através da substituição

acoplada $\text{LiFe}^{3+}(\text{Fe}^{2+})_2$ e, de fato, razões $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$ superiores a 0,3 calculados para estes últimos indicam cristalização em condições tão ou mais oxidantes do que aquelas atuantes na Unidade C.

A presença de arfvedsonita nas amostras com foliação subsolidus das Unidades A e C sugere que a deformação tardia a pós-magmática teve papel importante na infiltração e/ou remobilização de fluidos mais sódicos.

Tabela 1. Análises químicas (% peso) representativas para anfíbólios do Plutônio Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR-SC). * Valores estimados pelo método de Oberti et al. (2003); a.l.d.: valores abaixo do limite de detecção

Anfíbolio Análise Localização Unidade	Fe-richterita		riebeckita				arfvedsonita			
	1 borda C	2 núcleo	3 borda B	4 núcleo	5 borda D	6 núcleo	7 borda A	8 núcleo	9 borda C	10 núcleo
	SiO ₂	48,29	48,17	50,55	49,73	50,50	50,14	50,36	50,22	48,83
ZrO ₂	a.l.d.	a.l.d.	0,35	0,19	0,06	0,08	0,09	a.l.d.	0,11	0,06
TiO ₂	1,66	1,52	0,79	0,24	0,73	1,07	0,60	0,88	1,16	1,82
Al ₂ O ₃	1,61	1,62	0,67	1,10	0,42	0,82	0,17	0,71	0,27	1,24
FeO ^T	33,82	33,24	35,80	36,77	35,65	35,11	32,40	32,87	33,84	33,02
MnO	0,76	0,74	0,53	0,66	0,60	0,59	0,71	0,62	0,45	0,68
ZnO	0,17	0,28	0,12	0,18	0,34	0,29	0,43	0,37	0,39	0,36
MgO	0,73	0,67	0,33	0,31	0,09	0,06	0,05	0,05	0,46	0,33
CaO	3,08	3,25	0,18	1,66	0,28	1,42	0,20	1,41	0,59	1,47
Na ₂ O	6,21	6,09	6,57	6,01	6,54	6,01	7,73	8,50	7,09	6,82
K ₂ O	1,60	1,57	0,56	0,14	1,19	1,63	3,48	1,59	1,85	1,83
F	0,13	0,27	0,05	0,08	0,44	0,72	1,12	1,15	0,46	0,52
Cl	0,03	0,03	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	0,03	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
<i>Li</i> ₂ O*	0,00	0,00	0,08	0,00	0,13	0,23	0,73	0,70	0,30	0,26
O=F=Cl	0,06	0,12	0,02	0,03	0,18	0,31	0,47	0,48	0,19	0,22
Total	98,55	97,75	98,06	98,41	98,14	99,00	98,30	99,16	98,28	97,74
<i>Proporções catiônicas com base nas modificações sugeridas por Gualda & Vlach (2005) para o método de Schumacher (1997)</i>										
Si	7,697	7,744	7,876	7,798	7,924	7,847	7,966	7,865	7,949	7,768
Al	0,302	0,307	0,123	0,203	0,077	0,150	0,032	0,131	0,050	0,232
Ti	0,199	0,184	0,092	0,028	0,086	0,126	0,072	0,104	0,137	0,218
Fe ³⁺	0,598	0,493	1,840	1,610	1,748	1,564	1,702	1,472	1,426	1,150
Zr	0,000	0,000	0,027	0,015	0,005	0,006	0,007	0,000	0,008	0,005
Zn	0,020	0,033	0,014	0,021	0,039	0,033	0,050	0,042	0,045	0,043
Mg	0,174	0,162	0,077	0,073	0,022	0,015	0,012	0,012	0,107	0,077
Li	0,000	0,000	0,055	0,000	0,088	0,149	0,480	0,457	0,196	0,170
Fe ²⁺	3,910	3,976	2,827	3,213	2,931	3,032	2,585	2,834	3,022	3,245
Mn	0,103	0,100	0,069	0,087	0,080	0,078	0,095	0,082	0,059	0,092
Ca	0,525	0,560	0,031	0,279	0,047	0,237	0,033	0,237	0,099	0,250
Na	1,918	1,900	1,985	1,827	1,990	1,824	2,370	2,580	2,158	2,104
K	0,324	0,323	0,110	0,027	0,237	0,326	0,702	0,317	0,372	0,371
F	0,067	0,136	0,023	0,038	0,216	0,358	0,562	0,570	0,228	0,263
Cl	0,009	0,007	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma cátions	15,846	15,924	15,149	15,217	15,491	15,753	16,667	16,702	15,856	15,988
mg# [Mg/(Mg+Fe ²⁺)]	0,043	0,039	0,027	0,022	0,007	0,005	0,005	0,004	0,034	0,023
[Fe ^{3+)/(Fe²⁺+Fe³⁺)]}	0,133	0,110	0,394	0,334	0,374	0,340	0,397	0,342	0,321	0,262

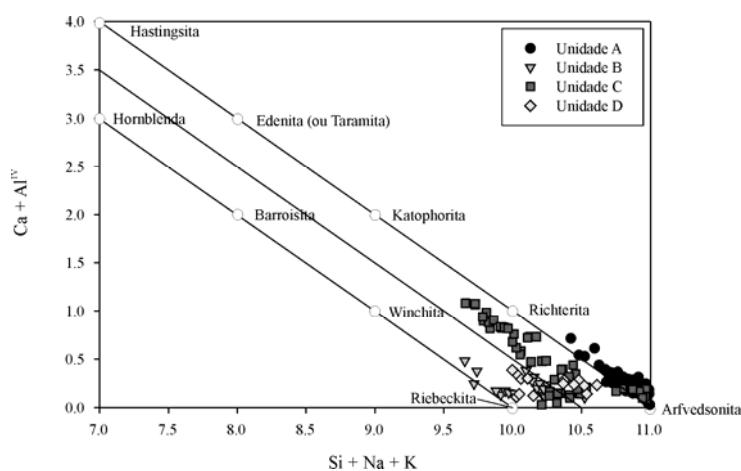


Figura 2: Correlação entre as proporções de Si+Na+K x Ca+Al^{IV} para os anfíbólios do Plutônio Papanduva, Complexo Morro Redondo (PR-SC).

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo continuado suporte ao Laboratório de Microssonda Eletrônica do IGc-USP e os técnico Marcos Mansueto pelo auxílio na obtenção das análises e imagens. F. Vilalva agradece à CAPES pela bolsa de mestrado concedida durante a realização deste trabalho.

Referências

- Bastin G.F. & Heijligers H.J.M. 1990 Progress in electron-probe micro-analysis. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, **21**: 90-92.
- Garin Y. 2002. *Mineralogia e petrologia da associação alcalina de sienitos e granitos de Tipo-A do Maciço Corupá (SC)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 168p.
- Góis J.R. de. 1995. *Contribuição à petrografia e geoquímica da parte setentrional do Complexo Vulcano-Plutônico Morro Redondo, divisa do Paraná com Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 86p.
- Gualda G.A.R. & Vlach S.R.F. 2005. Stoichiometry-based estimates of ferric iron in calcic, sodic-calcic and sodic amphiboles, a comparision of various methods. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **77**: 521-534.
- Gualda G.A.R. & Vlach S.R.F. 2007. The Serra da Graciosa A-type granites and syenites, southern Brazil Part 2: Petrographic and mineralogical evolution of the alkaline and aluminous associations. *Lithos*, **93**: 328-339.
- Gualda G.A.R. & Vlach S.R.F. *no prelo*. The Serra da Graciosa A-type granites and syenites, southern Brazil Part 1: Regional setting and geological characterization. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.
- Hawthorne F.C., Ungaretti L., Oberti R., Bottazzi P., Czamanske G. 1993. Li: An important component in igneous alkali amphiboles. *American Mineralogist*, **78**: 733-745.
- Kaul P.F.T. & Cordani U.G. 2000. Geochemistry of the Serra do Mar granitoid magmatism and tectonic implications, southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(1): 115-119.
- Oberti R., Câmara F., Ottolini L., Caballero J.M. 2003. Lithium in amphiboles: detection, quantification, and incorporation mechanisms in the compositional space bridging sodic and ^3Li -amphiboles. *European Journal of Mineralogy*, **15**: 309-319.
- Schumacher J.C. 1997. Appendix 2, the estimate of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. *Canadian Mineralogist*, **35**: 238-246.
- Strong D.F. & Taylor R.P. 1984. Magmatic-subsolidus and oxidation trends in composition of amphiboles from silica-saturated peralkaline igneous rocks. *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, **32**: 211-222.
- Vilalva F.C.J. & Vlach S.R.F. 2006. Petrography and mineralogy of the peralkaline granites from the Morro Redondo Complex (PR-SC), south Brazil, and some constraints for the development of rare minerals. In: Workshop on A-type granites and related rocks through time (IGCP-510). Belém, p.76.
- Vlach S.R.F., Siga Jr. O., Gualda G.A.R., Basei M.A.S., Hyppolito T., Vilalva F.C.J. 2006. Precise zircon U-Pb (TIMS) dating of dioritic rocks and implications for the age of the Graciosa Province of A-type granites and syenites, southern Brazil. In: Workshop on A-type granites and related rocks through time (IGCP-510). Belém, p.77.