



## Modelos de fusão parcial para as suítes de baixo-TiO<sub>2</sub> da porção oriental do enxame de diques da Serra do Mar, RJ

T. Dutra<sup>1</sup>, S. Valente<sup>2</sup>, A. Corval<sup>1</sup>, B. P. Duarte<sup>1</sup>, M. Arena<sup>1</sup> & M. Heilbron<sup>1</sup>

1 Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rua São Francisco Xavier 524 Maracanã - Rio de Janeiro - Cep: 20550-900; geologothiago@yahoo.com.br, arturcorval@c4t.com.br, biapasch@uerj.br, michelearena@gmail.com

2 Departamento de Geociências da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro UFRuralRJ. BR-465 km 7 Seropédica RJ 23890-000. sergio@ufrj.br

**Abstract** Low-TiO<sub>2</sub> tholeiitic dykes occur within the Região dos Lagos (RJ) from Maricá up to Búzios eastwards the Serra do Mar Dyke Swarm. The dykes strike preferentially NE-SW bearing distinctive intrusive structures. The basalts are included in a low-TiO<sub>2</sub>, subalkaline, tholeiitic basaltic suite hereafter called the Costa Azul suite. The Costa Azul suite evolved by 42% fractional crystallisation involving a phenocryst assemblage composed of 15% de olivine, 40% augite and 45% plagioclase. Nevertheless, lithogeochemical data point to the existence of more than one low-TiO<sub>2</sub> suite in the study area. Geochemical modeling has shown that these suites can be related to different degrees of partial melting from a similar mantle source with residual garnet.

**Palavras-chave:** Basaltos toleíticos, modelagem de fusão parcial.

**INTRODUÇÃO** O Enxame de Diques da Serra do Mar é constituído por basaltos toleíticos do Cretáceo Inferior (c. 132 Ma) que intrudem, principalmente, gnaisses e granitóides do Orógeno Ribeira de idade Neoproterozóica/Cambro-ordoviciano. Os diabásios constituem uma série transicional de afinidade toleítica com duas suítes: baixo-TiO<sub>2</sub> e alto-TiO<sub>2</sub> (Valente 1997, Corval 2005, Dutra 2006).

A provincialidade geoquímica, em termos de suítes de baixo-TiO<sub>2</sub> e alto-TiO<sub>2</sub>, é um dos aspectos mais relevantes associados ao estudo de províncias basálticas continentais. A origem dessa provincialidade tem sido atribuída, fundamentalmente, a processos de fusão parcial de fontes distintas ou, alternativamente, a processos de fusão parcial diferencial a partir de uma mesma fonte (p.ex.: Gibson *et al.* 1995). A produção, interpretação e integração de dados petrológicos, estruturais, estratigráficos, e geocronológicos, dentre outros, tem permitido construir modelos geodinâmicos para o Cretáceo Inferior do sudeste do Brasil (p.ex.: Gibson *et al.* 1995). Esses modelos podem servir não somente à elucidação de processos mantélicos e crustais complexos, mas também à compreensão dos parâmetros que controlam a geração e distribuição de reservas minerais como, por exemplo, de óleo e gás em bacias sedimentares localizadas em áreas de rifteamento continental.

**A SUÍTE COSTA AZUL** A Suíte Costa Azul é composta por diques de basaltos toleíticos de baixo-TiO<sub>2</sub> (Dutra 2006) que ocorrem na porção oriental do

Enxame de Diques da Serra do Mar, na região dos Lagos, entre Maricá e Búzios. Eles têm direções, preferencialmente, NE-SW, subordinadamente, NNE-SSW e mais raramente, NW-SE, e formas intrusivas variáveis. Os basaltos são holocristalinos a hipocristalinos, inequigranulares a equigranulares, intergranulares e intersertais. Eles são constituídos, essencialmente, de plagioclásio, augita e/ou pigeonita, com olivina corroída, minerais opacos e apatita como minerais acessórios e biotita, bowlingita, idingisita, uralita e saussurita como minerais secundários. Em termos regionais, a Suíte Costa Azul pode ser relacionada com a Suíte Esmeralda que ocorre na subprovíncia Sul de Paraná-Etendeka, muito embora abrangendo um espectro mais amplo de razões Ti/Y (Monteiro & Valente 2003, Dutra, 2006). As rochas da suíte Costa Azul evoluíram por 42% de cristalização fracionada sem mudança de uma assembléia fracionante composta por 15% de olivina, 40% de augita e 45% de plagioclásio (Dutra 2006).

**MODELOS DE FUSÃO PARCIAL** Na Suíte Costa Azul há amostras com a mesma concentração de MgO mas com razões de elementos traços incompatíveis imóveis muito distintas. Isto evidencia a existência de mais de uma suíte de baixo-TiO<sub>2</sub> na área de ocorrência da Suíte Costa Azul.

Um modelo de fusão parcial em equilíbrio modal foi elaborado para testar a possibilidade de gerar os líquidos basálticos de baixo-TiO<sub>2</sub> com o mesmo grau de diferenciação (isto é, mesmas concentrações de MgO) mas distintos valores de La/Yb<sub>(N)</sub>, a partir de

uma mesma fonte. A fórmula da equação que expressa o processo de fusão parcial em equilíbrio modal é (Wood & Fraser 1976):

$$C_L/C_O = 1/(F + D_{RS} - F D_{RS}), \text{ onde:}$$

- $C_L$  = concentração do elemento traço no líquido;  
 $C_O$  = concentração do elemento traço no sólido (fonte) residual;  
 $D_{RS}$  = coeficiente de partição total no sólido residual;  
 $F$  = fração de peso do líquido formado, isto é, o grau (%) de fusão parcial (p.ex.:  $F=0.1 = 10\%$  de fusão parcial).

$D_{RS}$  pode ser expresso por:

$$D_{RS} = \sum_{i=1}^n W_i K_{d_i}, \text{ onde:}$$

- $W$  = proporção da fase  $i$  no sólido residual, e  
 $K_{d_i}$  = coeficiente de partição mineral/líquido.

Os valores de  $K_{d_i}$  utilizados na modelagem são aqueles sugeridos por diversos autores para líquidos basálticos e basálticos andesíticos, conforme compilação de Rollinson (1993).

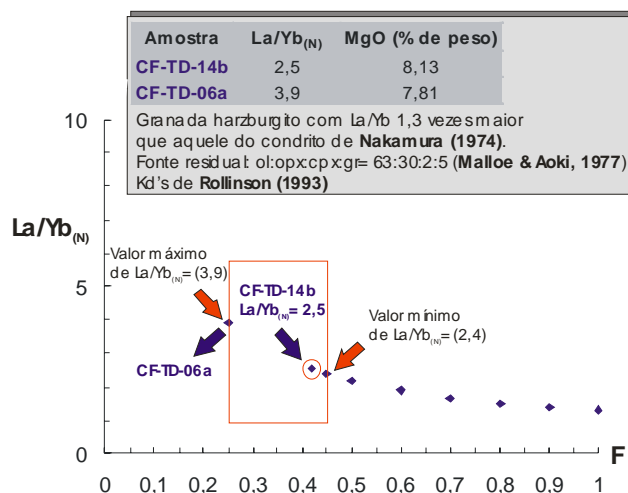
Os principais problemas intrínsecos à modelagem são: 1) a escolha de fases estáveis na fonte mantélica residual, e 2) a fixação de valores médios de fusão parcial para a geração de líquidos olivina-toleíticos a partir de um manto lherzolítico ou harzburgítico.

Análises experimentais mostraram que, para a média de valores de fusão parcial necessária à geração de líquidos olivina-toleíticos (*i.e.* 25-45% de fusão parcial da fonte) a grandes profundidades (35GPa), o resíduo seria harzburgítico com fase aluminosa (Mysen & Kushiro 1977). Mais recentemente, cálculos termodinâmicos também têm mostrado que o clinopiroxênio, preferencialmente à fase aluminosa, desaparecerá do resíduo acima de aproximadamente 18% fusão parcial sob pressões menores que 1GPa (Hirschmann *et al.* 1999). Em ambos os casos, portanto, os resultados experimentais demonstram que a fase aluminosa permanece no sólido residual durante o processo de fusão parcial sob as condições de pressão mencionadas acima.

Duas amostras de basalto de baixo-TiO<sub>2</sub> com distintas razões La/Yb<sub>(N)</sub> foram selecionadas para a modelagem. A amostra CF-TD-14b é a amostra parental (MgO=8,13%peso) da suíte de baixo-TiO<sub>2</sub>. A outra amostra selecionada (CF-TD-06a) tem um valor de MgO (7,80%peso) que pode ser considerado igual àquele da amostra CF-TD-14b uma vez que a diferença (4%) dos valores de MgO entre as duas amostras selecionadas é menor que o valor da

exatidão (5%) obtido para esse óxido pelos métodos analíticos utilizados (Dutra, 2006). Assim, as amostras CF-TD-14b e CF-TD-06a representam líquidos basálticos com o mesmo grau de evolução, muito embora possuam razões de La/Yb<sub>(N)</sub> muito distintas (respectivamente, 2,5 e 3,9). Essa diferença de razões La/Yb<sub>(N)</sub> e os resultados de modelagem do processo de cristalização fracionada apresentados por Dutra (2006) sugerem que essas amostras não pertencem à mesma suíte. Assim, o principal objetivo do modelo de fusão parcial é verificar se essas amostras podem estar relacionadas a diferentes quantidades de fusão parcial a partir de uma mesma fonte ou se elas foram geradas a partir de fontes distintas, com base nos seus diferentes valores de La/Yb<sub>(N)</sub>.

Os resultados do modelo são apresentados na Fig. 1 A fonte residual escolhida foi um granada harzburgito (Maaloe & Aoki 1977), considerada representativa do manto litosférico subcontinental, ou seja, uma fonte do tipo enriquecida. O fator de enriquecimento escolhido para a fonte harzburgítica equivale a 1,3 vezes o valor da razão La/Yb do condrito de Nakamura (1974) (ou seja, La=0,8554ppm e Yb=0,44ppm). Essa fonte, portanto, representa um manto que teria sido mais enriquecido (cerca de 2,6 vezes) em La do que em Yb (cerca de 2,0 vezes), comparativamente aos valores condriticos, gerando uma razão La/Yb=1,9 para a fonte harzburgítica.



**Figura 1.** Diagrama mostrando os testes de modelos de fusão parcial em equilíbrio modal para suítes de baixo-TiO<sub>2</sub> do Enxame de Diques da Serra do Mar. O retângulo vermelho delimita o intervalo de  $F$  gerador de magmas basálticos toleíticos (Mysen & Kushiro 1977, Jacques & Green 1980).  $F$  = a quantidade de fusão parcial

O modelo proposto foi elaborado assumindo que a fusão em equilíbrio ocorreu a profundidades dentro do campo do granada peridotito ( $\geq 3,0$  GPa; p.ex.:



Kogiso *et al.* 1998) devido à existência de uma litosfera espessa do Gondwana no Cretáceo Inferior bem como pela caracterização do envolvimento de um componente litosférico na petrogênese dos basaltos estudados (Dutra 2006). Os testes foram feitos com base em um resíduo harzburgítico com 63% de olivina, 30% de ortopiroxênio, 2% de clinopiroxênio e 5% de granada (Maaloe & Aoki 1977). O modelo assume que o clinopiroxênio e a granada são fases estáveis no resíduo durante todo o intervalo de fusão parcial requerido para produzir magmas basálticos toleíticos (25%-45%), com base nos dados de petrologia experimental apresentados anteriormente (Mysen & Kushiro 1977, Hirschmann *et al.* 1999). O modelo foi construído de modo a que a razão  $La/Yb_{(N)}$  da amostra CF-TD-06a (3,9) pudesse ser gerada sob o valor mínimo de fusão parcial (*i.e.* 25%) (Fig. 1). Nas mesmas condições, a razão  $La/Yb_{(N)}$  da amostra CF-TD-14b (2,5) poderia ser gerada no valor próximo do máximo de fusão parcial (*i.e.* 42%) (Fig. 1).

**CONCLUSÃO** Os dados obtidos pela modelagem geoquímica do processo de fusão parcial permitem

concluir que os basaltos das suítes de baixo  $TiO_2$ , do enxame de diques da Serra do Mar, na porção referente à região dos Lagos, têm razões  $La/Yb_{(N)}$  que podem ter sido geradas no intervalo de 25% a 45% de fusão parcial necessários para a formação de líquidos toleíticos (Mysen & Kushiro 1977). Logo, os basaltos dessa suíte podem ter sido gerados a partir de uma mesma fonte sob diferentes quantidades de fusão parcial.

Testes alternativos ao modelo de fusão parcial apresentado acima envolvendo uma fonte harzburgítica sem granada, bem como fonte harzburgítica com espinélio foram efetuados. No entanto, os modelos não foram capazes de gerar as diferentes razões  $La/Yb_{(N)}$  (isto é, 2,5 e 3,9) dos dois líquidos dentro do intervalo de fusão parcial considerado (25-45%). Desse modo, considerando-se a validade do modelo proposto, a petrogênese dos basaltos de baixo- $TiO_2$  do Enxame de Diques da Serra do Mar na área de estudo parece ter envolvido necessariamente um componente litosférico espesso, isto é, com fase aluminosa representada por granada.

### Referências

- CORVAL A. 2005. *Petrogênese das suítes basálticas toleíticas do Enxame de Diques da Serra do Mar nos setores central e norte do estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, UERJ, 92p.
- DUTRA T. 2006. *Petrogênese dos basaltos de baixo- $TiO_2$  do Enxame de Diques da Serra do Mar na Região dos Lagos*, RJ. XIII, 111. Faculdade de Geologia-UERJ, Msc., Programa de Pós-Graduação em análise de Bacias e Tectônica, Petrologia e Recursos Minerais, 2006.
- GIBSON S.A., THOMPSON R.N., DICKIN A.P., LEONARDOS O.H. 1995. High-Ti and low-Ti mafic potassic magmas: Key to plume-lithosphere interactions and continental flood-basalt genesis. *Earth and Planetary Science Letters*, **136**: 149-165.
- HIRSCHMANN M.M., ASIMOW P.D., GHIORSO M.S. & STOLPER E.M. 1999. Calculation of Peridotite Partial Melting from Thermodynamic Models of Mineral and Melt III. Controls on Isobaric Melt Production and the Effect of Water on Melt Production. *Journal of Petrology* **40**: 831-851.
- JQUES A.L. & GREEN D.H. 1980. Anhydrous melting of peridotite at 0-15 Kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **73**: 287-310.
- KOGISO T., HIROSE K. & TAKAHASHI E. 1998. Melting experiments on homogeneous mixtures of peridotite and basalt: application to the genesis of ocean island basalts. *Earth and Planetary Science Letters* **62**(1-4):45 - 61.
- MAALOE S. & AOKI, K. 1977. The Major Element composition of the upper mantle estimated from the composition of lherzolites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **63**: 161-173.
- MONTEIRO H.L.J. & VALENTE S.C. 2003. *Estudo petrológico comparativo das suítes de baixo- $TiO_2$  do Enxame de Diques da Serra do Mar*: Jornada de Iniciação Científica, UFRRJ, Seropédica, 2003, 54-55.
- MYSEN B.O. & KUSHIRO I. 1977. Compositional variations of coexisting phases with degree of melting of peridotite in the upper mantle. *Amer. Min.* **62**: 843-865.
- NAKAMURA N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **38**: 757-775.
- ROLLINSON H.R. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Harlow: Longman Scientific & Technical. 352pp.
- VALENTE S.C. 1997. Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of the Cretaceous dykes of Rio de Janeiro, Brazil. *Tese de Doutorado*, The Queen's University of Belfast, inédita, 366p.
- WOOD B.J. & FRASER, D.G. 1976. *Elementary thermodynamics for geologists*. Oxford: Oxford University Press. 303pp.