



## INVESTIGAÇÃO PALEOMAGNÉTICA DE DIQUES MÁFICOS NA REGIÃO DE CABO FRIO (RJ)

Cíntia S. Bucceroni<sup>1</sup>, Marcia Ernesto<sup>1</sup> e Carlos José Archanjo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências

### **RESUMO**

Diques toleíticos que ocorrem nos municípios de Armação dos Búzios e Cabo Frio (BZCF), na costa do Estado do Rio de Janeiro, foram alvo de estudo paleomagnético. Apesar de não possuírem datações confiáveis publicadas, frequentemente são associados aos episódios magmáticos que datam do Cretáceo, embora estejam situados em área contígua a outro exame de diques basálticos (Arraial do Cabo; AR) com idade  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  de 55 Ma. Com base em desmagnetizações por campos magnéticos alternados e análise de multicomponentes, determinaram-se direções de magnetização com polaridades normais e reversas. A comparação estatística das distribuições dos PGVs de BZCF e AR, associada a outras características geológicas e químicas, revelou que esses diques devem fazer parte do mesmo evento magmático que afetou a região. A associação dos dois grupos de dados resultou num polo paleomagnético localizado a 296.9° E e 75.2° S ( $N = 28$ ;  $\alpha_{95} = 7.1^\circ$ ;  $k = 16$ ). Este polo difere do polo médio existente para o Paleoceno da América do Sul, entretanto, tem-se que levar em conta a falta de polos de referência para o intervalo de tempo a partir do Cretáceo Superior.

**Palavras-Chave:** Diques maficos; paleomagnetismo; Cabo Frio, Búzios, sudeste do Brazil; Paleógeno.

### **ABSTRACT**

Tholeiitic dykes occurring in the area of Armação dos Búzios and Cabo Frio (BZCF), on the coast of Rio de Janeiro State, were subjected to paleomagnetic studies. These dykes have no reliable radiometric ages and are frequently associated to the Cretaceous magmatism which affected the southeastern region of Brazil, although in the neighbour area of Arraial do Cabo (AR) tholeiitic dykes with similar characteristics have  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  ages of 55 Ma. Based on alternating field demagnetizations and multicomponent analysis both normal and reversed magnetization components were determined. A statistical comparison of the VGP distributions of the two sets of dykes, besides the similar geological and chemical characteristics, revealed that both dyke swarms might belong to the same magmatic event. Combining the two VGP groups a paleomagnetic pole located at 296.9° E and 75.2° S ( $N = 28$ ;  $\alpha_{95} = 7.1^\circ$ ;  $k = 16$ ) was calculated. This pole differs from the known mean Paleocene pole for South America. However, it must be considered that there is still a lack of reliable reference poles for ages younger than Late Cretaceous.

**Keywords:** Mafic dykes, paleomagnetism; Cabo Frio; Buzios; Southeastern Brazil; Paleogene.

### **Introdução**

A região sudeste do Brasil foi palco de intenso magmatismo durante o Mesozóico, precedendo a abertura do oceano Atlântico Sul. A atividade mais expressiva foi o magmatismo toleítico da Bacia do Paraná (Formação Serra Geral) com idades  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  entre 134-132 Ma (Thiede, Vasconcelos, 2010). As bacias marginais de Campos e Santos também registraram atividade ígnea representada pelo magmatismo toleítico neocomiano que forma o embasamento dessas bacias (Thomaz Filho



*et al.*, 2008). Os processos extensionais associados à separação da América do Sul e África foram marcados pela intensa atividade filoniana no sudeste do Brasil. Assim, grandes enxames de diques toleíticos (Ponta Grossa, Florianópolis e Serra do Mar), se formaram no Cretáceo Inferior e estão relacionados à Província Magnética do Paraná. Após a fase rifte, seguiu-se o magmatismo de composição alcalina, do Neocretáceo ao Eoceno inferior/médio (Deckart *et al.*, 1998). Na faixa costeira, entre as cidades de Santos e Rio de Janeiro, ocorrem diques pertencentes à Província Magnética Serra do Mar (Valente *et al.*, 2007) com orientação geral NE-SW (e subordinadamente NW-SE). Os diques de afinidade toleítica apresentam idades variando entre  $130.6 \pm 0.6$  e  $129.8 \pm 0.2$  Ma (Deckart *et al.*, 1998) e os de natureza alcalina têm idades mais jovens entre  $81.8 \pm 1.8$  e  $69.7 \pm 0.2$  Ma. Mais ao norte, na faixa compreendendo os municípios de Arroio do Cabo, Cabo Frio e Búzios (fig. 1), encontram-se diques alcalinos e toleíticos que Valente *et al.* (2007) consideram como pertencentes à mesma Província, mas que apresentam idades  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  de 55 Ma (Bennio *et al.*, 2003). Essas idades referem-se a corpos de Arroio do Cabo e é comum na literatura (*e.g.*, Geraldes *et al.* 2012) atribuir idades cretáceas aos diques de Búzios-Cabo Frio (BZCF), uma vez que inexistem idades radiométricas confiáveis para as rochas dessa área.



**Figura 1.** Mapa de localização dos municípios de Armação dos Búzios, Cabo Frio e Arroio do Cabo, no sudeste do Brasil (à esquerda) e dos pontos de amostragem (à direita).

Os diques toleíticos do enxame BZCF são relativamente bem orientados na direção NE-SW, com larguras variando de alguns centímetros a até 20 metros. Os contatos observados são na maioria verticais e às vezes sub-verticais. Essas rochas classificam-se (Ngonge, 2011) como basaltos com baixo conteúdo de  $\text{TiO}_2$  ( $< 2\%$  peso), diferindo daquelas da província Serra do Mar ( $\text{TiO}_2 > 3\%$  peso) que ocorrem ao sul da cidade do Rio de Janeiro (Marques & Ernesto, 2004).

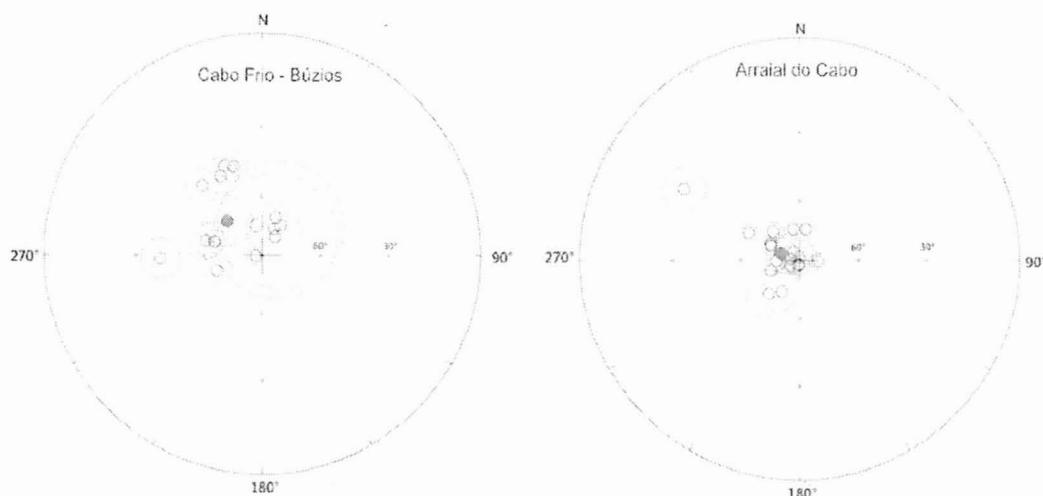
Os diques de Arroio do Cabo já foram alvo de estudo paleomagnético (Brandt *et al.*, 2009) e tanto os diques alcalinos como os toleíticos deram resultados consistentes com idades eocénicas. Neste trabalho, são apresentados os resultados paleomagnéticos de 14 diques toleíticos do enxame BZCF (fig. 1), com o objetivo de se estabelecer uma comparação entre esse conjunto de rochas e aquelas de Arroio do Cabo. As amostras utilizadas aqui referem-se à amostragem efetuada por Ngonge (2011) para estudo da trama de plagioclásios.

## Metodologia

A identificação de componentes de magnetização dos diques BZCF foi baseada em desmagnetizações por campos magnéticos alternados e análise de multicomponentes. Em geral foram identificadas



duas componentes em cada espécime; a componente de baixa coercividade apresentou, na maioria das vezes, polaridade normal compatível com o campo magnético atual, indicando a presença de magnetização secundária viscosa. A componente de mais alta coercividade apresentou tanto polaridade normal como reversa. A direção média de cada sítio foi calculada atribuindo-se peso unitário a cada espécime e avaliada pela estatística de Fisher (1953). Para cada direção média calculou-se o polo geomagnético virtual (PGV) correspondente (fig. 2).



**Figura 2.** PGVs para os diques de Cabo Frio – Búzios e para os diques de Arraial do Cabo. Símbolos vermelhos indicam o PGV médio para cada conjunto.

A mineralogia magnética foi investigada por meio de curvas termomagnéticas, curvas de histerese e de magnetização remanente induzida. A partir da análise dessas curvas, foi possível determinar que os principais minerais portadores da magnetização são titanomagnetitas com estrutura pseudo-domínio simples e que a magnetização provavelmente tem origem térmica.

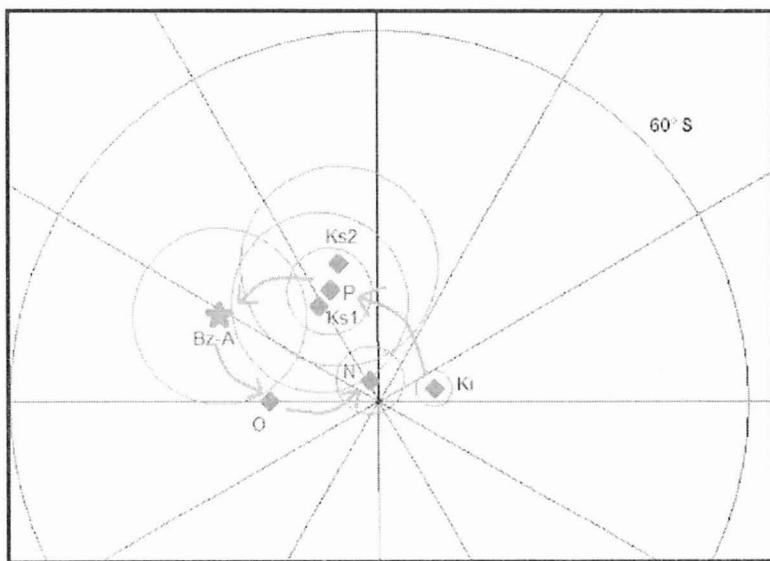
## Resultados e Discussão

A distribuição dos PGVs dos diques BZCF é comparada na Figura 2 àquela dos PGVs dos diques toleíticos de Arraial do Cabo (Brandt *et. al.*, 2009). Nos dois casos só foram considerados sítios com resultados baseados em pelo menos três espécimes e  $\alpha_{95} < 15^\circ$ . As duas distribuições ocupam a mesma área no estereograma, mas a distribuição de BZCF é mais dispersa. Entretanto, a comparação estatística através de um teste F foi positiva depois de se agrupar os sítios que representam amostragem do mesmo dique em pontos distintos e, portanto, não podem ser considerados pontos independentes no tempo. Desta forma reduziu-se o número o conjunto de pontos BZCF a dez.

Considerando as similaridades na composição química, as características em campo e a proximidade geográfica entre os dois conjuntos de diques, conclui-se que os dois enxames devem fazer parte do mesmo evento magnético. Desta forma, foi calculado um único polo paleomagnético utilizando os dados BZCF e ARR. O novo polo foi nomeado Bz-A e tem coordenadas  $96.9^\circ\text{E}$  e  $75.2^\circ\text{S}$  ( $N = 28$ ;  $\alpha_{95} = 7.1^\circ$ ,  $k = 16$ ), após aplicar o corte de  $45^\circ$  à distribuição dos PGVs.



O polo Bz-A é comparado aos pólos paleomagnéticos médios para a América do Sul no intervalo Cretáceo Inferior - Neógeno (fig. 3), de acordo com os dados compilados por Ernesto (2006) e incluindo o polo do Paleógeno de Somoza (2007). Este novo polo difere do polo médio para Paleoceno (P), embora os círculos de confiança se superponham parcialmente. Cabe notar que o polo P não é distingível dos polos médios do Cretáceo Superior ( $K_{s1}$  e  $K_{s2}$ ; ~70 e ~80Ma, respectivamente) definidos por Ernesto (2006). Entretanto, os polos  $K_s$  ainda são pobemente definidos, tanto em número de polos de referência como em datações radiométricas. Desta forma os polos médios podem incluir idades diferentes das esperadas. Por outro lado, o deslocamento da placa Sulamericana nessa faixa de idades era principalmente no sentido leste-oeste, o que não permite a distinção dos polos paleomagnéticos de diferentes idades. Apesar de o limite de confiabilidade para o polo Bz-A ser razoavelmente grande, há indicações de que o polo aqui apresentado possa ser representativo do Paleoceno.



**Figura 3.** Polo paleomagnético deste trabalho (Bz-A) e polos paleomagnéticos da América do Sul para o Cretáceo inferior (Ki), Cretáceo superior (Ks1 e Ks2), Paleoceno (P), Oligoceno (O) e Neógeno (N), de acordo com Ernesto (2006). As setas indicam o movimento do polo a partir de idades mais antigas para as mais recentes.

## Referências

- Bennio L., Brotzu, P., D'Antonio, M., Feraud, G., Gomes, C. B., Marzoli, A., Melluso, L., Morbidelli, L., Morra, V., Rapaille, C., Ruberti, E., 2003. The tholeiitic dyke swarm of the Arraial do Cabo peninsula (SE Brazil):  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  ages, petrogenesis, and regional significance, *J. S. Am. Earth Sci.*, 16, 163-176.
- Brandt, D., Ernesto, M., Somoza, R., 2009. Paleomagnetism and anisotropy of magnetic susceptibility of Cenozoic dykes from southeastern Brazil, *Reunión Bienal de LATINMAG*, 1, Isla de Margarita, Venezuela.
- 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, *JVGR*, 80, 67-83.
- Ernesto, M., 2006. Drift of South American platform since early Cretaceous: reviewing the apparent polar wander path, *Geociências*, 25, 83-90.
- Fisher, R. A., 1953. Dispersion on a sphere, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, 217, 295–305.



- Geraldes, M. C., Motoki, A., Costa, A., Mota, C. E., Mohriak, W. U., 2013. Geochronology ( $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  and K–Ar) of the South Atlantic post-break-up magmatism, *Geological Society, London, Special Publication SP369 'Conjugate Divergent Margins'*, 41–74.
- Marques, L. S., Ernesto, M., 2004. O Magmatismo toleítico da Bacia do Paraná, in Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 245–263, eds Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Neves, B.B.B., Beca Produções Culturais Ltda., São Paulo.
- Ngonge, E. D., 2011. Distribuição do tamanho de cristais (DTC) e trama de plagioglásio em diques maficos mesozoicos das praias de Conchas e Lagoinha, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo
- Somoza, R., 2007. Eocene paleomagnetic pole for South America: Northward continental motion in the Cenozoic, opening of Drake Passage and Caribbean convergence, *J. Geophys. Res.*, 112, B03104. doi:10.1029/2006JB004610.
- Thiede, D. S., Vaconcelos, P. M., 2010. Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed by new 40Ar/39Ar results. *Geology*, 38, 747–750. doi:10.1130/G30919.1.
- Thomaz Filho, A., Mizusaki, A. M. P., Antonioli, L., 2008. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influências na geologia do petróleo. *Rev. Bras. Geociênc.*, 38 (2-supl.), 128–137.
- Valente, S.C. Corval, A., Duarte, B.P., Ellam, R.M., Fallick, A.E., Meighan, I.A., Dutra, T., 2007. Tectonic boundaries, crustal weakness zones and plume-subcontinental lithospheric mantle interactions in the Serra do Mar dyke swarm, SE Brazil, *Rev. Bras. Geociênc.*, 37 (1), 194–201.