

LITOQUÍMICA DOS DIQUES MÁFICOS PARÁ DE MINAS (MG-BRASIL) ASSOCIADOS À UMA PROVÁVEL PLUMA MANTÉLICA ESTATERIANA DE MATO GROSSO-GOIÁS

Alexandre de Oliveira Chaves¹

¹ Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa - Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC-IGC-UFMG). Av. Antonio Carlos 6627, Belo Horizonte-MG. alex2010@ufmg.br

Recebido em 30 de outubro de 2014; aceito em 23 de março de 2015

Resumo: Os diques máficos do Enxame Pará de Minas-MG (1,72 Ga) apresentam-se majoritariamente como diabásios faneríticos e às vezes como corpos porfíricos, com fenocristais de plagioclásio. São litoquimicamente caracterizados como basaltos de alto-titânio, na sua maioria subalcalinos, sendo alguns alcalinos. Guardam anomalias negativas de európio e estrôncio associadas ao fracionamento do plagioclásio, bem como anomalias negativas de nióbio e razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ elevada aparentemente relacionadas a possíveis processos de contaminação crustal. Destaca-se sua assinatura de fonte enriquecida em elementos incompatíveis tipo OIB (*oceanic island basalts*). Tais características químicas, em associação aos registros de fluxo magmático subhorizontal dos diques e aos processos Estaterianos contemporâneos de rifting, sedimentação e magmatismo bimodal (ácido e básico) anorogênico, remetem à atividade de uma pluma mantélica no centro-sudeste do Brasil ao final do Paleoproterozóico.

Palavras-chave: Diques máficos, OIB, pluma mantélica, Estateriano, Brasil.

Abstract: LITHOCHEMISTRY OF THE PARÁ DE MINAS MAFIC DYKES RELATED TO A PROBABLE STATHERIAN MANTLE PLUME OF MATO GROSSO-GOIÁS (BRAZIL). Mafic dykes of the Pará de Minas Swarm-MG (1.72 Ga) are essentially phaneritic dolerites and eventually porphyritic, with plagioclase phenocrysts. The lithochemistry of the dykes shows they are high-Ti subalkaline basalts, but high-Ti alkaline bodies are sometimes also found. All of them keep Eu and Sr negative anomalies related to plagioclase fractionation. Nb negative anomalies and high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial ratio associated to probable crustal contamination processes can also be verified. They show OIB-like (oceanic island basalts) enriched source signature. Such chemical features in association with their subhorizontal magmatic flow and Statherian contemporary processes of rifting, sedimentation, anorogenic bimodal acid and basic magmatism, refer to the mantle plume activity in the central and southeast Brazil at Late Paleoproterozoic.

Keywords: Mafic dykes, OIB, mantle plume, Statherian, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os sete enxames de diques máficos de Minas Gerais descritos por Chaves (2013), merece destaque um com corpos de direção N50-60W do período Estateriano (1714 +/- 5 Ma, idade U-Pb do corpo Ibirité de Silva *et al.*, 1995; 1740 +/- 54 Ma, Rb-Sr, Chaves & Correia Neves, 2005a; 1690-1750 Ma, Ar-Ar, Carneiro & Oliveira, 2005) que é encontrado no extremo sul do Craton São Francisco (CSF). Ele é designado Enxame Pará de Minas por Oliveira & Montes (1984), Chaves & Correia Neves (2005a,b) e Chaves (2013) e atravessa rochas Arqueanas e Paleoproterozóicas naquele setor cratônico. O enxame de diques corta também o embasamento cristalino e a Formação Bandeirinha da base da sequência Espinhaço 1 (Alkmin & Martins Neto, 2012) situados à leste do CSF (figura 1), em Minas Gerais. Na região onde aflora a sequência Espinhaço 1, os diques mostram-se metamorfizados na facies xisto-verde em função da atividade Neoproterozóica Brasileira da Faixa Móvel Araçuaí. Os diques deste enxame também são percebidos por sob a cobertura Neoproterozóica do CSF através de imagens aeromagnetométricas. Eles alcançam mais de 150 Km de comprimento na sua porção aflorante do setor sul do CSF, porém estendem-se até Mato Grosso e Goiás sem aflorarem (Borges & Drews,

2001), por sob a Faixa Móvel Brasília, uma faixa de dobramentos e empurrões vergentes para leste em direção ao CSF, do tipo epidérmica (thin-skin fold and thrust belt).

Na porção inferior da figura 1 estão apresentadas as zonas de sutura surgidas durante as colisões de placas no Neoproterozóico, colisões estas que viriam a formar a porção brasileira do Oeste-Gondwana por volta de 650-500 Ma atrás. Neste contexto geotectônico, o enxame de diques Pará de Minas encontra-se preservado no interior da placa neoproterozóica São Francisco-Congo, em seu setor brasileiro.

Os diques Pará de Minas mostram largura média de 50-60 m e são diabásios gabro-dioríticos com textura ígnea ofítica a subofítica preservada no seu interior e bordas afaníticas semelhantes a basaltos. São constituídos essencialmente por augita (borda uralitizada) e plagioclásio (labradorita-andesina) saussuritizado, e acessoriamente por biotita, ilmenita, titanita, apatita, quartzo e sulfetos. Raros diques apresentam maiores teores de ilmenita, titanita e apatita que os demais. Mostram-se porfíricos em alguns corpos, com fenocristais de plagioclásio de até 15 cm (Chaves & Correia Neves, 2005a).

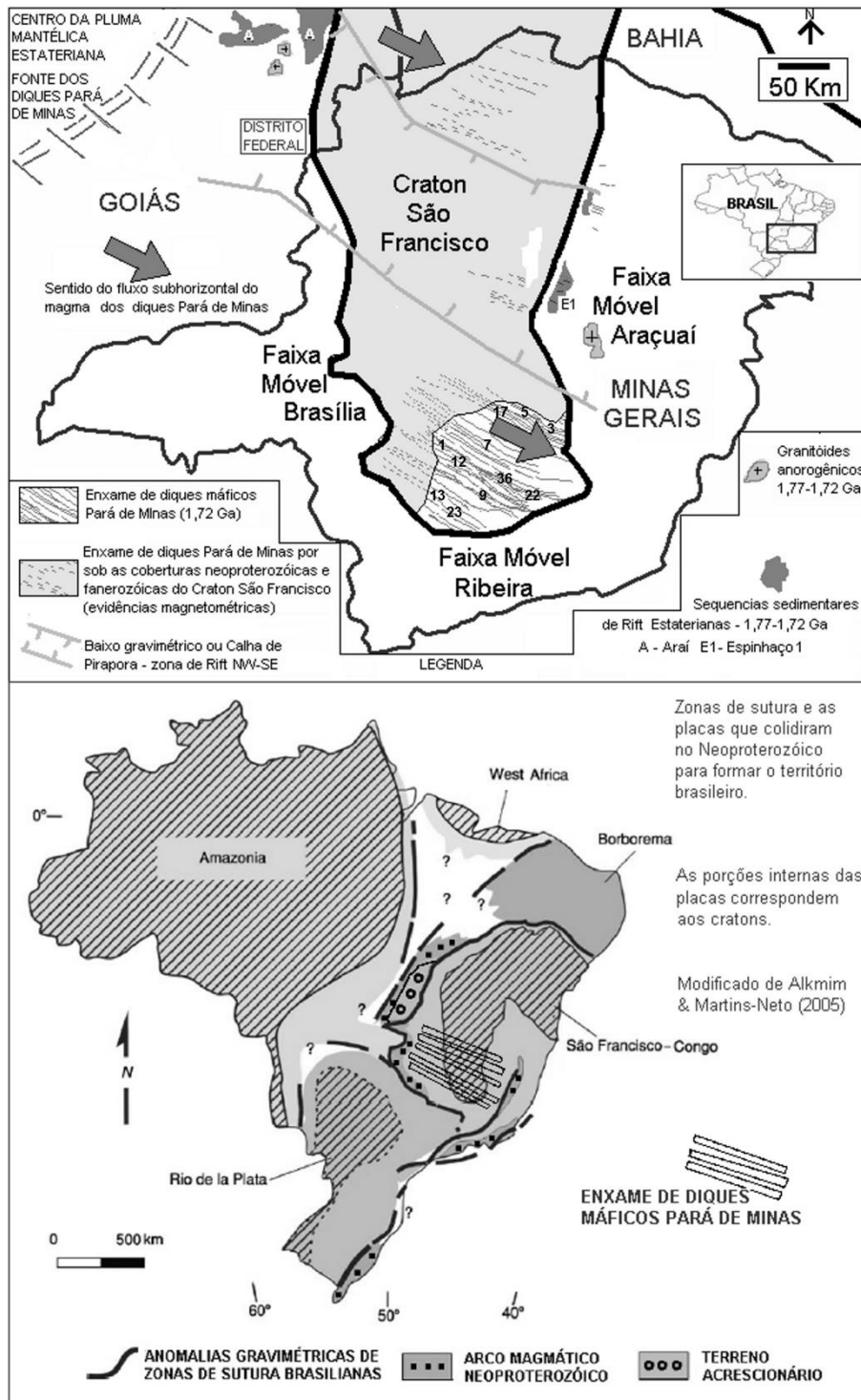


Figura 1. Panorama geológico associado ao Enxame de diques máficos Pará de Minas. As amostras de diques estudadas estão numeradas na porção superior da figura. O mapa tectônico do Brasil é modificado de Alkmim & Martins Neto (2005).

Dados de anisotropia da susceptibilidade magnética (ASM) dos diques Pará de Minas (Raposo *et al.*, 2004) revelam fluxo de magma subhorizontal de NW para SE (setas na figura 1) proveniente do espalhamento magmático radial de uma pluma mantélica centralizada por sob os Estados de Mato Grosso e Goiás. Feições de campo reforçam esta subhorizontalidade do fluxo magmático. Na figura 2, é apresentado o contato, no plano do chão, entre um dique máfico (área escura) e gnaisses encaixante

(área clara), próximo à cidade de Passa Tempo (MG). No setor (1) da figura 2, o fluxo do magma máfico cria um “escalonamento” na encaixante, acompanhado por uma pequena incisão, destacada no detalhe ampliado. No setor (2), o magma aproveita uma zona de fraqueza (foliação) da encaixante e penetra na mesma, deslocando parcialmente um fragmento (A) para dentro do fluxo. Em (3), ocorre o mesmo que em (2), porém o fragmento (B) é rompido e englobado pelo magma.

O dique apresenta direção N60W e as injeções apontadas pelas setas menores registram que o fluxo derivou de NW para SE (seta maior). Estas feições permitem definir, portanto, fluxo (sub)horizontal do magma e posicionamento da fonte (pluma mantélica) à noroeste do setor sul do CSF (Chaves & Correia Neves, 2005b).

Ainda na figura 1 é possível notar um saliente baixo gravimétrico (Calha de Pirapora) alongado na direção NW-SE no centro-sul do SFC, encontrado no mapa Bouguer de Alkmim & Martins-Neto (2001), que representa um rift associado à fase extensional pós-domeamento causado pela pluma. Os diques Pará de Minas são paralelos a esta calha (rift) que, segundo Souza Filho (1995), guarda pelo menos 5000 m de sedimentos Paleo- e Neoproterozóicos. Seus sedimentos mais antigos foram gerados no período Estateriano entre 1,77-1,72 Ga (idade do vulcanismo bimodal - basaltos, dacitos, riolitos e ignimbritos - neles intercalados, Pimentel *et al.*, 1991, Brito Neves *et al.*, 1979) durante a abertura da calha e fazem parte das sequências Araí (Alvarenga *et al.*, 2001) e Espinhaço 1 (Alkmim & Martins Neto, 2012). Granitóides anorogênicos de 1,77-1,72 Ga associados a essa fase rift são encontrados nas extremidades da calha, denominados de Suite Pedra Branca à NW (Pimentel *et al.*, 1991, Teixeira, 2002) e Suite Borrachudos a SE (Dossin *et al.*, 1993, Fernandes *et al.*, 2001).

O objetivo do presente artigo é apresentar as características litoquímicas dos diques Pará de Minas que apoiam sua proveniência a partir de uma possível pluma mantélica Estateriana ancorada sob MatoGrosso-Goiás, na região central do Brasil, conforme aventado por Chaves & Correia Neves (2005b).

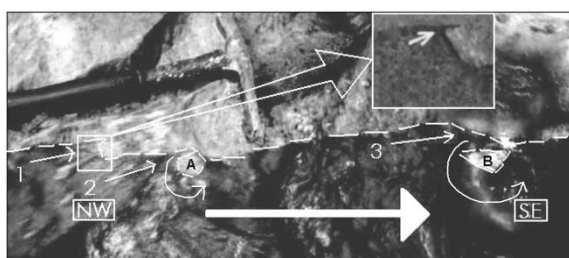


Figura 2. Feições de fluxo (sub)horizontal do magma de um dos diques do Enxame Pará de Minas que apontam posicionamento da fonte (pluma mantélica) à noroeste do setor sul do Craton São Francisco.

2. METODOLOGIA

Foram selecionadas 11 amostras do interior de diferentes diques Pará de Minas do sul do CSF em Minas Gerais (figura 1), tanto de corpos faneríticos quanto de alguns ligeiramente porfíricos. Nos laboratórios do Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa (IGC/UFMG), as amostras foram

pulverizadas em moinho de panela e, em seguida, enviadas ao Laboratório SGS-Geosol. Ali, os elementos maiores e cinco elementos traços (Ba, Nb, Sr, Y, Zr) foram analisados por ICP-OES. Cr, Ni, Rb e elementos terras-raras foram analisados por ICP-MS. A perda ao fogo ocorreu por diferença de peso após aquecimento a 1000°C.

3. LITOQUÍMICA DOS DIQUES PARÁ DE MINAS

As composições químicas dos elementos maiores, traços e terras-raras dos diques Pará de Minas estão apresentadas na tabela 1. Os diques deste enxame são de alto titânio (ATi, $TiO_2 > 2\%$). Dois diques (amostras 5 e 17) apresentam teores de TiO_2 que ultrapassam os 4%. Em lâmina delgada, estas duas amostras revelam maior conteúdo não só de ilmenita e titanita como também de apatita que as demais. Daí decorre o maior conteúdo de P_2O_5 dessas duas amostras em comparação às demais. O número de magnésio (Mg#) dos diques encontra-se entre 37 e 40 (média 38), mostrando o mesmo grau de evolução magmática entre eles. As amostras 5 e 17 mostram Mg# igual a 34, um valor próximo da média dos demais diques estudados.

Com base nos diagramas TAS (figura 3) e Zr/ TiO_2 versus SiO_2 (figura 4), a maior parte dos diques se classifica como basalto subalcalino, porém há diques classificados como basaltos alcalinos (amostras 5 e 17). Segundo o diagrama AFM (figura 5), os diques são toleíticos. Em termos tectônicos são basaltos intra-placa, de acordo com o diagrama Zr-Ti-Y (figura 6).

Os padrões de elementos terras-raras (ETR) normalizados ao condrito (figura 7) de todos os diques Pará de Minas são similares entre si e mostram um forte enriquecimento geral em ETR, em molde comparável aos dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB - *oceanic island basalts*) que, segundo Campbell (2001), estão relacionados à plumas mantélicas. Anomalias negativas de európio podem ser verificadas para todos os diques Pará de Minas, estando associadas ao fracionamento do plagioclásio durante a evolução magmática. O caráter porfírico de alguns corpos com fenocristais deste mineral aponta para essa associação.

No aracnograma de elementos incompatíveis normalizados ao manto primitivo (figura 8), os padrões dos diques também acompanham o padrão OIB, típico de pluma mantélica. Uma pronunciada anomalia negativa de Nb é verificada em praticamente todos os diques, apontando para possível envolvimento de crosta continental. Este envolvimento aparentemente se revela não só na figura 2, onde se percebe a incorporação de material de rocha encaixante gnáissica pelo magma dos diques, como também na razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$

ligeiramente elevada (0,70562, Chaves & Correia Neves, 2005a) dos diques. Anomalias negativas de Sr são também percebidas nos diques e têm relação ao referido fracionamento do plagioclásio, uma vez que este elemento acompanha o comportamento do Ca deste mineral. Anomalias negativas de Y discretas

sugerem retenção de granada na fonte durante os processos de fusão parcial geradores dos diques.

Finalmente, o diagrama Zr versus Zr/Y (figura 9) reitera o caráter enriquecido do tipo OIB para a fonte dos diques.

Tabela 1. Composição química dos diques máficos Pará de Minas. Ferro total expresso como FeOT. Elementos maiores expressos em % peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Número de magnésio (Mg#) calculado pela razão molar (MgO)/(MgO+0,85FeOT).

Amostra	17	5	1	3	36	9	13	12	23	22	7
SiO ₂	45.26	45.14	48.05	48.30	50.55	50.65	50.66	50.70	50.92	50.98	51.26
TiO ₂	4.42	4.07	2.38	2.89	2.62	2.22	2.18	2.14	2.35	3.14	2.82
Al ₂ O ₃	14.53	14.61	14.93	14.09	14.31	14.89	14.33	14.45	14.66	14.20	13.31
FeOT	17.05	17.00	15.28	16.00	14.77	15.31	15.06	15.39	14.66	15.18	15.19
MnO	0.23	0.24	0.20	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.18	0.21
MgO	4.55	4.49	5.08	5.06	4.22	4.55	4.16	4.42	4.27	4.15	4.46
CaO	8.23	8.40	8.41	8.27	8.13	8.00	7.89	7.75	8.24	6.63	7.09
Na ₂ O	2.74	3.23	2.47	2.33	3.31	2.81	3.35	3.05	2.61	2.44	3.52
K ₂ O	1.71	1.39	2.38	2.10	1.35	1.36	1.54	1.86	1.35	2.50	1.33
P ₂ O ₅	1.46	1.35	0.32	0.34	0.34	0.31	0.33	0.33	0.32	0.36	0.40
P.F.	0.44	0.54	0.26	0.85	0.75	0.25	0.46	0.28	0.65	0.32	0.13
Total	100.62	100.46	99.76	100.45	100.56	100.55	100.16	100.57	100.24	100.08	99.72
Mg#	34	34	40	39	37	39	37	38	37	38	38
Cr	62	60	44	49	45	48	47	57	46	34	31
Ni	54	52	95	83	62	66	61	68	65	45	40
Rb	34	29	102	101	33	33	41	50	39	90	25
Nb	31	28	11	13	13	11	12	12	13	13	14
Zr	324	313	165	187	201	176	185	182	191	200	215
Y	56	52	35	37	36	33	37	36	35	37	37
Sr	316	321	282	231	349	327	301	270	410	304	428
Ba	986	761	739	522	563	532	591	764	585	648	673
La	50.10	44.30	23.50	25.10	26.70	24.10	26.50	27.10	26.80	27.50	27.70
Ce	112.00	102.00	50.20	52.90	55.50	50.20	55.80	56.90	54.90	59.20	60.30
Nd	69.30	63.10	28.50	31.40	30.70	27.90	31.70	32.60	30.80	37.50	35.10
Sm	13.80	12.60	6.48	6.81	6.94	6.41	6.92	6.93	6.98	8.00	7.66
Eu	3.49	3.27	1.91	1.96	1.97	1.87	1.95	2.00	2.02	2.26	2.17
Gd	14.10	13.00	7.24	7.59	7.50	6.91	7.48	7.83	7.65	8.48	8.24
Dy	11.40	10.70	6.55	6.99	6.74	6.18	6.73	6.85	6.76	7.41	7.11
Er	6.52	6.03	3.74	3.79	3.89	3.63	3.90	4.00	3.82	4.22	3.85
Yb	4.88	4.53	3.17	3.38	3.32	3.06	3.23	3.34	3.32	3.53	3.14

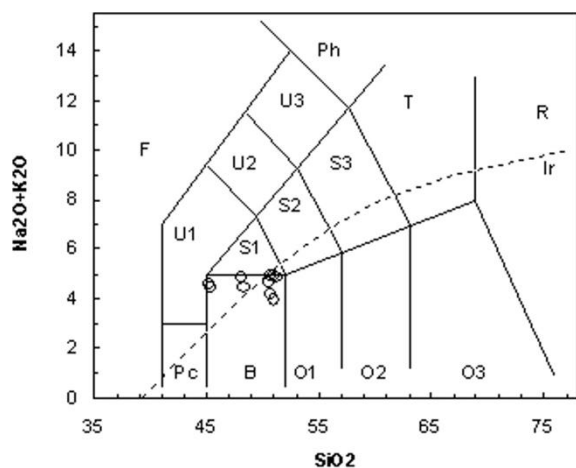


Figura 3. Diagrama Total Alkalis versus Sílica (TAS – Le Maitre, 2002). A linha tracejada de Irvine & Baragar (1971) separa as rochas subalcalinas (abaixo dela) das alcalinas (acima dela).
Campo B = Basalto.

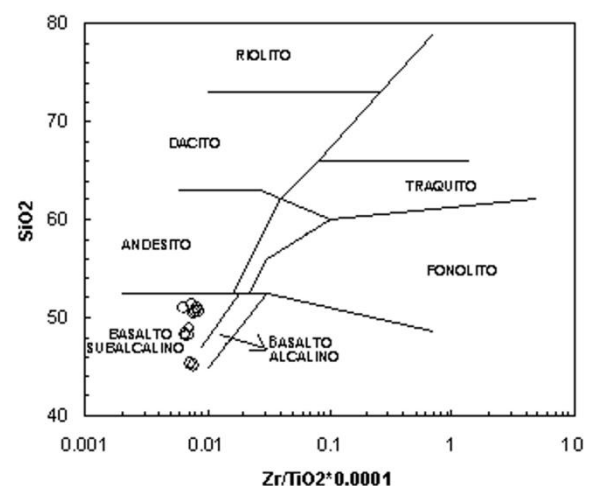


Figura 4. Diagrama Zr/TiO₂ versus Sílica (Winchester & Floyd, 1977).

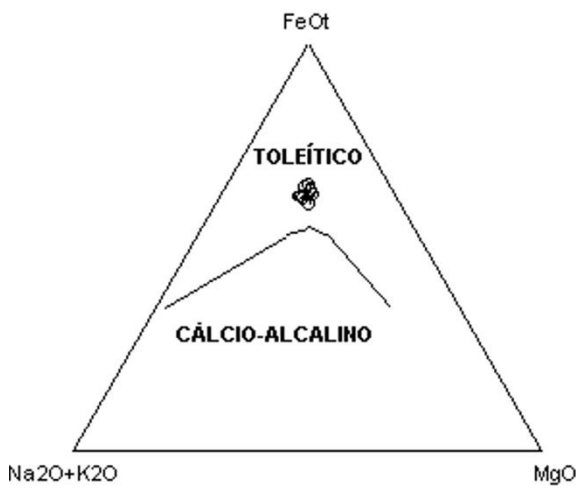


Figura 5. Diagrama ternário AFM (Álcis-FeOT-MgO – Irvine & Baragar, 1971) que discrimina as rochas subalcalinas toleíticas das cálcio-alcalinas.

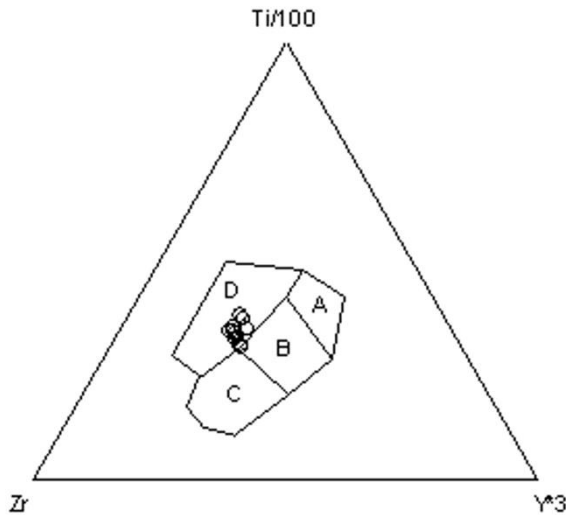


Figura 6. Diagrama ternário Zr-Ti/100-Y*3 (Pearce & Cann, 1973) de discriminação tectônica de rochas básicas. A = toleitos de baixo K, B = basaltos de assoalho oceânico, C = basaltos cálcio-alcalinos, D = basaltos intra-placa.

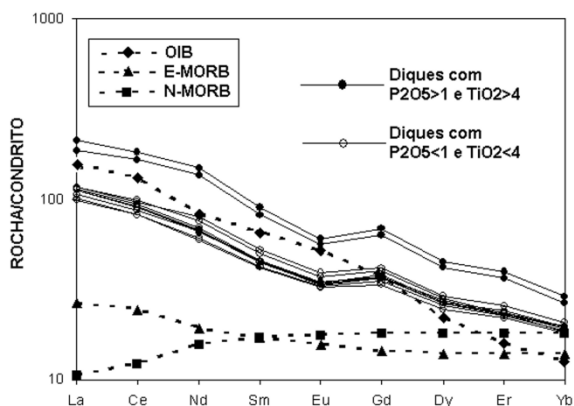


Figura 7. Aracnograma de elementos terras-raras normalizados ao condrito (normalização segundo Sun & McDonough, 1989). Notar a semelhança dos diques Pará de Minas com o padrão dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB). Os padrões de N-MORB (basalto normal de cadeia meso-oceânica) e E-MORB (basalto enriquecido de cadeia meso-oceânica) estão apresentados também para comparação.

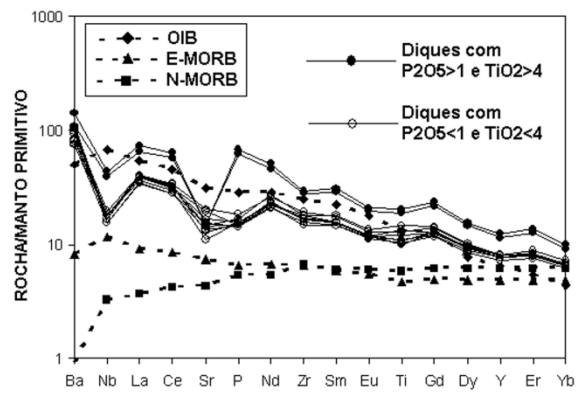


Figura 8. Aracnograma de elementos incompatíveis normalizados ao manto primitivo (normalização segundo Sun & McDonough, 1989). Notar a semelhança dos diques Pará de Minas com o padrão dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB). Os padrões de N-MORB (basalto normal de cadeia meso-oceânica) e E-MORB (basalto enriquecido de cadeia meso-oceânica) estão apresentados também para comparação.

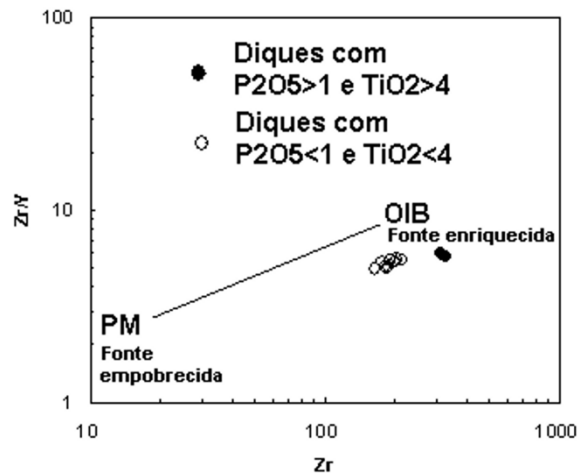


Figura 9. Diagrama binário Zr versus Zr/Y (Sun & McDonough, 1989) discriminador de tipo de fonte mantélica de rochas básicas. PM = manto primitivo, OIB = Basalto de ilha oceânica.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Plumas mantélicas representam a expressão física de um fluxo verticalizado ascendente e termalmente controlado de rocha proveniente de porções profundas do manto, reconhecido em imagens de tomografia sísmica. Quando próxima da superfície terrestre, a descompressão desta rocha em ascensão favorece o processo de sua fusão, gerando magmas (White, 2010). As características químicas de magmas derivados de uma pluma refletem sua origem em uma zona anormalmente quente do manto sob a litosfera. Esta zona se materializa como a cabeça da pluma que se espalha radialmente, mantendo a sua região central mais aquecida que as bordas. Da região da cabeça surgem magmas picríticos na sua parte central, bem como magmas toleíticos e alcalinos em direção às suas margens (Campbell, 2001).

Províncias ígneas gigantescas (ou LIP's – *large igneous provinces*), como derrames basálticos continentais, surgem durante a atividade de plumas mantélicas. Segundo Ernst and Buchan (2001), no registro geológico Paleozóico e Proterozóico continental as LIP's são tipicamente reconhecidas por seus sistemas alimentadores: os vigorosos enxames de diques máficos, agora expostos após longa fase erosiva. No contexto geológico da região centro-sudeste do Brasil durante o período Estateriano, a existência do Enxame de diques Pará de Minas remete à atividade de uma provável pluma mantélica, idealizada na figura 10. Em termos magmáticos, ao se afastar radialmente do ponto central em Mato Grosso-Goiás onde a cabeça da pluma estaria localizada, a fusão parcial do material da mesma seria capaz de produzir os magmas subalcalinos toleíticos dos diques Pará de Minas, que teriam fluído subhorizontalmente (espalhamento lateral do magma na cabeça da pluma) durante o processo de colocação nas fraturas crustais verticais. Os diques alcalinos deste enxame teriam sido produzidos nas regiões menos quentes da cabeça da pluma, onde há um menor grau de fusão parcial do seu material. Adicionalmente, segundo Winter (2001), o fracionamento pronunciado do plagioclásio, evidenciado pelo caráter porfirítico de alguns diques Pará de Minas e pelas anomalias negativas de Eu e Sr das figuras 7 e 8, também

poderia levar ao surgimento de magmas alcalinos a partir dos subalcalinos toleíticos.

O calor transferido pela pluma à base da crosta continental, que também sofria processos de rifteamento ativo e descompressão simultaneamente à atividade da pluma, complementarmente causaria o surgimento de magmatismo ácido anorogênico representado não só pelas rochas plutônicas das suítes Pedra Branca e Borrachudos como também pelos riolitos, dacitos e ignimbritos da base do rift de Pirapora. Estas vulcânicas ácidas são encontradas associadas a vulcânicas basálticas, possíveis remanescentes da LIP Estateriana de Mato Grosso-Goiás, e juntas compõem um vulcanismo bimodal.

No tratamento dos dados litoquímicos dos diques Pará de Minas, tanto os corpos subalcalinos quanto os alcalinos mostram assinatura de basaltos OIB (figuras 7, 8 e 9), provenientes de uma fonte fortemente enriquecida em elementos incompatíveis. Essa assinatura é quase sempre encontrada no magmatismo basáltico intra-placa (oceânico ou continental) associado à plumas mantélicas (Campbell, 2001) e vem reforçar a associação do Enxame Pará de Minas ao panorama geológico de rifteamento, sedimentação e magmatismo bimodal disparado pela pluma Estateriana de Mato Grosso-Goiás, no Brasil Central.

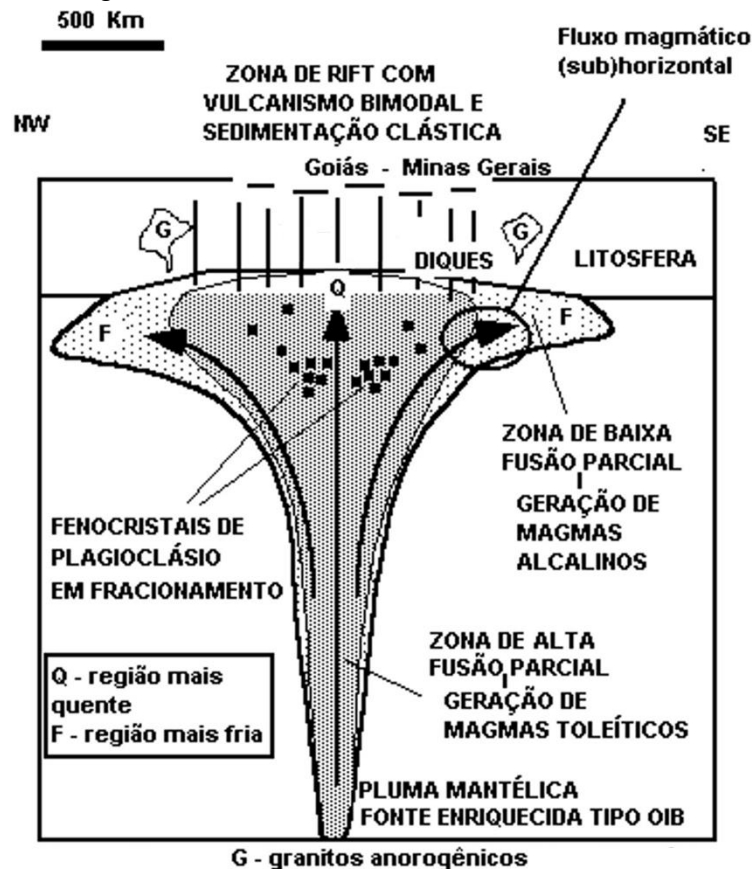


Figura 10. Cenário geodinâmico, associado à atividade de uma provável pluma mantélica, para o período Estateriano nas regiões de Goiás e Minas Gerais (construído a partir das informações compiladas ao longo do texto).

5. AGRADECIMENTOS

À PRPq-UFMG, pelo apoio financeiro concedido. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa do autor.

6. REFERÊNCIAS

- Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A., 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. Bacia do São Francisco—Geologia e Recursos Naturais. In: Pinto, C.P., Martins-Neto, M.A. (Eds.), SBG-MG. Belo Horizonte, pp. 9–30.
- Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A., 2005. Brazil. In: Encyclopedia of Geology. Elsevier. Netherlands.
- Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine Petr. Geol.*, 33: 127-139
- Alvarenga, C.J.S., Botelho, N.F., Dardenne, M.A., Campos, J.E.G., Martins, F.A.L., Menezes, P.R., Moura, M.A., 2000. Magmatic and stratigraphic evolution of a Paleoproterozoic syn-rift to post-rift basin: example of the Arai Basin, Brazil. In: Proceedings of the 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, CD-ROM (abstracts).
- Borges, A.J. & Drews, M.G.P., 2001. Características magnetométricas da Bacia do São Francisco em Minas Gerais. In: Bacia do São Francisco—Geologia e Recursos Naturais. Pinto, C.P., Martins-Neto, M.A. (Eds.), SBG-Minas Gerais, pp. 55–66.
- Brito Neves, B.B., Kawashita, K., Delhal, J., 1979. A evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço: dados novos e integração. *Rev. Bras. Geoc.*, 9 (1): 71–85.
- Campbell, I.H. 2001. Identification of ancient mantle plumes. In: Ernst & Buchan (eds) *Mantle plumes: their identification through time*. Geological Society of America. Special Paper. p.5-21.
- Carneiro, M.A. & Oliveira, A. H. 2005. Tectonic evolution of southern São Francisco Craton: three tectonothermal events based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic data. III Simpósio sobre o Craton São Francisco. Salvador-BA. St5-05. CD-ROM.
- Chaves, A.O. & Correia Neves, J.M. 2005a. Radiometric ages, aeromagnetic expression, and general geology of mafic dykes from southeastern Brazil and implications for African-South American correlations. *J. South Amer. Earth Sci.*, 19:387-397.
- Chaves A.O. & Correia Neves J.M. 2005b. Magmatism, rifting and sedimentation related to late Paleoproterozoic mantle plume events of central and southeast Brazil. *J. Geodyn.*, 39(3): 197-208.
- Chaves A.O. 2013. Enxames de diques máficos de Minas Gerais – o estado da arte. *Geonomos*, 21(1): 29-33.
- Dossin, I.A., Dussin, T.M., Charvet, J., Cocherie, A., Rossi, P., 1993. Single zircon dating by step wise Pb-evaporation of Middle Proterozoic magmatism in the Espinhaço Range, southeastern São Francisco Craton (MG, Brazil). In: Proceedings of the II Symposium Craton São Francisco, Anais, Salvador, pp. 39–42.
- Ernst, R.E. & Buchan, K.L., 2001. Large mafic magmatic events through time and links to mantle plume heads, in Ernst, R.E. and Buchan, K.L. (eds.), *Mantle Plumes: Their Identification Through Time*: Geological Society of America, Special Paper 352, pp. 483-575.
- Fernandes, M.L.S., 2001. O Granito Borrachudos entre Guanhães e Dores de Guanhães, MG (Plutonito Morro do Urubu): Gênese e evolução. Ph.D. Thesis, IG-UFRJ-Brazil. 187 p.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8:523–548.
- Le Maitre, R. W., 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences, Sub-commission on the Systematics of Igneous Rocks*, Cambridge Univ. Press, 236 p.
- Oliveira, E.P. & Montes, M.L. 1984. Os enxames de diques máficos do Brasil. SBG, Anais do 33º Congresso Brasileiro Geologia, Rio de Janeiro-RJ., IX :4137-4154.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Plan. Sci. Letters*, 19:290–300.
- Pimentel, M.M., Heaman, L., Fuck, R.A., Marini, O.L., 1991. U-Pb zircon geochronology of Precambrian tin-bearing continental type acid magmatism in Central Brazil. *Prec. Res.*, 52:321–335.
- Raposo, M.I.B., Chaves, A.O., Lojkasek-Silva, P., D'Agrella-Filho, M.S., Teixeira, W., 2004. Magnetic fabrics and rock magnetism of Paleoproterozoic dike swarm from southern of the São Francisco Craton, Minas Gerais State, Brazil. *Tectonophysics*, 378: 43–63.
- Silva, A.M., Chemale, J.R.F., Kuyumjian, R.M., Heaman, L., 1995. Mafic dyke swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 25 (2): 124–137.
- Souza Filho, R.G., 1995. O arcabouço estrutural da porção externa da Faixa Araçuaí na Serra do Cabral (MG) e o contraste de estilos deformacionais entre os Supergrupos Espinhaço e São Francisco. M.Sc. Dissertação, UFOP, Brazil, p. 148.
- Sun, S. & McDonough, W. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (editors), *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geological Soc. Sp. Publication, 313-345.
- Teixeira, L. M. 2002. Caracterização de minerais portadores de terras raras e sua aplicação à petrologia e geocronologia de granitos das subprovíncias Tocantins e Paraná – Goiás. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências Universidade de Brasília, Brasília. 356 p
- White, W. M. 2010. Oceanic island basalts and mantle plumes: the geochemical perspective. *Ann. Rev. Earth Plan. Sci.*, 38:133–60.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20: 325–343.
- Winter J.D. 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall. 697p.