

SCHWARZ, D.; PETSCH, E.J. & KANIS, J. 1996. Sapphires from Andranondambo Region, Madagascar. *Gems&Gemology*, 32: 80-99.

SCHWARZ, D. & STERN, W.B. 2000. Chemical Fingerprinting as a tool for the Characterisation of Gem Corundums from different genetic environments. *International Geological Congress*, 31. Rio de Janeiro. CD-Rom.

SUTHERLAND, F.L. & SCHWARTZ, D. 2001. Origin of gem corundums from basaltic fields. *Austral. Gemmol.*, 21(1):30-33

THEMELIS, T. 1992. *The heat treatment of ruby and sapphire*. 1.ed. USA, Gemlab Inc., 236p.

Tabela 1. Resultados obtidos em microsonda eletrônica para os principais elementos químicos em coríndon de Barra Velha de cor rosa a vermelho. (% em peso).

	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Ga ₂ O ₃
BAV-Rosa	0,13-0,43	0,01	0,12-0,68	0,00-0,08	0,01
BAV-Vermelha	0,29-0,83	0,01	0,12-0,35	0,01-0,43	0,01-0,02

Tabela 2. Resultados obtidos em INAA e ICP (*) para elementos menores e traços em coríndon de Barra Velha de cor rosa a vermelho (em ppm).

Elemento Incerteza (%)	Cr (2)	Fe (5)	Ga (2)	Na (3)	La (4)	*V	*Mn	*Ti
BAV-1 (rosa)	941	4239	89	85	4	35	30	30
BAV-2 (rosa)	515	2036	103	80	2	39	35	35
BAV-3 (verm)	3456	3581	70	124	3	-	-	-
BAV-4 (rosa)	835	4060	95	96	2	-	-	-
BAV-5 (rosa)	307	3875	87	88	3	-	-	-

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DOS DIQUES BÁSICOS MESOZÓICOS DE NATUREZA TOLEÍTICA DA COSTA SUDESTE DO BRASIL

Marques, L.S.¹; Piccirillo, E.M.²; Bellieni, G.³; Figueiredo, A.M.G.⁴ & De Min, A.²

¹Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (USP). São Paulo-SP. leila@iag.usp.br; ²Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Trieste. Trieste – Itália; ³Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università di Padova. Padova, Itália;

⁴Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CNEN/SP). São Paulo-SP

ABSTRACT

dikes
A detailed geochemical characterization of mesozoic tholeiitic dykes located in the coastal area of São Paulo and Rio de Janeiro States is presented. The dykes are mainly represented by high-titanium (ATI; TiO₂ > 3%) basic rocks, also enriched in incompatible elements. Scarce basaltic dykes with low contents of titanium (BTI; TiO₂ < 2%), which are very similar to the low-Ti flows from Southern Paraná Magmatic Province, were found in a restricted area. The ATI dykes may be divided in three groups according to their geochemical features; two of them are similar to the high-Ti flows from Northern and Southern Paraná Magmatic Province, respectively. The dykes belonging to the third group present geochemical signatures (Sr > 550 ppm; Ti/Y < 500) not encountered in Paraná flows and their distinct composition can be the result of crustal contamination processes, which significantly modified the characteristics of high-Ti magmas similar to those from Southern Paraná flows. The slight alkaline tendency also observed in those dykes (lati-andesites) may be due to a lower degree of mantle partial melting.

INTRODUÇÃO

O enxame de diques Santos - Rio de Janeiro localiza-se na costa dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, estendendo-se até o vale do Paraíba. Os diques são verticais a subverticais e suas espessuras variam de poucos a até várias dezenas de metros. A direção predominante é N40 - 50°E, que coincide com aquela das estruturas do embasamento pré-cambriano (Almeida, 1986).

As informações disponíveis indicam que os diques são em sua grande maioria de composição básica e natureza toleítica (Comin-Chiaramonti et al., 1983; Garda, 1995; Marques, 2001). Os estudos revelaram também que estes litotipos são

caracterizados por altos teores de TiO₂, geralmente superiores a 3%. Diques mais diferenciados (SiO₂ entre 58 e 68%) foram identificados em uma área restrita do litoral norte de São Paulo (Bellieni et al., 1990).

Datações ⁴⁰Ar-³⁹Ar indicam que esse magmatismo intrusivo ocorreu predominantemente entre 133 e 130 Ma (Turner et al., 1994; Deckart et al., 1998). Algumas idades ⁴⁰Ar-³⁹Ar e K-Ar, recentemente obtidas, evidenciaram que parte dos diques é bem mais antiga, sendo registradas idades entre 148 e 192 Ma (Guedes et al., 2002), indicando que o magmatismo mesozóico na região iniciou no Jurássico.

os Diques toleíticos do Enxame santos - rio de janeiro

Uma extensa amostragem foi efetuada desde as proximidades do município de São Sebastião (litoral de São Paulo) até o município de São Sebastião do Paraíba, situado no vale do Paraíba (Rio de Janeiro). Nesses trabalhos, cerca de 60 amostras de diques básicos de natureza toleítica foram coletadas.

Os diques encontram-se em sua grande maioria orientados na direção N50-65°E, sendo raramente registradas direções EW e NS-NW. Suas espessuras variam de 0,3 a 100 metros, sendo as mais comuns aquelas inferiores a 50 metros (85% dos diques investigados). As texturas são variadas, com predominância das afaníticas a faneríticas finas e médias, por vezes levemente porfiríticas. A mineralogia é dominada por plagioclásios (andesina-labradorita), clinopiroxênios (augita e subordinada pigeonita) e opacos (ilmenita e titanomagnetita), que ocorrem tanto como fenocristais e/ou microfenocristais, como também na matriz.

Métodos Analíticos Empregados

A técnica de fluorescência de raios X foi empregada na determinação das concentrações de elementos maiores, menores e alguns traços (Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, La, Ce, Nd, Zr, Y e Nb). Estas análises foram realizadas no Dipartimento di Scienza della Terra da Universidade de Trieste (Itália), utilizando um espectrômetro Philips PW 1404. A precisão relativa dos dados obtidos varia entre 2 e 5%, para os elementos maiores, sendo inferior a 10% na determinação dos traços.

A técnica de ativação, com nêutrons térmicos e epitérmicos, foi empregada para a determinação de terras raras e dos elementos traços U, Th, Ta, Hf, Cs, Co e Sc. As irradiações e medidas da atividade gama induzida foram efetuadas no IPEN (CNEN/SP). As contagens da radiação gama foram realizadas em detectores de Ge hiper-puro, seguindo os procedimentos analíticos descritos em Figueiredo e Marques (1989). Medidas de 10 alíquotas do padrão BCR-1 (USGS) indicaram que os valores de precisão são inferiores 10%, enquanto os de exatidão variaram entre 0,6 e 8%.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Conforme a nomenclatura química proposta por De La Roche *et al.* (1980), os diques analisados são representados por andesi-basaltos toleíticos e lati-andesitos, ocorrendo, de modo muito subordinado, andesitos toleíticos e latitos. Portanto, na região investigada, o conjunto é fortemente dominado por rochas toleíticas.

As análises químicas realizadas mostram que a grande maioria dos diques possui conteúdo de TiO_2 acima de 3%, correspondendo a aproximadamente 85% dos litotipos investigados. Foram raramente encontrados diques com TiO_2

entre 2 e 3%. Somente em uma área relativamente restrita, nas proximidades de São Sebastião do Paraíba (RJ), foram encontrados diques toleíticos com TiO_2 inferior a 2%, perfazendo aproximadamente 10% dos diques amostrados.

Os diques toleíticos com baixo titânio

Os diques com baixo titânio (BTi; $\text{TiO}_2 < 2\%$) apresentam conteúdo de MgO no intervalo entre 5,6 e 3,2%, sendo que a diminuição dos teores deste elemento é acompanhada de um aumento progressivo em SiO_2 , K_2O e P_2O_5 , e diminuição em CaO. Para TiO_2 e FeO ocorrem aumentos na concentração, até valores de MgO em torno de 4%, havendo uma diminuição para os litotipos mais evoluídos. As concentrações de Na_2O são aproximadamente constantes. Os elementos traços incompatíveis apresentam enriquecimento variável à medida que a concentração de MgO diminui. Os padrões de abundância dos elementos terras raras (ETR), normalizados em relação aos condritos, mostram um enriquecimento significativo de ETR leves em relação aos pesados ($\text{La/Yb}_n = 4,1 - 4,6$), além de leves anomalias negativas de európio ($\text{Eu/Eu}^* = 0,88 - 0,93$). Ocorre um enriquecimento de todo o grupo, especialmente de ETR leves, com a diminuição de MgO.

O comportamento geoquímico de elementos maiores, menores e traços indica que a cristalização fracionada deve ter sido um processo importante na diferenciação dos magmas, sendo basicamente controlada pelo fracionamento de clinopiroxênios, plagioclásio e subordinadamente de opacos.

A similaridade geoquímica com os derrames com baixo titânio da região sul (BTi-S) da Província Magmática do Paraná, que sofreram significativos processos de contaminação crustal, sugere a ocorrência deste mesmo tipo de processo na gênese desses diques. As características geoquímicas indicam que os magmas que originaram estes diques foram gerados em fonte semelhante à que originou os derrames BTi-S da província (Piccirillo & Melfi, 1988; Marques *et al.*, 1989; Peate, 1992) e também aos basaltos da Bacia de Campos (Misuzaki *et al.*, 1992).

Os diques toleíticos com alto titânio

Os diques básicos com alto titânio (ATi; $\text{TiO}_2 > 3\%$) apresentam uma variação ampla em termos de evolução (MgO entre 6 e 2%), ocorrendo uma quantidade significativa de diques com $\text{MgO} < 3\%$. De modo geral, com o aumento do grau de evolução, há um aumento nas concentrações de SiO_2 , Na_2O , K_2O e P_2O_5 , e uma diminuição de CaO, TiO_2 e FeO , as quais são compatíveis com processos de evolução por cristalização fracionada de piroxênios, plagioclásios e opacos.

Uma parte significativa dos diques investigados (cerca de 42%) possui características semelhantes aos derrames com alto titânio que ocorrem na região norte (ATi-N) da província, enquanto cerca de 15% são geoquimicamente semelhantes aos derrames com alto TiO_2 que ocorrem na parte sul (ATi-S).

Os padrões de abundância de ETR apresentam fracionamento moderado a forte de ETR leves, com razões $(La/Yb)_n$ que variam de 5,5 a 11,9 e leves anomalias (positivas e negativas) de európio, os quais também podem ser divididos dois conjuntos, um semelhante aos dos derrames ATi-N e o outro similar aos dos ATi-S.

Entretanto, cerca de 28% dos diques analisados, representados quase que exclusivamente por lati-andesitos, possuem características geoquímicas diferentes (e.g. $Sr > 550$ ppm, $Ti/Y < 500$, conteúdos mais altos de SiO_2 , K_2O e P_2O_5 , e teores mais baixos de FeO e CaO) daquelas dos demais diques e também das observadas nos derrames ATi da Província Magmática do Paraná. Embora exista uma certa semelhança geoquímica com os derrames ATi-S, estes diques destacam-se por possuir concentrações mais elevadas de elementos incompatíveis, como Th ($5,3 \pm 0,2$ ppm), U ($1,3 \pm 0,1$ ppm), Ta ($1,3 \pm 0,1$ ppm) e La (56 ± 8 ppm), e apresentar anomalias fortemente negativas de Nb, em padrões de elementos incompatíveis normalizados em relação ao manto primordial ($La/Nb_{PM} \sim 2,0$).

As concentrações relativamente elevadas de elementos abundantes na crosta continental nos diques ATi indicam que os magmas podem ter sido afetados por diferentes graus de contaminação crustal. Entretanto, este processo parece ter sido muito mais significativo no grupo de diques que possui características geoquímicas nitidamente distintas daquelas dos derrames com alto titânio da Província Magmática do Paraná, para o mesmo grau de evolução ($MgO > 4\%$). Neste caso, estas rochas intrusivas poderiam representar uma variedade "contaminada" dos magmas ATi-S. A leve tendência alcalina deste grupo (lati-andesitos) pode também ser resultante de fusão parcial de menor grau, envolvendo uma fonte mantélica similar à que originou os magmas ATi-S, ou ainda, de fontes levemente distintas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio financeiro das agências brasileiras FAPESP, PADCT-FINEP e CNPq, e italianas MURST e CNR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(4): 325-349.
- BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C.R.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E.M.; CAZZINNI, G.; MELFI, A.J. & PACCA, I.G. 1990. Early and Late Cretaceous magmatism from São Sebastião island (SE-Brazil). *Geochem. petrology. Geochim. Brasil*, 4(1): 59-83.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M. & RIVALENTI, G. 1983. High TiO_2 dikes in the coastline of São Paulo and Rio de Janeiro States. *Neues Jahrb. Mineral. Abh.*, 146(2):133-150.
- DECKART, K.; FÉRAUD, G.; MARQUES, L.S. & BERTRAND, H. 1998. New time constraints on dyke swarms related to the Paraná-Etendeka magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 80:67-83.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, P.; GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic using R_1 - R_2 diagram and major element analysis. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29:183-210.
- FIGUEIREDO, A.M.G. & MARQUES, L.S. 1989. Determination of rare earths and other trace elements in the Brazilian geological standards BB-1 and GB-1 by neutron activation analysis. *Geochim. Brasil.*, 3: 1-8.
- Garda, G.M. 1995. *Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo*. São Paulo, USP/Instituto de Geociências, 306p. Tese de doutoramento.
- GUEDES, E.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H.; TEIXEIRA, W.; VASCONCELOS, P. & VALERIANO, C. 2001. Os diferentes episódios magmáticos ocorridos na região sudeste do Brasil: novos dados geocronológicos. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 41:1-381.
- MARQUES, L.S. 2001. *Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná*. São Paulo, USP/Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, 86p. Tese de livre docência.
- MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P. & BELLINI, G. 1989. Distribuição de terras raras e outros elementos traços em basaltos da Bacia do Paraná (Brasil Meridional). *Geochim. Brasil.*, 3:33-50.
- MIZUSAKI, A.M.P.; PETRINI, R.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DIAS, J.; DE MIN, A. & PICCIRILLO, E.M. 1992. Basalt magmatism along the passive continental margin of SE Brazil (Campos Basin). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 111:143-160.
- PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J. & MANTOVANI, M.S.M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas, South America. *Bull. Volcanol.* 55: 119-139.
- PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. 1988. *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects*. IAG - USP, 600p.
- TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C. & MANTOVANI, M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121:333-348.