

DIQUES MÁFICOS PROTEROZÓICOS DA REGIÃO  
DE RIBEIRÃO DAS NEVES, MG, BRASIL

A.O. CHAVES

Instituto de Geociências, Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais,  
Belo Horizonte, MG

J.M. CORREIA NEVES

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG

E. BILAL

École des Mines de Saint-Étienne, France

Geochim. Brasil., 10(1):001-012, 1996

Recebido em 04/95; aprovado para publicação em 05/96

## ABSTRACT

*The main goal of this paper, after the gathering of several kinds of evidence concerning the basic rocks outcropping in the Ribeirão das Neves area, not far away from Belo Horizonte (MG), is to contribute to the understanding of the origin and emplacement of these basic melts. The region belongs to the southern part of the São Francisco Craton. In the studied region, an archean migmatitic-gneiss complex, which includes small lens-shaped amphibolites (older than 2,86 Ga.), occurs. This embasement is cut by two generations of proterozoic basic dykes. The older one has been emplaced into the transtensional sections of transamazonian transcurrent shear zones (TSZ, about 2,0 Ga), during SSE to NNW compression under intermediate crust conditions. Dykes of this generation show sheared margins due to the TSZ's horizontal movements. The younger generation of dykes (about 0,9 Ga), with preserved igneous textures, has been emplaced before the Upper Proterozoic Bambuí Group, under extensional conditions. The two generations of dykes correspond to continental tholeiitic basalts, but the younger generation shows LREE and incompatible element enrichment higher than the older one. Another worth mentioning feature is the reactivation of the transamazonian TSZ's between the emplacement of the younger mafic dykes and the sedimentation of the Bambuí cover. The reactivation, however, took place as normal faulting and under more brittle conditions than those under which the TSZ's originally set up.*

## RESUMO

*Na região de Ribeirão das Neves, MG, pertencente ao Complexo Granito-gnáissico-migmatítico da porção meridional do Cráton do São Francisco, ocorrem, além de anfíbolitos migmatizados (mais antigos que 2,86 Ga.), duas gerações de diques básicos proterozóicas. Dentre estas duas gerações, existem evidências de que a primeira intrudiu nas porções transtensionais de zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT), de direções N20W (predominante) e N50E (subordinada), que teriam sido geradas no final do Ciclo Transamazônico (há cerca de 2.0 Ga), em função de uma compressão de direção aproximada SSE para NNW em condições reológicas de crosta intermediária, durante o fechamento da bacia Minas. Os diques desta geração, identificados como toleítos continentais, mostram-se metamorfizados e com margens cisalhadas em função dos movimentos horizontais ao longo destas ZCT. A segunda geração de diques, com textura ígnea preservada, é também geoquimicamente constituída por basaltos toleíticos continentais, com enriquecimento, em ETR leves e outros elementos incompatíveis, superior ao observado nos diques da primeira geração. Estes diques não-metamorfizados cortam os mais antigos e posicionaram-se na crosta no início do Proterozóico Superior (há cerca de 0.9 Ga), antes da deposição do Grupo Bambuí. Foi, ainda, verificado que as ZCT transamazônicas foram reativadas após a intrusão desta segunda geração de diques e, também, antes da deposição do G. Bambuí. Esta reativação se deu na forma de falhamentos normais e sob um regime mais rúptil do que quando as ZCT apareceram.*

## INTRODUÇÃO

O presente artigo é o resultado de um estudo de rochas básicas iniciado na região de Ribeirão das Neves, MG, durante Trabalho de Graduação do primeiro autor. Porém, nele encontram-se informações adicionais obtidas através de trabalhos realizados em toda a exposição do embasamento cristali-

no a oeste de Belo Horizonte, no decurso de pesquisas em desenvolvimento visando uma dissertação de mestrado. Os resultados aqui apresentados, baseados em observações de campo, petrografia microscópica, geoquímica e reinterpretção dos dados K-Ar de TEIXEIRA et al. (1988), levam-nos a questionar a interpretação de TEIXEIRA (1989), que consi-

dera 5 gerações de material básico na referida exposição do embasamento, bem como a formação de ROMANO (1989), que admite apenas uma geração. Já, OLIVEIRA (1994) propõe a existência de uma geração de diques de não mais que 2,0 Ga e outra de 0,9-0,7 Ga para a região, proposta esta que parece estar sendo confirmada por este estudo.

## ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A área, na qual afloram os diques máficos estudados, integra-se à porção meridional do Cráton de São Francisco, onde está exposto o Complexo granito-gnáissico-migmatítico, intensamente recortado por estes corpos básicos verticais a subverticais.

Além das rochas do Complexo granito-gnáissico-migmatítico, com feições metamórficas de médio a alto grau, o cenário geológico regional mostra, ainda, rochas do Super Grupo Rio das Velhas ("greenstone belt" arqueano), Super Grupo Minas (intercalações detrítico-químicas eoproterozóicas), Super Grupo Espinhaço (metaconglomerados, quartzitos e filitos mesoproterozóicos) e Super Grupo São Francisco (cobertura plataforma constituída de calcários e metapelitos do Grupo Bambuí, de idade neoproterozóica). A Figura 1 apresenta este quadro geológico regional.

## DIQUES MÁFICOS: FEIÇÕES GERAIS, PETROGRAFIA, RELAÇÕES ESTRUTURAIS E GEOCRONOLOGIA

Dentro dos limites da área estudada (Fig. 2) destacam-se 31 diques máficos, cortando gnaisses migmatíticos. Os diques constituem lineamentos finos e contínuos ao longo de centenas de metros a vários quilômetros e têm larguras que vão desde 20m a 100m, com média de 40m. A sua disposição varia de vertical a subvertical e, em superfície, acham-se alterados, o que se evidencia por um manto de intemperismo vermelho que contrasta com o de tom róseo das rochas gnáissico-migmatíticas encaixantes. As amostras frescas para estudo foram obtidas "in situ", a partir de blocos arredondados.

Além dos diques máficos, ocorrem, na área, anfíbólitos esparsos no embasamento migmatítico na forma de lentes,

os quais sofreram estiramentos e deformações ainda durante a migmatização há cerca de 2.86 Ga (NOCE et al., 1994). Como têm dimensões métricas, não são mapeáveis na escala da Figura 2. Contudo, são bem observados em pedreiras e representam as rochas básicas mais antigas da região.

Entre as rochas básicas encontradas na forma de diques, são distinguidas duas gerações distintas. A mais antiga, encontra-se representada pelos diques 8 a 31 metamorfizados (Fig. 2), com direções variando entre N40W e N10E. No campo, na sua maior parte, estes diques mostram minerais metamorficamente orientados nas suas margens, enquanto que, na região central, não se percebe esta orientação. Esta foliação nas margens é o reflexo da deformação imposta ao longo das zonas de cisalhamento transcorrentes (ZCT), em cujas porções transtensionais, o material básico originalmente intrudiu na crosta.

Em lâmina delgada, as amostras das margens dos diques mostram textura nematogranoblástica, enquanto as do centro são granoblásticas. A mineralogia encontrada nestes diques compõe-se de plagioclásio (An<sub>50</sub>; 30-40%), hornblenda (30-50%), augita (5-20%), ilmenita (<5%), granada (<3%), biotita cloritizada (<3%), sericita (<5%), epidoto (<5%), carbonato (1%), quartzo (<3%) e zircão (1%).

As augitas aparecem como cristais reliquiais xenomorfos, remanescentes da mineralogia original, ou em massas de pequenos cristais recristalizados. Invariavelmente, mostram-se quase completamente substituídas por hornblendas, estas últimas aparecendo como cristais hipidiomór-

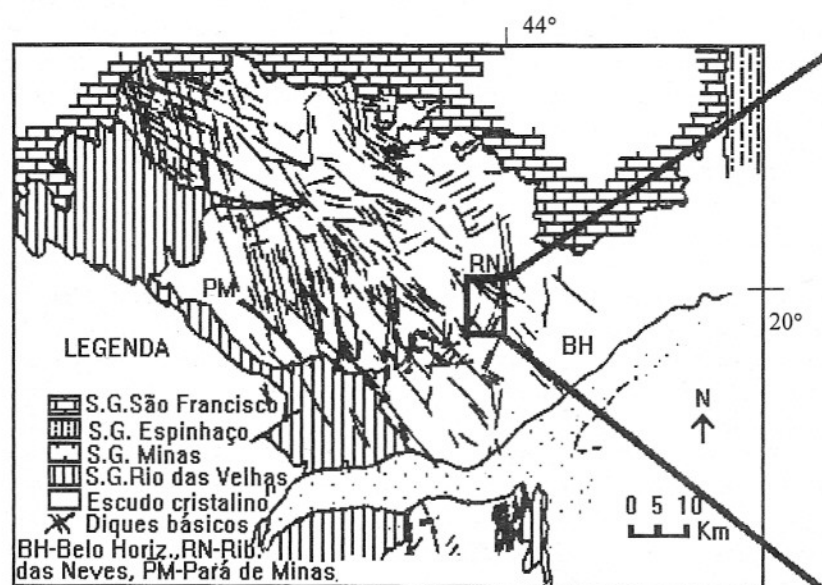
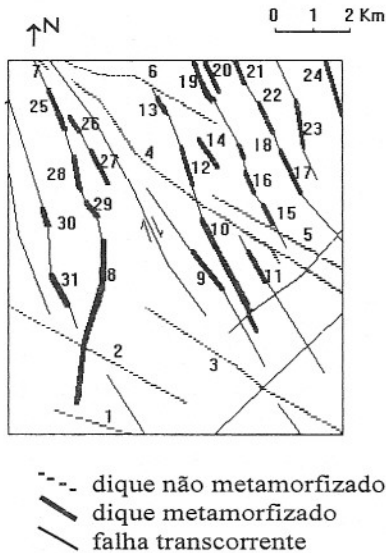


Figura 1 - Situação geológica regional-porção meridional do Cráton de São Francisco (mod. de Romano, 1989).



**Figura 2** - Diques máficos encontrados dentro dos limites da área estudada, cuja numeração é utilizada no texto.

ficos com pleocroísmo verde e castanho.

Os plagioclásios ocorrem na forma de um aglomerado de cristais poligonalizados, normalmente exibindo extinção ondulante ou tendo as maclas polissintéticas algo deformadas e descontínuas. Processos de saussuritização (substituição por sericita, epidoto e carbonato) sobre estes plagioclásios são comuns.

As ilmenitas, de origem ígnea anterior ao metamorfismo, ocorrem normalmente como agregados de pequenos cristais hipidiomórficos ou esqueléticos.

Granadas aparecem na forma "coronas" de origem metamórfica, no contato dos plagioclásios com cristais de piroxênio. Tais coronas parecem ser resultantes da reação entre piroxênio e plagioclásio durante o metamorfismo ( fácies anfíbolito alto) que ocorreu nos diques, contidos nas referidas ZCT, em episódios transpressivos subsequentes.

Biotitas primárias ocorrem, subordinadamente, algo cloritizadas. Em caráter acessório, aparecem ainda quartzo e zircão, este último metamictico no interior das hornblendas, com nítido halo pleocróico circundando-o.

Alguns diques mostram megacristais de plagioclásio (antigos fenocristais) rotacionados, devido à movimentação ao longo das ZCT.

A geração mais nova de diques, com direções variando entre N50-80W, encontra-se representada pelos diques 1 a 7 (Fig. 2). Petrograficamente, eles mostram textura ígnea, que varia de ofítica a subofítica, sem nenhum sinal de deformação, seja na borda, ou no centro dos corpos. A mineralogia compõe-se de plagioclásio ( $An_{30-60}$ ; 40%), augita-pigeonita (30%), ilmenita (5%), hornblenda (3%), clorita (10%), biotita (<2%), sericita (3%), epidoto (3%), carbonato (<1%), quartzo (<2%), titanita (<2%), apatita (<2%).

A mineralogia principal, composta por cristais hipidiomórficos de augita/pigeonita e ripas de plagioclásio, sofreu apenas processos de autometassomatismo, revelado ao microscópio pelo fato dos piroxênios mostrarem-se algo cloritizados e, menos expressivamente, uralitizados nas suas bordas e pelas ripas de plagioclásio aparecerem saussuritizadas (parcialmente alteradas para sericita, epidoto, carbonato e alguma albita). Ilmenita acicular ou xenomórfica, hornblenda e biotita, todas primárias, aparecem ainda, porém subordinadamente. De modo acessório, ocorrem titanita, apatita e quartzo.

Em alguns diques são notadas porções porfiríticas, com fenocristais de plagioclásio

que chegam a alcançar até 8cm na maior dimensão.

Em praticamente todos os aspectos (mineralogia, granulção, textura), os diques de 1 a 7 se assemelham, o que sugere que possam ser comagmáticos. Uma feição que marca a separação entre as duas gerações de diques é o fato do dique 2, pertencente à geração mais nova, cortar o dique 8, da geração mais antiga (Fig. 2).

Em termos estruturais, falhamentos transcorrentes de direções N40-20W (predominante) e N40-50E (subordinada), foram encontrados na área (Fig. 2). Estes sistemas, apareceram, inicialmente, em função de uma compressão de sentido SSW para NNW durante o fechamento da bacia Minas, no final do ciclo Transamazônico. Esta compressão, assinalada em trabalhos anteriores (MARSHAK & ALKIMIM, 1989), é responsável pelo aparecimento de zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT) sob condições reológicas de crosta intermediária. Nas porções transtensionais das ZCT intrudiram os magmas máficos da geração mais antiga que, após a sua consolidação e já na forma de diques, foram metamorfozados e tiveram suas margens cisalhadas em função dos movimentos horizontais transpressivos ao longo destas ZCT.

Fato interessante é que, fora da zona de influência das ZCT, os gnaisses migmatíticos não mostram sinais de cisalhamento. Os granitos à oeste da área de estudo, com idade U-Pb de 2,6 Ga (ROMANO, 1989), encontram-se afetados por tais ZCT, estando cortados pelos diques mais antigos e necessariamente pelos mais novos.

Através de exame dos resultados K-Ar em anfíbolios, de

TEIXEIRA et al. (1988), para as amostras retiradas dos diques máficos metamorfizados, nota-se que valores em torno de 2.0 Ga são comuns, atestando que a imposição metamórfica transamazônica (ZCT), de fato, existe sobre estes diques da primeira geração. E, como estes diques parecem estar geneticamente relacionados (sintectônicos) às ZCT, eles teriam esta idade transamazônica para a sua colocação crustal.

Antes do início da deposição do Grupo Bambuí, no início do Proterozóico Superior, deu-se, seguindo direções entre N50-80W, a intrusão dos diques mais novos (não cortam as litologias deste grupo, TEIXEIRA et al., 1988). Como estes diques não mostram sinais de metamorfismo, pensa-se que a sua intrusão se processou durante um regime extensional do segmento crustal no qual eles estão inseridos, ao contrário dos diques da geração mais antiga, relacionados à zonas de cisalhamento transcorrentes. Através da construção de um histograma de idades K-Ar em plagioclásios destes diques sem metamorfismo, segundo reinterpretação dos dados de TEIXEIRA et al. (1988), os valores entre 0,85 e 0,9 Ga apareceram com significativa frequência, sendo, provavelmente, próximos da verdadeira idade de cristalização dos mesmos. Por sinal, OLIVEIRA (1994) já havia sugerido uma idade de 0,9-0,7 Ga para estes diques mais novos.

Uma notável situação encontrada na área é a reativação das ZCT transamazônicas após a intrusão da geração mais nova de diques, confirmada pelo fato de que estes falhamentos secionam e cisalham os diques desta geração mais nova, num regime rúptil, pois são encontra-

dos cataclastos relacionados. A época da retomada destes falhamentos transcorrentes é, também, anterior à deposição da cobertura Bambuí, pois as rochas deste grupo não se encontram cisalhadas em função desta reativação.

## GEOQUÍMICA DOS DIQUES MÁFICOS

As Tabelas 1 e 2 trazem o resultado das análises químicas dos elementos maiores e de alguns traços e elementos das terras-raras (ETR), realizadas na École des Mines de Saint-Étienne (França), de amostras de diques máficos não metamorfizados (2,4,5,6, Tabela 1) e metamorfizados (8, 11, 12, 14, 15, 18, 25,2 8, Tabela 2). As técnicas utilizadas para a obtenção dos resultados foram fluorescência de raios-X (XRF) e ICP, discriminadas para cada elemento ou óxido nas Tabelas 1 e 2. O conteúdo de  $Fe_2O_3$  foi calculado a partir do Fe total, admitindo  $Fe^{+3}$  igual a  $0,15 \times Fe$  total. Apesar da soma dos óxidos de elementos maiores não fechar entre 99,5% e 100,5%, os dados não foram arredondados para 100% para efeito de tratamento.

Antes de qualquer comparação das análises químicas dos diques com e sem metamorfismo, torna-se necessária a confirmação da hipótese de que os diques metamorfizados não tiveram a sua composição original essencialmente modificada pelo metamorfismo. Isto pode ser feito com a ajuda dos diagramas de Razões de Proporções Moleculares (MPR diagrams) de PEARCE (1968), apresentados nas Figuras 3a e 3b. Na Figura 3a, os diagramas mostrados usam a razão molar  $SiO_2/K_2O$

em função da razão molar ÓXIDOS/ $K_2O$  (o K é relativamente móvel no metamorfismo), enquanto que, na Figura 3b, os diagramas usam a razão molar  $SiO_2/TiO_2$  em função da razão molar ÓXIDOS/ $TiO_2$  (o Ti é imóvel no metamorfismo). Em ambas as figuras, estes diagramas sugerem a não influência do metamorfismo, quer para os elementos mais ou menos móveis, pois, de outro modo, não mostrariam uma tão notável correlação linear que, certamente, corresponde à originada pela diferenciação magmática original. Portanto, os diques mantiveram a composição química inicial após o metamorfismo.

Após as considerações anteriores, justifica-se a comparação dos dados químicos das Tabelas 1 e 2, que mostram que o magma parental dos diques mais antigos (metamorfizados) era mais rico em Ca e Mg do que aquele que originou os diques não-metamorfizados da geração mais nova. Porém, o último apresentava teores em elementos incompatíveis como K, Rb, Ba, Ti, P, Th, Zr e Nb superiores ao primeiro. Os elementos Cr e Ni são mais abundantes nos diques metamorfizados. Quando repetidas para diferentes amostras de um mesmo dique, as análises não apresentam diferenças.

O número de magnésio (Mg #) dos diques metamorfizados mostra valores entre 44 e 51, enquanto que, para os diques não-metamorfizados, os valores estão entre 36 e 41. Estes números mostram que o processo de cristalização fracionada foi mais pronunciado no magma que gerou os diques atualmente não-metamorfizados.

Utilizando diagramas clássicos de variação, que apresentam o Mg # em função dos

**Tabela 1** - Análises químicas de alguns diques não-metamorfizados da área de Ribeirão das Neves. (+ = XRF, ^ = ICP)

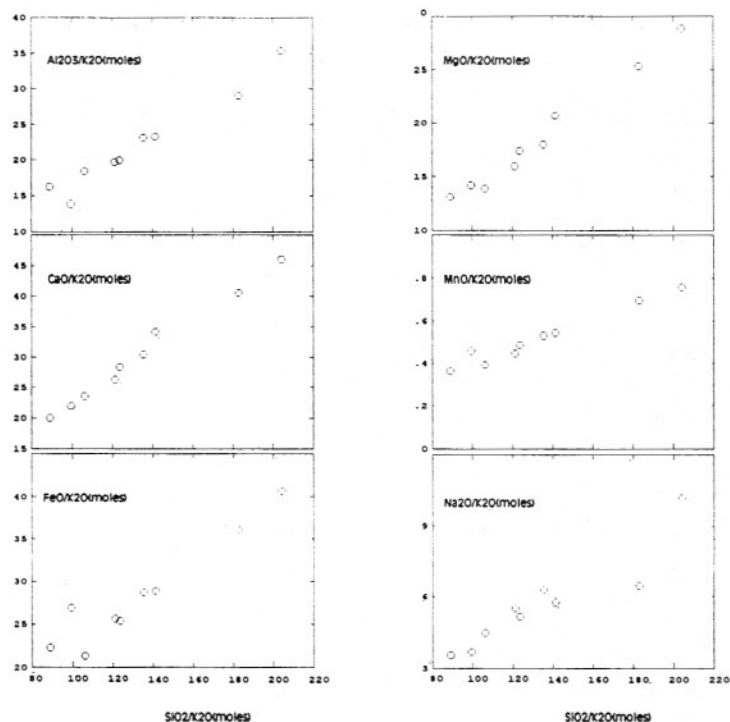
DIQUE	2(a)	2(b)	4(a)	4(b)	4(c)	4(d)	5	6(a)	6(b)	6(c)	6(d)
SiO <sub>2</sub> (%)+	41,66	42,14	48,92	49,05	48,89	48,73	48,51	48,92	48,42	49,01	48,65
TiO <sub>2</sub> (%)+	4,24	3,89	2,69	2,07	3,29	2,31	2,09	2,26	2,20	2,54	2,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)+	13,93	13,95	12,70	13,98	12,49	13,94	14,01	14,09	14,04	13,87	14,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)+	2,68	2,59	2,23	2,19	2,41	2,23	2,16	2,17	2,15	2,18	2,16
FeO(%)+	15,20	14,66	12,65	12,41	13,68	12,63	12,26	12,30	12,16	12,33	12,26
MgO(%)+	4,36	4,29	4,26	4,28	4,98	4,16	3,98	4,10	4,16	4,09	4,37
CaO(%)+	7,89	8,02	6,77	7,50	4,66	7,41	7,56	7,92	7,33	7,88	7,68
Na <sub>2</sub> O(%)+	2,63	3,08	3,36	2,95	3,00	2,25	3,21	2,51	2,62	3,21	2,70
K <sub>2</sub> O(%)+	1,64	1,33	1,27	1,80	1,14	1,38	1,47	1,30	1,87	1,31	1,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)+	1,40	1,29	0,38	0,32	0,40	0,32	0,32	0,31	0,31	0,33	0,30
MnO(%)+	0,22	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19
PF(%)+	2,60	3,14	2,28	1,67	2,47	2,28	1,90	2,11	2,32	1,81	2,25
TOTAL(%)+	98,45	98,60	97,71	98,41	97,62	97,84	97,66	98,19	97,77	98,76	98,31
Mg#	36	36	40	40	41	39	38	39	40	39	41
Cr(ppm)+	62	60	31	57	45	47	47	46	46	45	48
Ni(ppm)+	54	52	40	68	51	68	61	65	64	62	66
Sc(ppm)+	22	23	25	26	30	26	27	25	25	27	25
K(ppm)+	13614	11041	10543	14942	9463	11456	12203	10792	15523	10875	10875
Rb(ppm)+	34	29	25	50	23	45	41	39	55	33	33
Ba(ppm)+	986	761	673	764	827	635	591	585	716	563	532
Sr(ppm)+	316	321	428	270	414	399	301	410	395	349	327
Nb(ppm)^	30,5	28,3	13,7	11,9	14,6	11,8	12,0	12,8	12,1	13,3	11,1
Hf(ppm)^	14,1	15,40	13,1	11,1	16	11,20	12,20	13,5	12	14,4	12,40
Zr(ppm)+	324	313	215	182	215	190	185	191	189	201	176
Ti(ppm)+	25443	23315	16127	12392	19700	13836	12524	13561	13189	15215	12787
Y(ppm)^	56	52	37	36	41	36	37	35	35	36	33
Th(ppm)^	4,33	5,86	6,89	4,83	5,48	4,35	6,16	5,77	4,28	4,04	4,04
La(ppm)^	50,10	44,30	27,70	27,10	32,80	27,30	26,50	26,80	26,20	26,70	24,10
Ce(ppm)^	112,00	102,00	60,30	56,90	66,60	54,90	55,80	54,90	53,10	55,50	50,20
Nd(ppm)^	69,30	63,10	35,10	32,60	38,20	31,30	31,70	30,80	29,60	30,70	27,90
Sm(ppm)^	13,80	12,60	7,66	6,93	8,62	7,01	6,92	6,98	6,71	6,94	6,41
Eu(ppm)^	3,49	3,27	2,17	2,00	2,34	2,00	1,95	2,02	1,96	1,97	1,87
Gd(ppm)^	14,10	13,00	8,24	7,83	9,08	7,61	7,48	7,65	7,45	7,50	6,91
Dy(ppm)^	11,40	10,70	7,11	6,85	7,90	6,86	6,73	6,76	6,61	6,74	6,18
Yb(ppm)^	4,88	4,53	3,14	3,34	3,41	3,34	3,23	3,32	3,27	3,32	3,06

óxidos de elementos maiores (Figura 4) e de elementos traços (e alguns terras-raras, Figura 5) para os diques de ambas as gerações, é possível perceber que um aumento no Mg # é acompanhado pela diminuição de SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb, Y, Zr, La e Yb e pelo aumento de CaO e Cr. Nota-se claramente, por meio destes diagramas binários, a separação das duas gerações de diques e seus respectivos “trends” de diferenciação (somente o dique 2, às vezes, parece não acompanhar o “trend” de diferenciação dos diques não-metamorfizados).

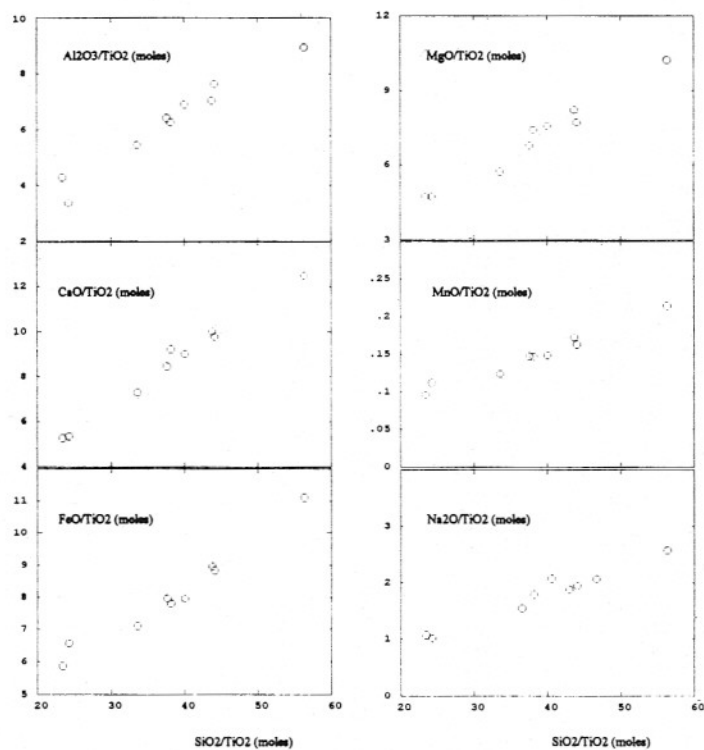
Quanto à composição normativa CIPW, tanto os diques metamorfizados quanto os não-metamorfizados constitu-

**Tabela 2** - Análises químicas de alguns diques metamorfizados da área de Ribeirão das Neves. (+ = XRF, ^ = ICP).

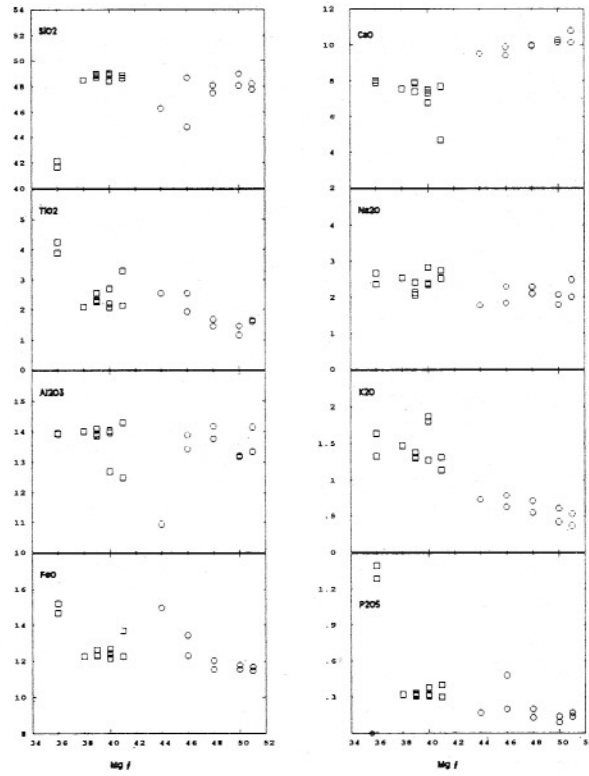
DIQUE	8(a)	8(b)	11	12	14	15	18	25	28
SiO <sub>2</sub> (%)+	47,51	48,21	48,69	48,09	46,30	47,77	48,08	44,82	49,01
TiO <sub>2</sub> (%)+	1,68	1,60	1,93	1,45	2,54	1,66	1,46	2,54	1,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)+	13,78	14,15	13,44	14,18	10,94	13,35	13,17	13,90	13,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)+	2,12	2,03	2,17	2,04	2,64	2,06	2,08	2,37	2,04
FeO(%)+	12,04	11,47	12,31	11,54	14,98	11,68	11,79	13,43	11,55
MgO(%)+	5,75	6,13	5,57	5,66	6,06	6,24	6,07	6,08	5,98
CaO(%)+	9,97	10,14	9,88	9,96	9,53	10,79	10,29	9,41	10,14
Na <sub>2</sub> O(%)+	3,20	2,81	2,87	2,19	1,98	2,31	2,78	2,10	2,31
K <sub>2</sub> O(%)+	0,55	0,37	0,63	0,71	0,73	0,53	0,61	0,79	0,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)+	0,20	0,17	0,20	0,13	0,17	0,14	0,14	0,48	0,09
MnO(%)+	0,22	0,21	0,21	0,21	0,25	0,22	0,22	0,22	0,22
PF(%)+	1,32	0,57	0,41	1,62	1,38	1,26	1,51	2,45	2,02
TOTAL(%)+	98,34	97,86	98,31	97,78	97,50	98,01	98,21	98,59	98,16
Mg#	48	51	46	48	44	51	50	46	50
Cr(ppm)+	102	103	93	95	116	191	139	99	83
Ni(ppm)+	64	79	62	65	76	77	60	98	44
Sc(ppm)+	41	43	46	44	51	48	45	35	49
K(ppm)+	4566	3071	5230	5894	6060	4400	5064	6558	3487
Rb(ppm)+	19	12	21	35	29	25	26	28	14
Ba(ppm)+	161	111	136	105	149	105	108	215	86
Sr(ppm)+	120	117	100	102	106	92	109	130	125
Nb(ppm)^	9	6,0	7,9	6,3	8,0	6,4	6,0	11,8	4,3
Hf(ppm)^	13,6	14,70	13,00	13,00	13,30	10,30	10,60	11,90	10,20
Zr(ppm)+	108	93	114	85	90	79	83	197	65
Ti(ppm)+	10072	9598	11552	8699	15203	9982	8765	15245	6936
Y(ppm)^	43	33	43	33	40	40	33	41	29
Th(ppm)^	3,45	2,33	2,85	2,51	1,71	1,86	2,32	4,45	1,84
La(ppm)^	12,60	10,20	13,90	10,30	13,10	9,79	10,20	18,40	7,21
Ce(ppm)^	27,50	23,70	31,90	23,60	24,70	23,10	24,50	42,80	17,90
Nd(ppm)^	18,00	15,20	19,30	14,60	16,90	15,30	15,30	26,90	11,10
Sm(ppm)^	5,60	4,14	5,78	4,29	5,66	4,54	4,21	6,48	3,38
Eu(ppm)^	1,63	1,37	1,68	1,31	1,62	1,40	1,27	2,15	1,15
Gd(ppm)^	7,15	5,66	7,05	5,50	6,87	6,35	5,70	7,89	4,87
Dy(ppm)^	7,55	6,03	7,59	5,86	7,34	6,74	6,05	7,82	5,27
Yb(ppm)^	4,08	3,34	4,29	3,33	3,88	3,70	3,20	4,01	2,99



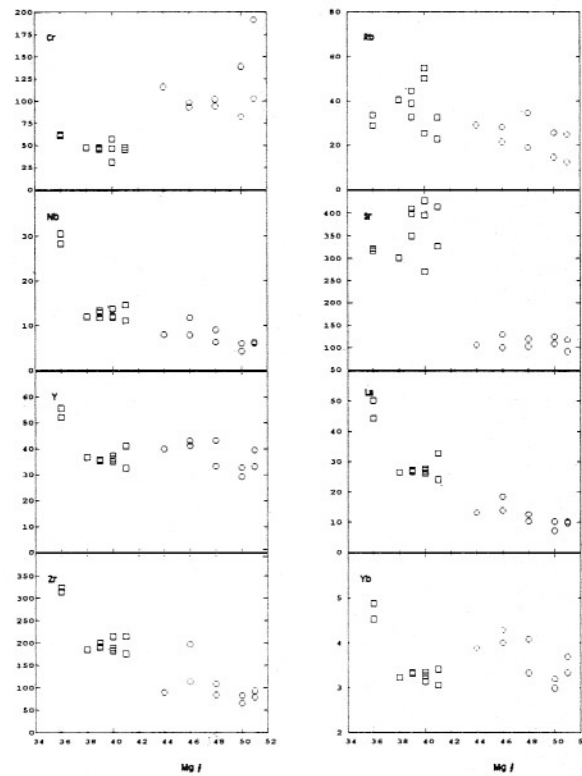
**Figura 3a:** Diagramas de razões de proporções moleculares (PEARCE, 1968), com a razão molar  $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$  em função da razão molar  $\text{Óxidos}/\text{K}_2\text{O}$ , para os diques metamorfizados. Os trends nestes diagramas mostram que a composição original do magma que gerou estes diques não foi modificada pelo metamorfismo.



**Figura 3b:** Diagramas de razões de proporções moleculares (PEARCE, 1968), com a razão molar  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  em função da razão molar  $\text{Óxidos}/\text{TiO}_2$ , para os diques metamorfizados. Os trends nestes diagramas também mostram que a composição original do magma que gerou estes diques não foi modificada pelo metamorfismo.



**Figura 4:** Diagrama de variação binário de Mg # em função dos óxidos de elementos maiores para os diques metamorfizados (o) e não-metamorfizados (□) da região de Ribeirão das Neves.



**Figura 5:** Diagrama de variação binário Mg # em função de alguns elementos traços (e terras-raras) para os diques metamorfizados (o) e não-metamorfizados (□) da região de Ribeirão das Neves.

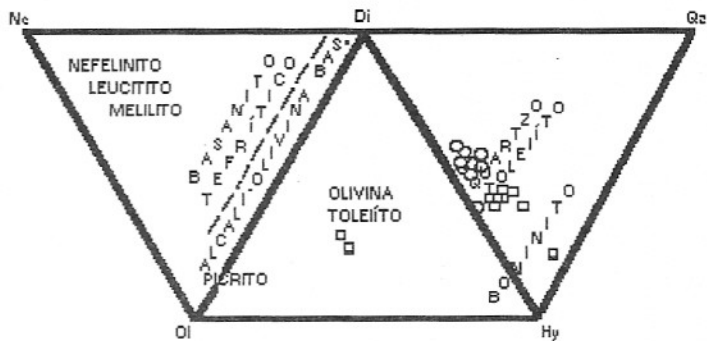


em quartzo-toleítos, sendo apenas o dique 2, não-metamorfizado, um olivina-toleíto (Fig. 6).

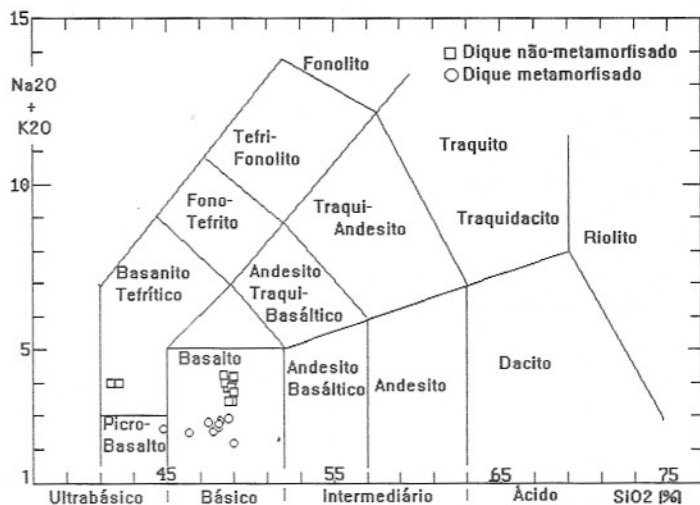
No que diz respeito à sistemática petrográfica com base química, os diques metamorfizados e os não-metamorfizados projetam-se no diagrama TAS (Figura 7) de LE BAS et al. (1986) no campo dos basaltos. Apenas o dique 2 cai no campo dos basanitos tefríticos. Nota-se claramente, por este diagrama, também, uma separação dos dois grupos de diques.

No diagrama Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus Nb/Y de WINCHESTER & FLOYD (1976), que discrimina o tipo do magma para amostras metamorfizadas e/ou alteradas, o que corresponde respectivamente à situação dos diques metamorfizados e não-metamorfizados (estes últimos apresentam-se levemente alterados, conforme descrição petrográfica), ambas as gerações caem no campo dos toleítos (Fig. 8). Novamente, os dois grupos de diques separaram-se claramente.

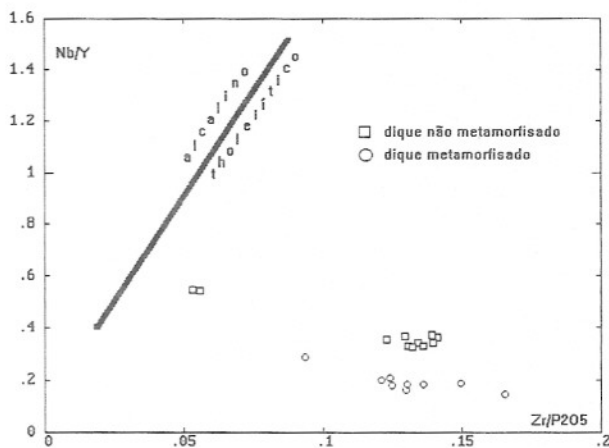
O diagrama de variação de elementos incompatíveis normalizados ao manto (Fig. 9) mostra que os diques sem metamorfismo apresentam um maior enriquecimento nestes elementos do que os diques metamorfizados. Porém, tanto os diques metamorfizados, quanto os não-metamorfizados apresentam o padrão típico dos toleítos continentais (HOLM, 1985), o que é indubitável em função do próprio contexto geológico no qual estão inseridos. A anomalia negativa de Nb, característica dos toleítos continentais, aparece em ambas as gerações de diques. A anomalia negativa de Ba, que aparece nos diques metamorfizados, pode ser explicada pela retirada



**Figura 6** - Diagrama da composição normativa CIPW expressa como Ne-Ol-Di, Ol-Di-Hy, Di-Hy-Qz (THOMPSON, 1984). A maioria dos diques metamorfizados (o) e não-metamorfizados (□) são quartzo-toleítos normativos.



**Figura 7** - Diagrama TAS (Total alcali-silica) de LE BAS et al. (1986), com plotagem dos diques da região de Ribeirão das Neves.



**Figura 8** - Diagrama Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> versus Nb/Y (WINCHESTER & FLOYD, 1976) discriminador do tipo do magmatismo, com a plotagem dos diques metamorfizados e não-metamorfizados da região de Ribeirão das Neves.

da deste elemento por fluidos que acompanharam o cisalhamento sofrido pelos diques desta geração.

Por fim, o diagrama de variação de elementos terras-raras (ETR) normalizados à condrito mostra que os diques não-metamorfizados apresentam enriquecimento de ETR leves superior ao dos diques metamorfizados (Fig. 10). A anomalia negativa de Eu, típica da maioria dos toleítos continentais, pode ser observada discretamente em ambas as gerações.

Cabe aqui mencionar que as duas amostras do dique 2, normalmente aparecendo separadas na maioria dos diagramas apresentados, não mostram diferenças petrográficas marcantes em relação às demais de sua geração. Provavelmente, o dique 2 deriva de um fracionamento local mais pronunciado do magma que gerou os diques não-metamorfizados.

## CONCLUSÕES

Na região de Ribeirão das Neves caracterizam-se três tipos de material básico. O mais antigo está representado por anfibolitos que ocorrem como corpos descontínuos de pequenas dimensões no interior dos migmatitos. Cortando a encaixante gnáissico-migmatítica, existem diques proterozóicos verticais a subverticais de duas gerações, com direções antagônicas, a mais antiga das quais (cerca de 2.0 Ga) têm impressas características de metamorfismo de alto grau, pois intrudiu ao longo de faixas de cisalhamento transcorrente. A geração mais jovem (cerca de 0.9 Ga), sem metamorfismo, posicionou-se na crosta em condições extensionais. Embora estas

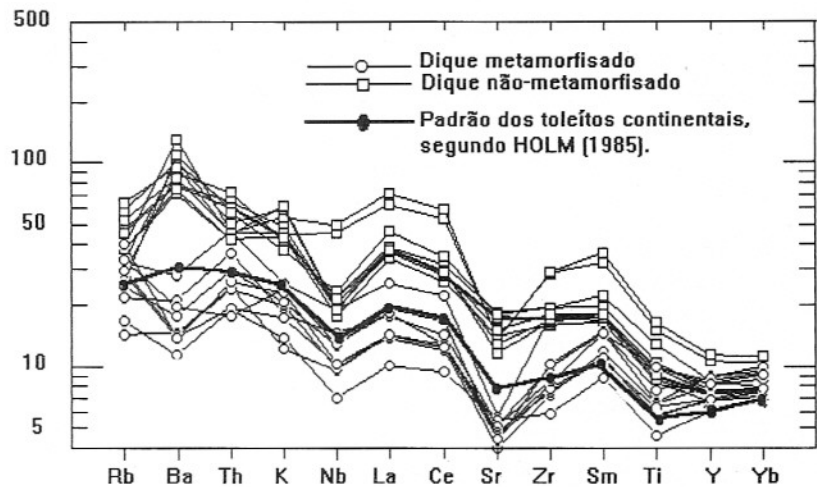


Figura 9 - Diagrama de variação de elementos incompatíveis normalizados ao manto (segundo WOOD et al., em HOLM, 1985), para os diques de Ribeirão das Neves.

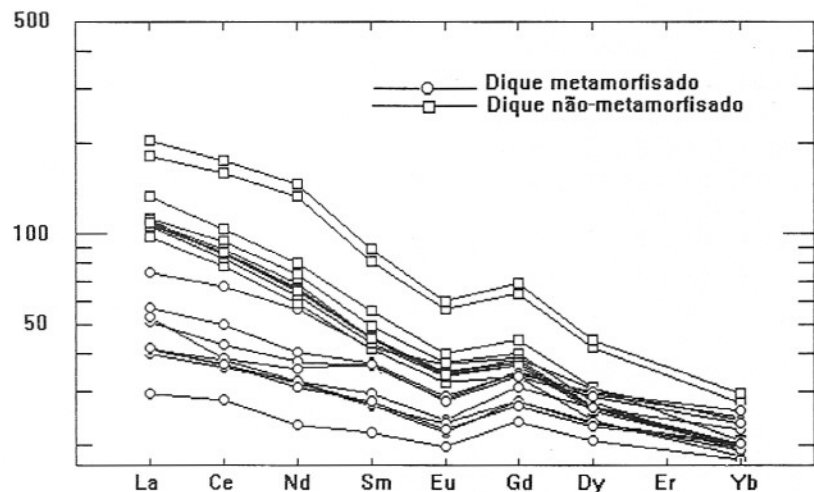


Figura 10 - Diagrama de variação de ETR normalizados a condritos (segundo Evensen et al., 1985), para os diques da região de Ribeirão das Neves.

duas gerações de diques se situem numa mesma região e correspondam ambas a basaltos toleíticos continentais, a mais antiga certamente derivou de uma fonte menos enriquecida do que aquela que alimentou os diques mais jovens, além de estarem separadas por, no mínimo, 1.0 Ga. As diferenças petrográficas, de campo, geocronológicas, de tectônica de posicionamento essencial-

mente, geoquímicas destas duas gerações de diques máficos aqui apresentadas e comparadas, deixam claro, portanto, que se tratam de duas manifestações distintas de magmatismo básico.

## AGRADECIMENTOS

As pesquisas que originaram o presente trabalho receberam o apoio do CNPq, da

UFMG, da École des Mines de Saint-Étienne (França), da FAPEMIG e do Convênio CA-PES/COFECUB. A estas instituições e aos Drs. Antônio Wilson Romano e Adolph H. Horn, testemunhamos nossos agradecimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CADMAN, A.; TARNEY, J.; PARK, R.G. (1990) Intrusion and crystallization features in proterozoic dyke swarms. Mafic dykes and emplacement mechanisms, Parker, Rickwood and Tucker (eds.), Balkema, Rotterdam, p.13-24.
- CHAVES, A.O. (1993) Mapeamento geológico da região a sul da cidade de Ribeirão das Neves (MG), com ênfase aos estudos petrográficos, petrológicos e geoquímicos dos diques máficos Trabalho Geológico de Graduação pelo IGC-UFMG.
- CHAVES, A.O.; CORREIA NEVES, J.M.; BILAL, E. (1994) Diques máficos pré-cambrianos da região de Ribeirão das Neves - MG. In: 38<sup>o</sup> Congresso Bras. Geol., Camboriú, Bol. de Resumos Expandidos, 3:133-136.
- EVENSEN, N.H.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. (1978) Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geoch. Cosmo. Acta*, 42:1199-1212.
- HALLS, H. C. (1982) The importance and potential of mafic dyke swarms in studies of geodynamic process. *Geoscience Canada*, 9(3):145-154.
- HOLM, P.E. (1985) The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hygromagmatophile element abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites. *Chem. Geol.*, 51:303-323.
- IRVINE, T. B. & BARAGAR, W. R. A. (1971) A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8:523-548
- LE BAS, M. J.; LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the Total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3):745-750.
- MARSHAK, S. & ALKIMIM, F. F. (1989) Proterozoic contraction/extension tectonics of the southern São Francisco region, M.G., Brazil. *Tectonics*, 8(3):555-571.
- MESCHEDE, M. (1986) A method of discrimination between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb<sub>x</sub>Zr<sub>x</sub>Y diagram. *Chem. Geol.*, 56:207-218
- NOCE, C.M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. (1994) O Complexo Belo Horizonte e a evolução arqueana do Quadrilátero Ferrífero, M.G.. In: XXXVIII Cong. Bras. Geol., Bol. Res. Expand, 1:68-69.
- OLIVEIRA, E. P. (1989) Secular variation in the composition of Brazilian mafic dyke swarms: preliminary results. In: IG-USP, Série Científica, Boletim 20:33-36.
- OLIVEIRA, E. P. (1994) Composition of Proterozoic mafic dyke swarms from the São Francisco Cráton (Brazil): implications for mantle processes and evolution. In: Intern. Symp. Phis. and Chem. of the Upper Mantle. São Paulo, Anais, p.97-99.
- PEARCE, T.H. (1968) A contribution to the Theory of Variation Diagrams. In: *Contr. Miner. and Petrol.*
- ROMANO, A. W. (1989) Evolution tectonique de la région nord-ouest du Quadrilatère Ferrifère, M.G., Brésil. Tese de doutorado pela Univ. de Nancy.
- TARNEY, J. (1992) Geochemistry and significance of mafic dyke swarms in the Proterozoic. *Proterozoic Crustal Evolution*, K.C. Condie (ed.) *Develop. in Precambrian Geology*, Elsevier, 10:151-179.
- TEIXEIRA, W. (1989) Mafic dykes in the southern part of São Francisco Cráton: a tectonic review based on K-Ar geochronology. In: IG-USP, Série Científica, Boletim 20:25-30
- TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K.; PECCHIO, M.; TAME, N.R. (1988) Geocronologia K-Ar do enxame de diques básicos da parte meridional do Cráton do São Francisco e implicações no contexto geotectônico. In: Cong. Bras. Geol., Anais, Belém, 6:2870-2886.
- THOMPSON, G. (1984) Dispatches from the basalt front. 1. Experiments. In: *Proc. Geol. Ass.*, 95:249-262.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. (1976) Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. In: *Earth and Plan. Sci. Let.*, 28:459-469.