

Identificação de restitos em granito anatético: análises por microssonda eletrônica e LA-ICPMS em granada e monazita do granito Nazaré Paulista, São Paulo

Lucelene Martins (lucemart@usp.br) & Valdecir de Assis Janasi (vajanas@usp.br)
Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Abstract

The veined grey garnet-biotite granite is the typical facie of the 625 Ma Nazaré Paulista anatetic granite in the Atibaia region, São Paulo, Brazil. Trace elements in garnet and monazite were analyzed by electron microprobe and laser ablation ICP-MS to investigate the restite record in the grey granite and the leucogranite veins that cut this granite, which was probably formed *in situ*. The garnet from the grey granite carries a restitic component, represented by ETRP+Y-rich core that is similar to the garnet from the country-rock paragneisses. The garnet from leucogranite veins shows a distinctive composition (low HREE in the cores, increasing slightly to the rims), interpreted as magmatic, as well the garnet rim from the grey granite. Complex trace-element zonation patterns are revealed by BSE images of the monazite from the garnet leucogranite veins. This monazite shows a dark core with high Y and HREE concentration, which probably record a pre-magmatic monazite. The largest homogeneous area (rim) in monazite has high LREE concentration, which possibly represents magmatic monazite produced during anatexis. Therefore, the garnet and monazite chemistry confirms the restite record in the typical Nazaré Paulista granite.

Key Words: mineral chemistry, garnet, monazite

1. Introdução

O granito anatético Nazaré Paulista foi primeiramente individualizado e mapeado por Campos Neto *et al.* (1983); este autor mapeou o núcleo principal do granada-biotita granito mais homogêneo, localizado a NW da cidade de Nazaré Paulista (SP), como um corpo mais ou menos circular, com 4-5 km de diâmetro e uma área de 14 km², e cercado por 0,5-3 km de migmatitos. A petrogênese do granito Nazaré Paulista têm sido alvo de investigação de diversos autores (*e.g.*, Campos Neto *et al.*, 1983; Wernick *et al.*, 1987; Tassinari, 1988; Artur *et al.*, 1993; Ragatky, 1998; Janasi 1999, Janasi *et al.*, 2005, Martins, 2006). O granito Nazaré Paulista é bastante heterogêneo, com estruturas nebulíticas e *schlieren*, xenólitos de gnaisse, e diferentes variedades texturais. Extensos cortes na Rodovia Dom Pedro I exibem algumas características peculiares, como, por exemplo, presença de glomérulos de granada e biotita, foliação que varia de leve a mais evidente, facies brancas hololeucocráticas (leucogranitos com cristais euédricos de granada e destituídos de biotita), e granada-biotita granito cinzento (ou granito cinzento) com densa venulação por granitos mais claros (granada leucogranito). A vénula e o granito cinza hospedeiro possuem semelhanças geoquímicas que indicam formação *in situ*, fortalecida pela completa ausência de indicação de formação das vénulas por injeção de material externo (Martins, 2006). As idades dos granitos Nazaré Paulista (624 ± 2 Ma) e dos leucogranitos a eles associados (625 ± 4 Ma) foram obtidas pelo método U-Pb em monazita e zircão por Janasi, 1999.

Os resultados apresentados neste trabalho vêm do mesmo afloramento examinado pelos autores supracitados; um afloramento com excelente exposição de rocha localizado na rodovia D. Pedro I, próximo à cidade de Nazaré Paulista. Nossa trabalho aborda a presença de restitos no granito cinza venulado, facie mais peculiar do granito Nazaré Paulista (Foto 1), fazendo uso da técnica de análise *in situ* por microssonda eletrônica e ablação a laser (LA-ICPMS) em granada e monazita.



Foto 1 - (A) Granada-biotita granito cinza venulado por granada leucogranito; típica facie do granito Nazaré Paulista;

(B) detalhe dos glomérulos de granada, parcialmente substituídos por biotita; feição peculiar que caracteriza o granito cinza venulado.

2. Materiais e métodos

Análises químicas quantitativas e imagens de elétrons retroespelhados (BSE) de granada e monazita foram obtidas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da USP. O equipamento utilizado foi uma microssonda JEOL JXA-8600S, provida de cinco espectrômetros de dispersão de comprimento de onda (WDS), cada qual com dois cristais analisadores, com sistema de automação NORAN/Voyager. As análises de elementos terras raras (ETR) em cristais de granada foram feitas com um Laser 213 nm (LAM) acoplado a um Plasma Quadrupolo ICP-MS instalado no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Boston (BU).

3. Análise de ETR e Y em granada

A difusão dos ETR pesados e Y na granada é muito lenta e resulta em zoneamentos químicos que podem permitir a definição de padrões evolutivos primários que se correlacionam com eventos metamórficos, de anatexia e cristalização magmática (Otamendi *et al.*, 2002; Jung & Hellenbrand, 2005).

O padrão de terras raras observado nos grãos de granada cinza e do leucogranito da vênula é em geral pobre em ETR leves, com forte anomalia negativa de Eu, e as principais variações se concentram nos ETR pesados (Fig. 1).

A granada do granito cinza mostra núcleo bastante enriquecido em ETR pesados e Y, com um padrão que parece não estar correlacionado com o do restante do grão (Fig. 1a). A abundância de ETR pesados entre a borda e o núcleo do grão varia bem mais que uma ordem de magnitude, refletindo o desequilíbrio entre o cristal e o líquido durante a cristalização (Harris *et al.*, 1995). O padrão apresentado pelo núcleo dos grãos de granada do granito cinza encontra correspondente em granada de gnaisses migmatíticos a ele associado (Martins *et al.*, 2004).

A granada do leucogranito que vêm o granito cinza mostra aumento dos ETR pesados e Y em direção à borda do grão (Fig. 1b), comportamento relacionado à cristalização fracionada, ou seja crescimento ígneo (e.g., Jung & Hellenbrand, 2005).

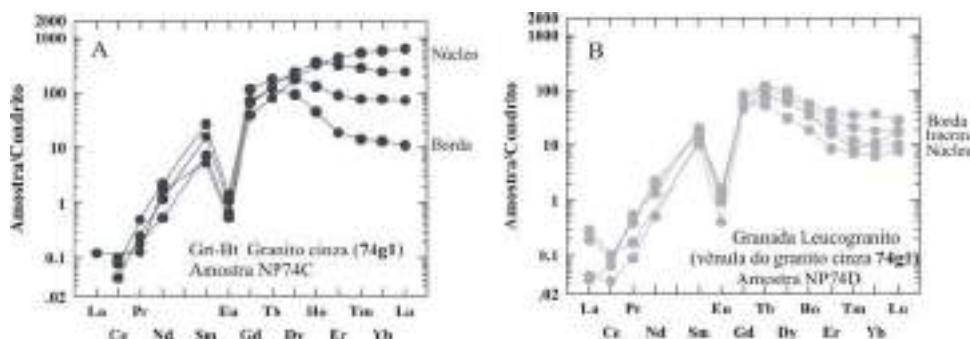


Figura 1. Padrão de ETR normalizado para o condrito (valores de Boyton, 1984) de granada do granito cinza (A) e da vênula de leucogranito (B).

4. Análise de ETR, Y, U e Th em monazita

Dentre os minerais presentes no granito cinza e no leucogranito da vênula, a monazita é o mineral mais rico em ETR leves, Th e U, além de ser relativamente rico em Y.

Em geral, ocorre uma leve diminuição na concentração de ETR pesados e Y em direção à borda dos cristais de monazita do granito cinza e do leucogranito da vênula, com padrão ETR bastante similar (Fig. 2). A monazita dessas rochas apresenta freqüentes feições de dissolução, reprecipitação e sobrecrecimento, facilmente reconhecidas em imagem BSE. Na imagem BSE da Fig. 3, a monazita do leucogranito que vêm o granito cinza mostra núcleo interno e externo, respectivamente com cor bem clara e outra escura. O núcleo interno, mais escuro, é corroído, mostrando que este núcleo sofreu processo de reabsorção antes do crescimento do núcleo externo e borda. O contraste de coloração observado na imagem de elétrons retroespelhados (BSE) é dado principalmente pela variação do ThO₂ e Y₂O₃. Ocorre diminuição dos teores de Y₂O₃, UO₂ e ETR pesados do núcleo para a borda do cristal (Fig. 3). O núcleo interno do grão de monazita da Fig.

3 mostra alto Y, de contorno irregular, manteado por uma porção idiomórfica de menor Y (Ponto analítico 2; Fig. 3), e muito provavelmente representa um evento anterior à anatexia.

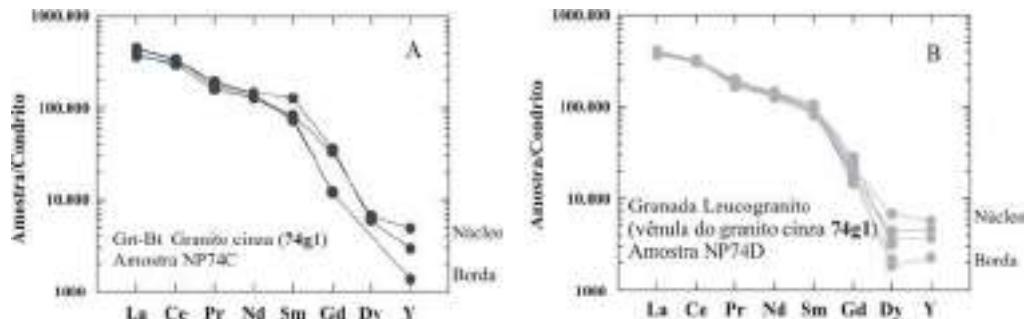


Figura 2. Padrão de ETR normalizado para o condrito (valores de Boyton, 1984) de monazita do granito cinza (A) e da vénula de leucogranito (B).

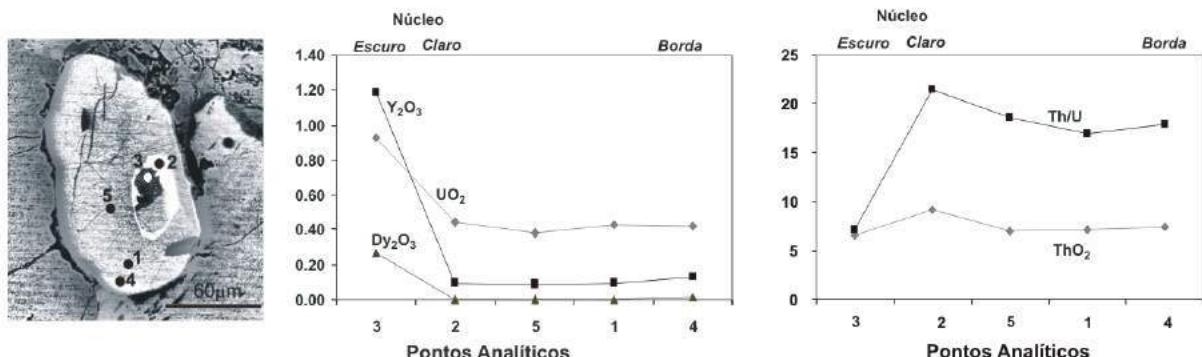


Figura 3. Imagem de elétrons retroespalhados (BSE) e perfil químico (núcleo escuro - núcleo claro - borda) de monazita da vénula de leucogranito no granito cinza. A porção mais escura possui alto U, Y e ETR pesados (baixo Th). Nota: o grão de monazita é idiomórfico com um núcleo externo, mais claro, e núcleo interno, mais escuro e com contato irregular (processo de dissolução e reprecipitação?).

5. Discussões e Conclusão

A literatura recente tem demonstrado que, em muitas granadas de rochas associadas à anatexia crustal, núcleos de granada com altos teores de Y e ETR pesados podem ser interpretados como tendo sido formados em ambiente metamórfico sem a presença de um fundido, enquanto que as bordas com baixos teores de Y e ETR pesados são tidas como cristalizadas na presença de um fundido (e.g., Harris *et al.*, 1995; Otamendi *et al.*, 2002; Jung & Hellenbrand, 2005). O núcleo enriquecido em ETR pesados e Y da granada do granito cinza é interpretada como o registro da presença de restito no magma. A variação química na granada desse granito é bastante acentuada e registra provavelmente evento metamórfico e anatexítico. Em geral, a granada apresenta bordas pobres em ETR pesados e Y, que devem representar o produto peritético da reação de quebra de micas, onde nenhuma fase rica em ETR pesados participa da fusão. Por outro lado, a granada da vénula mostra aumento, embora sutil, dos ETR pesados em direção à borda do grão, que é interpretado como sendo registro da fusão progressiva e dissolução de fases ricas em ETR pesados, com a incorporação desses elementos no fundido (Harris, *et al.*, 1995).

A monazita do leucogranito que venuula o granito cinza mostra freqüente núcleo com alto Y e ETR pesados e baixo Th, que muito provavelmente registra monazita restítica, até então inclusa em biotita e liberada durante a fusão. No entanto, essa monazita não foi completamente dissolvida no fundido, servindo de núcleo para monazita magmática (borda com mais baixo Y). Portanto, a borda deve representar cristalização a partir de um magma que se enriqueceu em ETR leves devido à dissolução (ainda que incompleta) de cristais de monazita da rocha fonte. Essa monazita deve ter crescido em equilíbrio

com granada, e o leve enriquecimento em ETR pesados para a borda da granada, presente nessa mesma rocha, poderia ser também reflexo da dissolução de monazita no magma, uma vez que a granada tem preferência na incorporação desses elementos, também presentes na monazita.

Desse modo, a química mineral de granada e monazita confirma a presença de restito no granito Nazaré Paulista cinza venulado. O processo não eficiente entre a separação do fundido e fases não fundidas da rocha fonte é sem dúvida um mecanismo importante de diferenciação, pois desloca para longe do mínimo granítico o *mush* primário (Chappell *et al.*, 1987).

6. Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro de Auxílio de Pesquisa da FAPESP, coordenado pelo Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi (Proc. 2000/2509-8), bolsa e reserva técnica de doutorado da FAPESP (Proc. 01/01101-8) e bolsa de estágio no exterior fornecida pela CAPES (Proc. BEX 0494/03-8), que viabilizaram todas as atividades laboratoriais de L. Martins. Agradecemos ainda à Profa. Dra. Terry Plank pelo trabalho de supervisão com o LA-ICPMS na Universidade de Boston, e ao Prof. Dr. Silvio R. F. Vlach e ao Sr. Marcos Mansueto pelas análises obtidas no laboratório de Microssonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP.

7. Referências Bibliográficas

- Artur, A.C., Wernick, E., Hormann, P.K. & Weber-Diebenfach, K.** 1993. Associações plutônicas do Complexo Granítóide Socorro (Estados de São Paulo e Minas Gerais, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, **23**:265-273.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Artur, A.C., Silva, M.E., Machado, R., Dias Neto, C.M. & Fragoso Cesar, A.R.** 1983. Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. In: 1^a Jornada sobre a Carta Geológica do Estado de São Paulo em 1:50.000. PRÓ-MINÉRIO, São Paulo, p. 61-78.
- Chappell, B.W., White, A.J.R. & Wyborn, D.** 1987. The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *Journal of Petrology*, **28**(6): 1111-1138.
- Harris, N.B.W., Ayres, M. & Massey, J.** 1995. Geochemistry of granitic melts produced during the incongruent melting of muscovite: Implications for the extraction of Himalayan leucogranite magmas. *Journal of Geophysical Research*, **100**(B8): 15767-15777.
- Janasi, V.A.** 1999. Petrogênese de granitos crustais na Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 304p.
- Janasi, V.A., Martins, L. & Vlach, S.R.F.** (2005) Detailed field work in two outcrops of the Nazaré Paulista anatetic granite, SE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(1): 99-110.
- Jung, S. & Hellebrand E.** 2006. Trace element fractionation during high-grade metamorphism and crustal melting-constraints from ion microprobe data of metapelitic, migmatitic and igneous garnets and implications for Sm-Nd garnet chronology . *Lithos*, **87**: 191-213.
- Martins, L., Janasi, V.A. & Planck, T.** 2004. A laser-ICPMS study of REE in garnet of Nazaré Paulista-type anatetic granites from Atibaia region, Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **68**(11): A679.
- Martins, L.** 2006. Geração e Migração de Magmas Graníticos na Crosta Continental: Estudos de Detalhe em Granitos E Migmatitos da Região de Nazaré. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 160p.
- Otamendi, J.E., de la Rosa, J.D., Patiño Douce, A.E. & Castro A.** 2002. Rayleigh fractionation of heavy rare earths and yttrium during metamorphic garnet growth. *Geology*, **30**: 159-162.
- Ragatki, D.** 1998. Contribuição à geoquímica e geocronologia do Domínio São Roque e da nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé na região de Igaratá e Piracaia, SP. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 131p.
- Tassinari, C.C.G.** 1988. As idades das rochas e dos eventos metamórficos da porção sudeste do Estado de São Paulo e sua evolução crustal. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 236p.
- Wernick, E., Weber-Diefenbach, K. & Correia, P.R.** 1987. O granítóide Nazaré Paulista: dados petrográficos, químicos e de tipologia do zircão. In: Simpósio Regional de Geologia, 6, Rio Claro, SP. Atas, SBG-NSP, **1**: 123-134.