

**DISTRIBUIÇÃO DE TERRAS RARAS E OUTROS ELEMENTOS
TRAÇOS EM BASALTOS DA BACIA DO PARANÁ
(BRASIL MERIDIONAL)**

L.S. Marques¹, E.M. Piccirillo², A.J. Melfi¹, P. Comin-Chiaramonti³, G. Bellieni⁴

1 Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, Brasil

2. Istituto di Mineralogia e Petrografia, Università di Trieste, Italia

3. Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica, Università de Palermo, Italia

4. Dipartimento di Mineralogia e Petrologia, Università de Padova, Italia

ABSTRACT

Geological and geochemical data allow to divide the flood volcanics from Paraná Basin into two main provinces. In the Southern Paraná Province dominate basic rocks characterized by low TiO_2 ($\leq 2\%$) and incompatible element contents, while in the Northern Paraná Province prevail basalts with relatively high TiO_2 ($> 2\%$) and incompatible element contents.

A detailed study of the geochemical characteristics of the basalts with low and high TiO_2 contents is presented. It is based on major to trace element contents of eighty-one selected samples distributed over the entire Paraná Basin.

The low TiO_2 basalts of southern Paraná with high Sr initial isotope ratio ($R_o > 0.7060$) are geochemically distinct from those with comparatively low R_o (≤ 0.7060) for their important enrichment in incompatible elements. Increasing the R_o value the incompatible element distribution pattern becomes progressively similar to that of the Paraná granitic crystalline basement.

The "uncontaminated" or poorly contaminated low TiO_2 basalts from Southern Paraná Province show important differences in the geochemical characteristics in comparison with the analogues from Northern Province. A similar geochemical diversity is also observed in high TiO_2 basic rocks.

The significant geochemical and isotopic (Sr and Nd) differences between the "uncontaminated" basalts from Northern and Southern Provinces of Paraná Basin support the view that they originated from mantle sources with distinct composition. The data also suggest that the basalt source of Southern Paraná Province was depleted in incompatible elements relative to basalt analogues of Northern Paraná Province.

The existence of low and high TiO_2 provinces in the Karoo (S. Africa) and Antarctica basaltic Triassic magmatism indicates a large scale heterogeneity for the basalt generation in the lithospheric mantle.

RESUMO

Dados geológicos e geoquímicos de suas rochas vulcânicas permitem dividir a Bacia do Paraná em duas grandes províncias. Na Província Sul ocorrem principalmente basaltos com baixos conteúdos de TiO_2 e de elementos incompatíveis, enquanto que na Província Norte prevalecem basaltos com teores altos de TiO_2 e de elementos incompatíveis.

O presente trabalho apresenta um estudo detalhado das características geoquímicas dos basaltos com baixo ($\leq 2\%$) e alto ($> 2\%$) TiO_2 , baseado na análise de elementos maiores, menores e traços de oitenta e uma amostras amplamente distribuídas por toda a Bacia do Paraná.

Os basaltos da porção sul da bacia com razões isotópicas iniciais de Sr (R_o) mais elevadas ($> 0,7060$) apresentam um maior enriquecimento de elementos mais incompatíveis em comparação com aqueles que possuem valores de R_o mais baixos. À medida que R_o aumenta, os padrões de distribuição de elementos incompatíveis tendem a apresentar uma maior semelhança em relação ao do embasamento cristalino.

Os basaltos com baixo TiO_2 "não contaminados" ou fracamente contaminados ($R_o \leq 0,7060$) das Províncias Norte e Sul apresentam diferenças significativas nas características geoquímicas, o mesmo ocorrendo para as rochas básicas com alto TiO_2 .

As diferenças geoquímicas e isotópicas (Sr e Nd) observadas indicam que os basaltos "não contaminados" das Províncias Norte e Sul da Bacia do Paraná são provenientes de fontes no manto composicionalmente distintas. Os dados sugerem também que a fonte que deu origem aos basaltos da Província Sul é empobrecida em elementos incompatíveis em relação à dos basaltos da Província Norte.

A existência de duas províncias similares (com alto e baixo TiO_2) no magmatismo triássico do Karoo (sul da África) e da Antártica indica que a geração dos basaltos está ligada à presença de uma heterogeneidade de grande escala no manto de tipo litosférico.

INTRODUÇÃO

A atividade magmática ocorrida na Bacia do Paraná no final do Jurássico e durante o Cretáceo (140-120 Ma; Rocha Campos *et al.*, 1988) constitui uma das maiores manifestações de vulcanismo de caráter continental conhecida em nosso planeta, abrangendo área de aproximadamente 1.200.000 km^2 e totalizando volume de cerca de 780.000 km^3 .

As rochas vulcânicas da Bacia do Paraná são caracterizadas predominantemente por basaltos toleíticos e andesi basaltos toleíticos com dois

piroxênios, constituindo aproximadamente 90% do volume total de material extrusivo, sendo acompanhados por andesitos toleíticos (cerca de 7%) e por riódacitos e riolitos (cerca de 3%).

Estudos geológicos e geoquímicos de detalhe (Bellieni *et al.*, 1983, 1984a, b, c, 1986a, b; Mantovani *et al.*, 1985a, 1988; Piccirillo *et al.*, 1987) permitem dividir a Bacia do Paraná em duas grandes províncias: 1. *Província Sul*: região situada abaixo do alinhamento do Rio Uruguai (Fig. 1), abrangendo também parte da região localizada

entre os alinhamentos do Rio Uruguai e do Rio Piquiri; 2. *Província Norte*: região situada acima do alinhamento do Rio Piquiri (Fig. 1), abrangendo também parte da região situada entre os alinhamentos do Rio Uruguai e Piquiri.

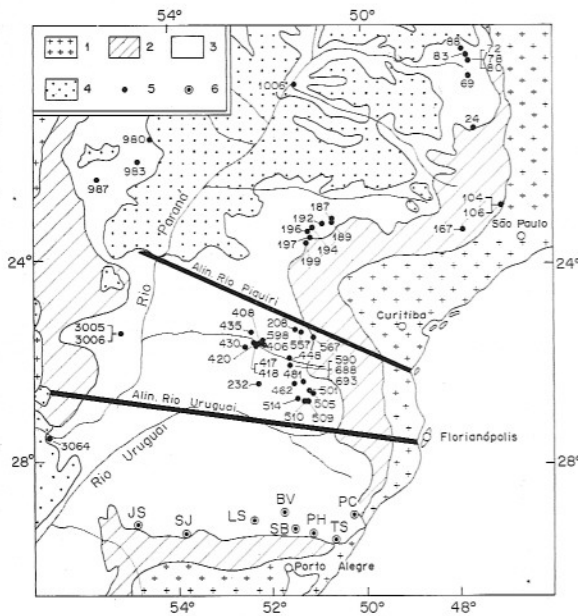


Figura 1 — Localização das amostras analisadas: 1. embasamento cristalino; 2. sedimentos pré-vulcânicos; 3. rochas vulcânicas da Bacia do Paraná; 4. sedimentos pós-vulcânicos; 5. localização de amostras isoladas; 6. localização das seqüências amostradas.

A *Província Sul* caracteriza-se por apresentar basaltos toleíticos e andesi-basaltos toleíticos (70% em volume), geralmente com conteúdos relativamente baixos de titânio ($TiO_2 \leq 2\%$) e de elementos menores e traços incompatíveis (P, Ba, Sr, Zr, Hf, Ta, Y e terras raras leves), que constituem as porções basais das seqüências de derrames. Associadas a essas rochas básicas ocorrem, nas porções superiores das seqüências, andesitos toleíticos (cerca de 17%) e de riolitos e riolitos (cerca de 13%) do tipo Palmas que apresentam, como os termos básicos associados, teores relativamente baixos de elementos incompatíveis.

A *Província Norte* é caracterizada pela presença de um grande volume (cerca de 99%) de rochas básicas, geralmente com conteúdos relativamente elevados de titânio ($TiO_2 > 2\%$) e de elementos incompatíveis. Associados a essas rochas ocorrem em áreas restritas, constituindo as porções superiores das seqüências de derrames, riolitos e riolitos (aproximadamente 1% em volume) do tipo Chapecó, apresentando como os basaltos, teores relativamente elevados de elementos traços incompatíveis. Os termos intermediários são praticamente ausentes.

É importante ressaltar que na *Província Sul* ocorrem em pequena escala basaltos e andesi-basaltos com alto conteúdo de titânio (*ATi*; $TiO_2 > 2\%$) correspondendo a 7% da atividade básica, enquanto que na *Província Norte* ocor-

rem, também em pequena proporção, basaltos com conteúdos relativamente baixos de titânio (*BTi*; $TiO_2 \leq 2\%$) constituindo cerca de 8% da atividade básica.

Do ponto de vista isotópico verifica-se, em geral (Cordani *et al.*, 1988), que os termos básicos e intermediários *BTi* e ácidos do tipo Palmas que ocorrem na *Província Sul* foram afetados por processos complexos de contaminação crustal, onde as razões isotópicas iniciais de Sr (R_o) chegam a atingir valores de até 0,728 nos termos mais diferenciados do tipo Palmas (Fodor *et al.*, 1987; Piccirillo *et al.*, 1989). Por outro vência apresentam valores de R_o entre 0,7046 e 0,7114 e de $^{143}Nd/^{144}Nd$ (tempo atual) entre 0,5123 e 0,5128 (Mantovani, 1985; Mantovani *et al.*, 1985a; Hawkesworth *et al.*, 1986; Petrini *et al.*, 1987; Piccirillo *et al.*, 1989). Por outro lado, os termos básicos *BTi* da *Província Norte* podem ser considerados como pouco ou não contaminados com valores de R_o entre 0,7055 e 0,7059 e de $^{143}Nd/^{144}Nd$ entre 0,5124 e 0,5125 (Petrini *et al.*, 1987; Piccirillo *et al.*, 1989).

Os basaltos e andesi-basaltos *ATi* das *Províncias Norte* e *Sul* apresentam razões isotópicas iniciais de Sr e de Nd mais uniformes, com valores de R_o entre 0,705 e 0,706 e de $^{143}Nd/^{144}Nd$ entre 0,5122 e 0,5124 (Mantovani *et al.*, 1985a; Hawkesworth *et al.*, 1986; Piccirillo *et al.*, 1989). As rochas ácidas do tipo Chapecó associadas a esses termos básicos possuem também baixos valores de R_o (entre 0,706 e 0,708; Sartori *et al.*, 1982; Marimon *et al.*, 1983; Mantovani *et al.*, 1985b; Piccirillo *et al.*, 1987) onde os valores mais altos correspondem aos derrames que ocorrem na região mais ao norte da bacia (acima do alinhamento do Rio Piquiri).

Os resultados que serão aqui apresentados fazem parte de um estudo mais amplo sobre a caracterização geoquímica das rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas que ocorrem na Bacia do Paraná e as implicações genéticas associadas (Marques, 1988). Neste trabalho, no entanto, serão investigadas somente as rochas básicas com conteúdos altos e baixos de TiO_2 que ocorrem tanto na *Província Sul* como na *Província Norte*, com o objetivo de efetuar uma comparação de suas características geoquímicas em função do local de ocorrência. Considerando-se que essas rochas foram originadas em processos de fusão parcial no manto, após uma avaliação da modificação de quimismo decorrente de processos de contaminação crustal, tornou-se possível obter informações a respeito do material fonte, analisando-se aspectos relativos a heterogeneidades de grande escala.

SELEÇÃO DE AMOSTRAS E METODOLOGIA ANALÍTICA

Foram analisadas 81 amostras, selecionadas de um conjunto contendo cerca de 1500, amplamente distribuídas por toda a Bacia do Paraná

(Fig. 1). Procurou-se selecionar preferencialmente amostras que exibem menores vestígios de alteração, possuindo valores de perda ao fogo da ordem ou inferiores a 2%.

Da *Província Sul* foram selecionadas principalmente amostras pertencentes a 8 seqüências situadas nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, apresentando grande número de derrames que aparecem expostos desde a base (contato com o arenito da Formação Botucatu). Da *Província Norte* foram selecionadas principalmente amostras provenientes de locais que mostram declives topográficos acentuados. Geralmente as porções basais dessas seqüências vulcânicas não se encontram expostas.

As análises de elementos maiores, menores e de alguns traços, tais como Cr, Ni, Rb, Ba, Sr, Zr e Y foram efetuadas por meio da técnica de fluorescência de raios X. O procedimento analítico adotado (Bellieni *et al.*, 1983) fornece resultados com erros percentuais, em relação aos valores citados na literatura, inferiores a 5% para os óxidos de elementos maiores e menores e entre 8 e 15% para traços.

As concentrações de terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e Lu) e dos elementos traços Ta, Th, U, Hf, Cs, Sc e Co foram determinadas empregando-se a técnica de ativação neutrônica seguida de espectrometria gama de alta resolução (Atalla *et al.*, 1985; Marques, 1988; Marques *et al.*, 1988a). A análise dos padrões geológicos BCR-1, G-2 (United States Geological Survey) e GS-N (Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques) demonstrou que, nas condições experimentais adotadas (Marques, 1988), essa técnica fornece resultados com bons níveis de precisão e exatidão, em geral da ordem ou inferiores a 15% para a maioria dos elementos analisados.

A determinação de Ce, Sm, Yb e Nd é por vezes problemática, resultando em níveis de precisão ou exatidão que chegam a atingir valores de até 25%. No caso dos três primeiros elementos, a análise pode ser prejudicada principalmente por interferências no espectro de raios gama produzidas por concentrações relativamente elevadas de Fe ($Fe/Ce \geq 400$), U ($U/Sm \geq 1$) e de Ta ($Ta/Yb \geq 1$). O elemento Nd, além de ser afetado por interferências espectrais causadas por efeito Compton (^{59}Fe e ^{46}Sc), não apresenta características nucleares favoráveis para a sua determinação em análises puramente instrumentais, quando as concentrações são da ordem ou abaixo de 30 ppm.

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Os resultados das análises efetuadas encontram-se na Tabela 1. Os desvios padrões associados às determinações efetuadas por meio do método de ativação neutrônica podem ser encontrados em Marques (1988). As razões isotópicas R_o ($t = 130$ Ma) e de $^{143}Nd/^{144}Nd$ (tempo atual)

foram extraídas de Petrini *et al.* (1987) e Piccirillo *et al.* (1989).

Rochas básicas com baixo TiO_2

Os diagramas de variação de elementos maiores e traços em função de MgO das rochas básicas *BTi* das *Províncias Norte* e *Sul* encontram-se nas Figuras 2 e 3. As rochas básicas *BTi* da *Província Sul*, exibindo valores de R_o iguais ou inferiores a 0,7060, estão destacadas das demais da mesma província por possuírem características geoquímicas distintas.

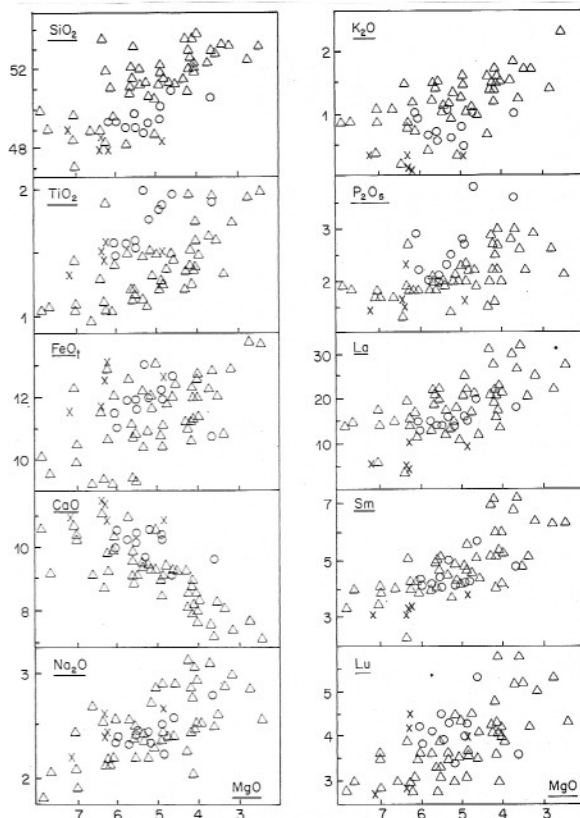


Figura 2 — Diagramas de variação de SiO_2 , TiO_2 , FeO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 (%), La, Sm e Lu (ppm) em função de MgO (%) das rochas básicas com baixo TiO_2 : basaltos da *Província Sul* com $R_o > 0,7060$ (Δ); basaltos da *Província Sul* com $R_o \leq 0,7060$ (X); basaltos da *Província Norte* (O).

As rochas básicas *BTi* da *Província Sul* são em geral, considerando-se o mesmo conteúdo de MgO , mais enriquecidas em SiO_2 , K_2O , La, Th, U, Rb e Ba e empobrecidas em TiO_2 , FeO , CaO , P_2O_5 , Lu, Ta, Sr e Sc em relação às que ocorrem na *Província Norte*. O enriquecimento nos elementos observados é positivamente correlacionado com R_o (de 0,7046 a 0,7108), sendo devido a processo de contaminação crustal, que, de acordo com Petrini *et al.* (1987) e Piccirillo *et al.* (1989), ocorreu sob condição de baixa pressão, modificando as características geoquímicas originais dos magmas que lhes deram origem. Este fato pode ser facilmente atestado quando são consideradas somente as rochas básicas *BTi* da *Província Sul* com $R_o \leq 0,7060$, que apresentam

Tabela 1 — Análises químicas de elementos maiores, menores (%) e de traços (ppm) e razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para $t = 130 \text{ Ma}$ [$R_o(\text{Sr})$] e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ para tempo atual [$R(\text{Nd})$] das rochas vulcânicas básicas da Bacia do Paraná. Amostras ordenadas por MgO decrescente: (1) análise por ativação neutrônica; (2) fluorescência de raios X.

Amostra	SB-339	SB-342	3006	3005	SB-341	LS-601	SB-340	418	448	3064	TS-298	208	417	SB-348
Tipo	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi
Província	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul
SiO ₂	49,91	49,03	49,00	48,46	49,74	47,07	48,92	48,89	48,63	47,97	53,66	48,12	48,29	51,88
TiO ₂	1,04	1,07	1,31	1,43	1,03	1,09	0,95	1,29	1,51	1,44	1,11	1,57	1,89	1,05
Al ₂ O ₃	15,11	15,18	14,51	14,41	15,36	16,20	15,59	15,31	15,05	14,79	14,53	14,59	14,03	14,12
Fe ₂ O ₃	4,43	3,73	6,25	5,10	3,82	4,93	3,92	4,51	4,14	4,90	4,01	5,09	4,84	4,48
FeO	6,09	6,19	5,88	7,69	6,48	6,02	5,66	7,46	7,96	8,13	5,76	8,41	8,61	6,61
MnO	0,16	0,16	0,16	0,25	0,16	0,19	0,14	0,19	0,20	0,24	0,14	0,22	0,19	0,17
MgO	7,84	7,63	7,12	7,01	6,99	6,97	6,59	6,34	6,33	6,30	6,28	6,24	6,22	6,20
CaO	10,56	9,17	10,92	10,65	10,25	10,38	9,10	11,10	11,41	11,36	8,68	10,88	9,83	9,22
Na ₂ O	1,81	2,05	2,19	2,41	2,08	1,91	2,67	2,53	2,60	2,42	2,12	2,44	2,13	2,19
K ₂ O	0,87	0,88	0,33	0,37	1,07	0,87	1,06	0,20	0,17	0,15	1,46	0,33	0,81	0,85
P ₂ O ₅	0,19	0,18	0,14	0,17	0,18	0,17	0,17	0,13	0,16	0,15	0,19	0,23	0,27	0,18
P.F.	1,31	4,04	1,53	1,19	2,11	3,53	4,60	1,23	0,97	1,26	1,39	0,95	1,93	2,33
Soma	99,32	99,32	99,34	99,14	99,27	99,33	99,37	99,18	99,13	99,11	99,33	99,07	99,04	99,28
La ⁽¹⁾	14	14,8	5,5	6,0	17,4	14,2	15	4,4	4,6	4,4	19,66	10,1	14	15,7
Ce ⁽¹⁾	29	31,3	15	15	36,3	32,2	29,4	12,4	13,0	15	39,7	24,4	33	31,9
Nd ⁽¹⁾	14	19		10,1	21					10	25		18	19
Sm ⁽¹⁾	3,3	4,0	3,1	3,5	4,1	3,9	4,0	2,3	3,1	3,4	5,1	3,4	4,0	4,3
Eu ⁽¹⁾	1,0	1,0	1,05	1,16	1,1	1,1	1,0	1,12	1,00	1,22	1,0	1,37	1,35	1,1
Tb ⁽¹⁾	0,55	0,62	0,66	0,77	0,66	0,64	0,56	0,58	0,76	0,73	0,75	0,71	0,69	0,73
Yb ⁽¹⁾	2,0	2,07	2,1	2,9	2,23	2,25	1,9	2,0	2,3	2,2	2,25	2,9	1,85	2,7
Lu ⁽¹⁾	0,28	0,30	0,27	0,35	0,36	0,28	0,30	0,39	0,29	0,42	0,30	0,45	0,28	0,31
Ba ⁽²⁾	277	309	160	169	325	268	299	106	148	162	367	187	307	296
Rb ⁽²⁾	27	24	14	16	25	26	31	10	9	9	51	11	19	39
Sr ⁽²⁾	225	157	163	164	236	221	210	152	154	160	214	194	307	266
Zr ⁽²⁾	112	130	73	83	120	102	105	62	78	76	143	109	141	106
Y ⁽²⁾	21	22	27	27	23	22	20	21	28	28	24	35	25	28
Ta ⁽¹⁾	0,47	0,49	0,25	0,31	0,46	0,50	0,39	0,19	0,22	0,25	0,58	0,39	0,67	0,46
Th ⁽¹⁾	2,9	2,8	1,00	1,20	3,3	2,9	2,9	0,85	0,74	0,99	4,5	1,90	1,6	3,2
U ⁽¹⁾	0,62	0,59	0,20	0,27	0,58	0,74	0,48	0,27	0,21	0,19	1,00	0,38	0,32	0,70
Hf ⁽¹⁾	2,5	2,9	1,82	2,24	2,9	2,6	2,5	1,6	2,0	2,06	3,6	2,5	2,8	2,7
Cs ⁽¹⁾	0,75	0,26	0,31	0,27	0,23	0,47	0,50	0,07	≤0,2	0,05	1,2	0,15	0,34	1,08
Sc ⁽¹⁾	33	34	38	32	34	31	35	42,88	37	34	29	45,10	30	33
Co ⁽¹⁾	48	44	46	45	45	51	44	44	46	45	39,5	49	51	46
Cr ⁽²⁾	433	373	349	329	269	215	265	277	267	303	240	64	110	34
Ni ⁽²⁾	174	130	114	114	108	163	102	97	94	96	146	56	116	35
R _o (Sr)	0,70954		0,70516						0,70461	0,70492		0,70578		
R (Nd)	0,51241								0,51274	0,51278		0,51264		
Cota	65 m	155 m	250 m	250 m	135 m	75 m	95 m	585 m	1150 m	15 m	375 m	1070 m	585 m	430 m
Latitude	29,472	29,356	25,430	25,430	29,371	29,315	29,450	25,733	25,963	27,444	29,542	25,345	25,733	29,322
Longitude	51,353	51,389	55,117	55,117	51,378	52,103	51,353	52,249	51,604	56,732	50,717	51,369	52,249	51,428

Tabela 1 (cont.)

Amostra	LS-602	501	197	196	983	505	PH-328	BV-358	LS-603	PC-37	BV-356	987	980	510
Tipo	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi
Província	Sul	Sul	Norte	Norte	Norte	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Norte	Norte	Sul
SiO ₂	51,09	49,54	49,39	49,38	49,10	48,28	50,89	51,18	52,08	51,58	53,26	49,78	49,12	51,30
TiO ₂	1,04	1,40	1,58	1,47	1,57	1,49	1,21	1,13	1,13	1,22	1,17	1,59	1,54	1,47
Al ₂ O ₃	15,94	14,47	14,77	15,05	15,06	14,92	15,12	15,01	15,35	14,88	14,78	14,65	15,22	14,08
Fe ₂ O ₃	3,88	5,56	4,09	4,86	3,99	4,66	3,78	4,88	4,41	4,89	4,30	4,65	3,25	4,51
FeO	5,68	7,04	7,78	6,64	8,29	8,41	7,73	6,39	5,44	6,45	5,46	7,76	8,69	8,12
MnO	0,16	0,20	0,18	0,17	0,21	0,22	0,17	0,16	0,18	0,19	0,14	0,19	0,19	0,20
MgO	6,07	6,03	6,03	5,99	5,72	5,70	5,61	5,59	5,57	5,54	5,53	5,52	5,49	5,34
CaO	9,90	10,34	9,94	10,52	10,22	10,93	9,54	9,86	9,10	8,89	9,11	10,12	14,42	9,49
Na ₂ O	2,20	2,55	2,34	2,39	2,32	2,55	2,38	2,37	2,49	2,50	2,19	2,42	2,45	2,36
K ₂ O	1,16	0,72	1,02	0,93	0,66	0,42	1,21	1,19	1,51	1,42	1,53	0,73	0,57	1,07
P ₂ O ₅	0,18	0,18	0,29	0,22	0,20	0,18	0,21	0,20	0,20	0,18	0,20	0,21	0,20	0,19
P.F.	2,07	1,19	1,71	1,65	1,74	1,31	1,30	1,33	1,93	1,54	1,73	1,52	1,91	0,98
Soma	99,37	99,22	99,12	99,27	99,08	99,07	99,15	99,29	99,39	99,28	99,40	99,14	99,05	99,11
La ⁽¹⁾	17	12	15	13	15	13	22	18,8	21,2	22,3	20	14	14	12
Ce ⁽¹⁾	38,6	30	33,4	32,4	30,4	29	45	39	47,6	40,2	43,4	33,4	30,8	33
Nd ⁽¹⁾	21		16		17		23	21			21	19	19,3	
Sm ⁽¹⁾	4,3	3,9	4,3	4,2	4,2	4,0	5,0	4,1	5,1	5,14	4,7	4,4	4,1	4,5
Eu ⁽¹⁾	1,13	1,14	1,49	1,37	1,44	1,20	1,2	1,0	1,3	1,42	1,1	1,4	1,48	1,19
Tb ⁽¹⁾	0,68	0,82	0,75	0,65	0,74	0,77	0,78	0,71	0,72	0,81	0,73	0,74	0,69	0,87
Yb ⁽¹⁾	2,6	2,9	3,1	1,7	2,3	2,8	2,5	2,22	2,37	2,60	2,9	2,3	2,2	2,8
Lu ⁽¹⁾	0,35	0,36	0,42	0,38	0,41	0,36	0,33	0,28	0,33	0,39	0,31	0,39	0,45	0,36
Ba ⁽²⁾	399	232	491	314	260	230	401	360	455	416	374	385	272	277
Rb ⁽²⁾	35	28	18	19	9	9	29	37	50	43	49	15	8	36
Sr ⁽²⁾	232	180	291	284	270	197	242	240	260	223	209	273	273	187
Zr ⁽²⁾	135	112	133	111	112	114	157	146	147	156	154	125	110	129
Y ⁽²⁾	21	31	28	56	27	27	30	27	26	25	26	32	25	29
Ta ⁽¹⁾	0,54	0,43	0,70	0,64	0,65	0,46	0,54	0,49	0,64	0,55	0,58	0,69	0,61	0,52
Th ⁽¹⁾	3,5	2,0	2,03	1,79	1,88	2,49	4,3	3,6	3,8	4,5	4,5	1,99	1,74	3,2
U ⁽¹⁾	0,72	0,43	0,32	0,27	0,29	0,47	0,73	0,58	1,0	0,77	0,9	0,30	0,24	0,76
Hf ⁽¹⁾	3,2	2,7	3,2	3,1	2,9	2,9	3,6	3,1	3,7	3,7	3,5	3,0	2,9	3,3
Cs ⁽¹⁾	0,79	0,17	0,14	0,09	0,20	0,12	0,45	0,41	1,3	0,37	1,07	0,13	0,15	0,66
Sc ⁽¹⁾	32	38	40,8	37	42,9	39	32	31	33	35	30	43,0	44,3	36
Co ⁽¹⁾	41,1	47	44	44	49	47	48	43	40	44,1	37	47	46	43
Cr ⁽²⁾	75	44	150	176	118	145	62	110	97	47	247	89	114	70
Ni ⁽²⁾	128	82	73	76	104	82	65	76	106	62	101	83	93	58
R _o (Sr)			0,70588	0,70580	0,70585	0,70661	0,71047		0,70903			0,70594	0,70585	
R (Nd)							0,51221						0,51242	
Cota	100 m	1185 m	650 m	525 m	335 m	1060 m	380 m	265 m	125 m	430 m	195 m	610 m	300 m	1090 m
Latitude	29,261	26,586	23,491	23,355	22,038	26,669	29,417	29,053	29,108	29,130	29,053	22,402	21,593	26,760
Longitude	52,186	51,081	51,128	51,157	54,714	50,997	51,138	51,561	52,299	50,080	51,565	55,632	54,421	51,161

Tabela 1 (cont.)

Amostra	TS-302	1006	JS-702	189	567	514	693	557	167	88	BV-359	69	192	435
Tipo	BTi	BTi	BTi	BTi	ATi	BTi	BTi	BTi	ATi	ATi	BTi	ATi	BTi	ATi
Provincia	Sul	Norte	Sul	Norte	Norte	Sul	Sul	Sul	Norte	Norte	Sul	Norte	Norte	Norte
SiO ₂	51,97	48,87	51,33	49,31	49,76	50,71	50,62	48,80	49,19	48,74	51,24	47,97	49,53	49,52
TiO ₂	1,13	2,00	1,07	1,76	2,06	1,51	1,32	1,49	2,18	3,38	1,22	3,56	1,86	2,06
Al ₂ O ₃	15,50	14,04	14,96	15,36	13,99	14,61	14,91	14,94	14,76	13,65	15,84	13,19	15,03	14,14
Fe ₂ O ₃	3,21	6,09	3,63	4,87	4,11	4,61	4,60	5,32	2,36	4,09	4,01	7,89	4,40	5,30
FeO	7,51	7,58	7,65	7,62	9,52	7,93	7,49	8,37	10,34	9,32	7,18	6,71	8,27	8,27
MnO	0,16	0,19	0,20	0,18	0,21	0,23	0,21	0,24	0,17	0,18	0,17	0,20	0,19	0,19
MgO	5,34	5,29	5,21	5,16	5,14	5,13	5,08	5,01	4,99	4,97	4,89	4,88	4,88	4,87
CaO	9,36	9,67	9,48	10,54	9,35	9,30	9,28	10,55	9,71	9,08	8,98	9,10	10,39	9,45
Na ₂ O	2,43	2,43	2,20	2,33	2,38	2,72	2,29	2,86	2,55	2,69	2,36	2,36	2,51	2,60
K ₂ O	1,13	1,08	1,18	0,62	0,98	0,92	1,33	0,35	1,05	0,74	1,27	1,41	0,81	1,05
P ₂ O ₅	0,20	0,23	0,14	0,25	0,29	0,20	0,21	0,20	0,39	0,39	0,23	0,47	0,28	0,36
P.F.	1,22	1,68	2,10	1,14	1,16	1,25	1,83	0,94	1,16	1,74	1,82	1,51	0,92	1,28
Soma	99,16	99,15	99,15	99,14	98,95	99,12	99,17	99,07	98,85	98,97	99,21	99,25	99,07	99,09
La ⁽¹⁾	17,46	16	13,6	14	20,3	15	18	11	20,7	29,7	21,0	33,5	16	26
Ce ⁽¹⁾	40,4	35,0	29,4	30,1	39	35	39	25	42	63	45	65	34,2	51
Nd ⁽¹⁾		17									26	40		
Sm ⁽¹⁾	4,5	5,0	3,7	4,1	5,3	4,9	4,3	4,2	5,1	7,8	4,8	8,1	4,3	5,2
Eu ⁽¹⁾	1,2	1,6	1,0	1,57	1,8	1,29	1,31	1,28	1,92	2,67	1,1	2,8	1,53	1,9
Tb ⁽¹⁾	0,78	0,79	0,66	0,64	0,87	0,96	0,73	0,90	0,90	1,16	0,80	1,16	0,73	0,83
Yb ⁽¹⁾	2,6	2,8	1,93	1,7	3,0	3,6	2,50	3,4	2,75	2,83	2,78	3,3	2,7	2,9
Lu ⁽¹⁾	0,35	0,43	0,30	0,34	0,43	0,45	0,35	0,44	0,43	0,42	0,31	0,45	0,43	0,47
Ba ⁽²⁾	377	310	268	323	473	332	361	217	458	569	464	702	333	425
Rb ⁽²⁾	30	25	46	12	29	21	46	9	24	19	34	33	15	25
Sr ⁽²⁾	238	282	187	323	336	196	219	182	361	503	235	452	312	322
Zr ⁽²⁾	130	141	104	126	157	142	129	108	160	233	161	240	135	165
Y ⁽²⁾	26	31	27	20	27	31	28	37	25	29	31	32	23	33
Ta ⁽¹⁾	0,53	0,79	0,47	0,58	0,90	0,55	0,63	0,52	0,94	1,44	0,58	1,44	0,70	0,86
Th ⁽¹⁾	3,9	2,23	3,2	1,76	2,57	3,3	4,09	2,35	2,49	3,06	4,6	3,06	1,98	2,51
U ⁽¹⁾	0,56	0,42	0,81	0,30	0,55	0,75	0,89	0,41	0,55	0,58	0,75	0,73	0,32	0,62
Hf ⁽¹⁾	3,3	3,5	2,5	2,7	3,8	3,4	3,3	2,9	4,0	5,8	3,7	5,9	3,0	4,1
Cs ⁽¹⁾	0,45	0,11	1,10	≤0,2	0,19	0,36	2,33	0,61	0,61	0,28	0,84	1,28	≤0,02	0,30
Sc ⁽¹⁾	35	41	36	40,0	40	37	34	40	39,2	33,0	31	33,0	41,4	38
Co ⁽¹⁾	44	45	46	44	44,6	52	43	49	48,1	41,1	44	42,6	42,4	51,9
Cr ⁽²⁾	74	103	46	177	83	84	52	43	140	69	58	67	156	118
Ni ⁽²⁾	53	79	70	93	65	55	57	56	75	62	54	62	80	65
R _o (Sr)	0,71050			0,70579	0,70584	0,70798		0,70618	0,70620	0,70580	0,71082	0,70569	0,70584	0,70580
R (Nd)					0,51240				0,51242	0,51246		0,51238	0,51248	0,51243
Cota	452 m	320 m	200 m	630 m	1210 m	1130 m	726 m	1165 m	600 m	630 m	290 m	590 m	580 m	790 m
Latitude	29,480	20,436	29,484	23,186	25,563	26,711	26,000	25,411	23,273	19,709	29,051	20,313	23,227	25,399
Longitude	50,701	51,496	54,614	50,662	51,009	51,299	51,619	51,285	47,936	47,961	51,558	47,802	50,863	52,438

Tabela 1 (cont.)

Amostra	187	PH-326	SB-346	509	688	232	420	106	590	194	406	462	104
Tipo	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	ATi	ATi	ATi	BTi	BTi	ATi	BTi	ATi
Província	Norte	Sul	Sul	Sul	Sul	Norte	Norte	Norte	Sul	Norte	Norte	Sul	Norte
SiO ₂	50,13	51,88	52,27	48,37	51,54	48,97	49,02	49,81	51,42	50,99	48,91	51,35	49,31
TiO ₂	1,88	1,24	1,27	1,50	1,37	2,23	2,91	2,40	1,48	1,97	2,94	1,45	2,35
Al ₂ O ₃	14,80	15,31	15,45	15,75	14,84	14,71	13,99	14,26	14,27	14,21	13,77	14,36	14,65
Fe ₂ O ₃	4,92	4,57	4,38	5,74	3,61	4,09	5,22	2,18	6,72	2,84	5,80	4,36	1,91
FeO	7,52	6,98	6,48	7,44	8,55	9,22	8,16	10,75	5,97	10,13	7,81	8,48	11,03
MnO	0,18	0,16	0,16	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,21	0,18
MgO	4,84	4,84	4,84	4,82	4,74	4,71	4,66	4,65	4,60	4,59	4,56	4,55	4,50
CaO	10,22	8,43	9,07	10,82	9,38	9,78	9,24	9,16	9,19	9,16	9,46	9,26	9,43
Na ₂ O	2,22	2,90	2,44	2,65	2,40	2,45	2,56	2,53	2,39	2,57	2,63	2,89	2,64
K ₂ O	0,49	1,59	1,45	0,35	1,05	0,87	0,91	1,22	1,10	1,01	1,11	1,00	1,16
P ₂ O ₅	0,27	0,20	0,23	0,16	0,22	0,37	0,43	0,48	0,22	0,38	0,45	0,19	0,50
P.F.	1,68	1,12	1,24	1,37	1,18	1,39	1,80	1,18	1,79	1,03	1,51	0,96	1,10
Soma	99,15	99,22	99,28	99,18	99,08	98,98	99,09	98,81	99,35	99,07	99,14	99,06	98,76
La ⁽¹⁾	15	25	22	9	17	19,4	25,7	25,3	21	20	24,8	12	24,3
Ce ⁽¹⁾	33,7	51	45	24	35,4	44,5	49	46	42,0	44,7	56	30	51,57
Nd ⁽¹⁾			24					33					
Sm ⁽¹⁾	4,3	5,6	4,7	3,8	4,6	5,0	6,8	6,1	5,1	5,7	6,4	4,4	5,9
Eu ⁽¹⁾	1,50	1,3	1,2	1,27	1,47	1,86	2,4	2,1	1,5	2,01	2,45	1,32	2,15
Tb ⁽¹⁾	0,60	0,85	0,80	0,72	0,80	0,90	1,04	1,00	0,87	1,07	1,02	0,94	0,97
Yb ⁽¹⁾	2,1	2,3	2,87	3,0	2,6	2,85	2,8	3,3	2,9	3,7	2,74	3,3	3,00
Lu ⁽¹⁾	0,40	0,37	0,36	0,40	0,45	0,45	0,39	0,48	0,35	0,53	0,41	0,41	0,46
Ba ⁽²⁾	336	439	411	207	308	390	455	511	366	412	466	289	497
Rb ⁽²⁾	11	45	48	12	24	15	16	26	62	22	20	34	23
Sr ⁽²⁾	330	226	239	197	222	345	452	339	326	248	477	184	357
Zr ⁽²⁾	137	169	169	104	125	161	282	173	152	157	221	124	160
Y ⁽²⁾	26	35	29	26	28	33	30	33	32	34	29	35	31
Ta ⁽¹⁾	0,66	0,59	0,58	0,37	0,63	0,86	1,15	1,12	0,77	0,92	1,17	0,47	1,10
Th ⁽¹⁾	1,90	4,9	4,4	1,82	4,2	2,54	2,3	2,8	4,93	2,67	2,4	2,7	2,95
U ⁽¹⁾	0,29	0,77	0,75	0,28	1,00	0,50	0,59	0,73	0,9	0,37	0,47	0,71	0,60
Hf ⁽¹⁾	3,3	3,9	3,6	2,4	3,1	3,7	5,0	4,2	3,5	4,5	5,1	3,1	4,5
Cs ⁽¹⁾	0,16	0,46	0,53	1,19	0,58	0,36	0,24	0,66	1,09	0,26	0,18	0,61	0,43
Sc ⁽¹⁾	40,7	33	32	37	37,4	39,9	33,5	38,1	34	41,4	33,9	36	38,4
Co ⁽¹⁾	43	44	43	48	42,5	44,0	40,6	42	43	42,9	41	46	43,1
Cr ⁽²⁾	147	45	54	52	51	122	95	100	41	92	101	91	100
Ni ⁽²⁾	79	47	56	54	53	67	64	55	49	45	58	48	54
R ₀ (Sr)	0,70590		0,71064	0,70550		0,70576	0,70560	0,70593		0,70547	0,70561		0,70604
R (Nd)			0,51227	0,51261				0,51235					0,51244
Cota	650 m	445 m	315 m	1065 m	707 m	1040 m	675 m	735 m	594 m	545 m	690 m	1200 m	735 m
Latitude	23,177	29,408	29,335	26,767	26,000	26,441	25,695	22,891	26,000	23,291	25,666	26,419	22,891
Longitude	50,622	51,137	51,416	51,121	51,619	52,270	52,267	47,078	51,619	51,088	52,141	51,408	47,078

Tabela 1 (cont.)

Amostra	430	24	78	LS-605	80	481	TS-311	TS-310	SJ-724	408	72	JS-703	83
Tipo	ATi	ATi	ATi	BTi	ATi	ATi	BTi	BTi	BTi	ATi	ATi	BTi	ATi
Província	Norte	Norte	Norte	Sul	Norte	Norte	Sul	Sul	Sul	Norte	Norte	Sul	Norte
SiO ₂	49,06	49,28	49,77	51,56	49,81	50,99	53,62	52,96	52,03	49,31	50,69	52,67	49,74
TiO ₂	3,02	2,88	3,42	1,21	3,54	3,66	1,35	1,40	1,52	3,25	2,85	1,25	3,20
Al ₂ O ₃	13,74	13,85	13,24	15,31	12,52	13,40	14,25	14,59	14,26	13,11	14,09	14,21	14,03
Fe ₂ O ₃	4,70	3,71	5,61	5,31	6,34	4,28	4,50	4,85	4,44	7,70	3,79	4,12	3,40
FeO	8,91	10,26	8,05	6,47	8,30	7,98	6,98	6,87	8,34	6,89	8,43	8,26	9,48
MnO	0,19	0,18	0,19	0,22	0,20	0,16	0,17	0,17	0,24	0,19	0,17	0,20	0,18
MgO	4,41	4,38	4,28	4,26	4,25	4,25	4,23	4,13	4,12	4,10	4,10	4,10	4,09
CaO	9,22	8,98	8,81	9,22	8,36	7,44	8,10	8,77	7,87	8,31	9,21	8,97	8,83
Na ₂ O	2,83	2,71	2,72	2,25	2,38	2,98	3,13	2,44	2,77	2,64	2,87	2,06	2,87
K ₂ O	0,88	0,86	1,34	0,68	1,51	2,05	1,61	1,38	1,48	1,56	0,97	1,51	1,00
P ₂ O ₅	0,44	0,30	0,44	0,15	0,43	0,61	0,20	0,22	0,27	0,48	0,46	0,16	0,53
P.F.	1,63	1,47	1,24	2,65	1,46	1,33	1,08	1,45	1,73	1,71	1,44	1,57	1,60
Soma	99,03	98,86	99,11	99,29	99,10	99,13	99,22	99,23	99,07	99,25	99,07	99,08	98,95
La ⁽¹⁾	29,3	23,6	31,0	31	35,5	60	21,0	19,61	22	30,3	26,5	16	26,2
Ce ⁽¹⁾	59	53	60	40,3	79	116	46,3	40,3	44,8	59	51	34	49
Nd ⁽¹⁾		33		31	47	57		22			34		31
Sm ⁽¹⁾	7,1	6,4	7,7	7,0	9,4	11,4	5,2	5,2	6,0	8,0	6,9	4,1	6,9
Eu ⁽¹⁾	2,5	2,31	2,6	1,8	3,22	3,8	1,3	1,3	1,5	3,0	2,4	1,0	2,4
Tb ⁽¹⁾	1,04	1,08	1,11	1,16	1,48	1,45	0,93	0,91	0,99	1,12	1,03	0,70	0,97
Yb ⁽¹⁾	2,7	3,24	2,9	3,0	3,56	3,0	2,82	2,4	2,9	2,5	2,5	2,43	2,5
Lu ⁽¹⁾	0,39	0,49	0,42	0,43	0,49	0,40	0,41	0,36	0,43	0,40	0,40	0,30	0,39
Ba ⁽²⁾	488	504	608	415	632	815	356	327	358	530	684	289	623
Rb ⁽²⁾	17	26	27	50	27	37	61	55	55	32	25	74	22
Sr ⁽²⁾	469	377	441	243	472	744	194	236	205	471	470	193	497
Zr ⁽²⁾	208	283	223	124	275	343	168	146	155	271	208	111	233
Y ⁽²⁾	31	27	27	36	31	33	33	32	33	36	27	23	26
Ta ⁽¹⁾	1,23	1,08	1,42	0,53	1,65	2,1	0,76	0,67	0,80	1,43	1,26	0,57	1,28
Th ⁽¹⁾	2,4	2,6	2,91	3,9	3,5	4,6	5,3	4,5	4,7	2,7	2,6	4,3	2,56
U ⁽¹⁾	0,56	0,63	0,72	0,83	0,79	1,10	1,34	1,05	1,27	0,64	0,60	1,1	0,63
Hf ⁽¹⁾	5,6	4,8	5,6	3,0	6,9	9,2	3,8	3,5	3,9	6,0	5,2	3,1	4,8
Cs ⁽¹⁾	≤0,2	0,31	0,33	2,2	0,14	0,74	1,57	1,5	1,68	0,35	0,35	1,6	0,25
Sc ⁽¹⁾	33,1	36,0	32,5	35	29,3	23,2	33	32	32	29,5	32,8	35	33
Co ⁽¹⁾	42,9	43	40,4	43,4	39	41	41	40,2	42,8	38	40	46	41,9
Cr ⁽²⁾	92	84	72	27	28	50	37	52	22	50	89	39	74
Ni ⁽²⁾	62	55	55	69	28	54	37	43	35	44	74	61	56
R _o (Sr)		0,70552	0,70574		0,70589	0,70507				0,70570	0,70574		0,70578
R (Nd)		0,51243	0,51243		0,51244	0,51237				0,51240	0,51244		0,51242
Cota	575 m	810 m	605 m	195 m	620 m	910 m	758 m	725 m	340 m	655 m	605 m	200 m	750 m
Latitude	25,657	21,336	20,000	29,091	20,000	26,382	29,463	29,467	29,601	25,683	20,000	29,457	19,818
Longitude	52,483	47,686	47,784	52,309	47,784	51,282	50,635	50,637	53,768	52,150	47,784	54,726	47,882

Tabela 1 (cont.)

Amostra	598	JS-707	SJ-726	PC-102	JS-706	PC-52	199	SJ-729	BV-365	PC-66	SJ-722	LS-613	PH-329
Tipo	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi	BTi
Provincia	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Norte	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul	Sul
SiO ₂	51,96	53,70	52,35	52,10	53,88	52,30	50,61	52,97	52,87	53,37	53,29	52,47	53,24
TiO ₂	1,39	1,38	1,59	1,74	1,47	1,63	1,92	1,94	1,59	1,34	1,74	1,94	1,98
Al ₂ O ₃	14,50	13,97	13,33	14,29	13,94	14,51	16,75	12,59	13,96	15,30	13,30	13,21	13,15
Fe ₂ O ₃	3,82	3,37	6,46	5,95	6,97	6,31	3,32	5,98	6,16	3,53	5,49	7,42	7,85
FeO	8,61	8,30	6,96	7,35	5,11	6,57	7,74	7,45	6,51	7,67	7,97	7,20	6,66
MnO	0,22	0,22	0,21	0,23	0,24	0,18	0,15	0,27	0,17	0,18	0,21	0,23	0,18
MgO	4,07	4,07	4,01	4,00	3,95	3,68	3,61	3,60	3,49	3,33	3,13	2,69	2,39
CaO	8,55	8,16	7,54	7,92	8,29	7,52	9,62	7,15	8,23	8,02	7,31	7,63	7,06
Na ₂ O	3,06	2,46	2,52	2,95	2,52	3,10	2,78	2,48	2,61	2,89	2,99	2,86	2,57
K ₂ O	1,19	1,71	1,59	1,57	1,52	1,54	1,01	1,82	1,24	1,71	1,72	1,41	2,30
P ₂ O ₅	0,25	0,22	0,27	0,30	0,20	0,28	0,36	0,30	0,26	0,22	0,29	0,26	0,21
P.F.	1,43	1,53	1,41	1,08	1,35	1,64	1,28	2,61	2,19	1,59	1,69	1,89	1,67
Soma	99,05	99,09	98,24	99,48	99,44	99,26	99,15	99,16	99,28	99,15	99,13	99,21	99,26
La ⁽¹⁾	17	20,7	23	13,6	21,7	30	18	26,5	32	21,1	25,1	22	28
Ce ⁽¹⁾	38,8	44	48,6	29	48	63	37,0	57	56,2	47,2	55	45,7	59
Nd ⁽¹⁾			17	23	25	25	35	35	32	29	27		
Sm ⁽¹⁾	5,4	5,3	6,0	4,2	5,3	6,80	4,8	7,2	4,8	5,15	6,4	6,3	6,3
Eu ⁽¹⁾	1,73	1,28	1,5	1,12	1,4	1,93	1,64	2,0	1,8	1,39	1,7	1,5	1,5
Tb ⁽¹⁾	1,08	0,84	1,03	0,76	0,88	1,08	0,73	1,18	1,26	0,81	1,15	1,12	0,98
Yb ⁽¹⁾	3,1	2,70	3,4	2,52	2,97	3,26	2,3	3,7	4,8	2,81	3,62	4,2	2,9
Lu ⁽¹⁾	0,58	0,41	0,42	0,40	0,39	0,52	0,36	0,58	0,52	0,42	0,50	0,53	0,43
Ba ⁽²⁾	353	364	398	202	386	540	469	442	529	376	442	479	485
Rb ⁽²⁾	45	78	54	44	68	38	19	82	84	53	63	94	93
Sr ⁽²⁾	178	211	197	199	216	250	369	206	256	186	199	174	204
Zr ⁽²⁾	142	140	164	134	147	196	153	188	201	146	196	174	209
Y ⁽²⁾	36	29	32	53	31	39	22	37	40	31	38	41	37
Ta ⁽¹⁾	0,57	0,80	0,88	0,43	0,81	1,29	0,79	1,07	0,97	0,78	1,00	0,84	0,89
Th ⁽¹⁾	4,4	5,0	5,1	3,0	5,20	5,2	2,25	6,8	5,5	5,2	6,1	5,6	7,2
U ⁽¹⁾	0,93	1,57	1,7	0,75	1,47	1,23	0,37	1,97	1,2	1,3	1,30	1,63	1,6
Hf ⁽¹⁾	3,8	3,7	4,3	3,0	3,8	4,8	3,3	5,0	4,4	3,7	4,7	4,4	4,7
Cs ⁽¹⁾	0,71	2,1	1,92	1,02	1,8	0,65	0,21	2,8	2,3	1,8	2,3	3,3	2,3
Sc ⁽¹⁾	39,1	35,2	33	35	29	33	31,8	35,2	30	29	30	35	34
Co ⁽¹⁾	41,9	38	41,2	46	38	44,1	38,8	42	40	41,0	40	40,5	44
Cr ⁽²⁾	42	23	27	23	21	29	71	22	39	39	30	27	36
Ni ⁽²⁾	40	41	32	42	44	37	54	28	34	43	31	30	19
R _o (Sr)							0,70579						
R (Nd)													
Cota	570 m	270 m	400 m	620 m	250 m	550 m	700 m	435 m	400 m	700 m	340 m	595 m	330 m
Latitude	25,718	29,431	29,596	29,130	29,435	29,130	23,664	29,574	29,019	29,130	29,601	28,963	29,421
Longitude	52,136	54,747	53,764	50,080	54,742	50,080	51,157	53,758	51,558	50,080	53,768	52,372	51,139

empobrecimento em SiO_2 , K_2O , La, Sm, Th, U, Ta, Zr, Hf, Ba e Sr e enriquecimento em TiO_2 , FeO , CaO e P_2O_5 em relação aos demais termos básicos *BTi* desta mesma província.

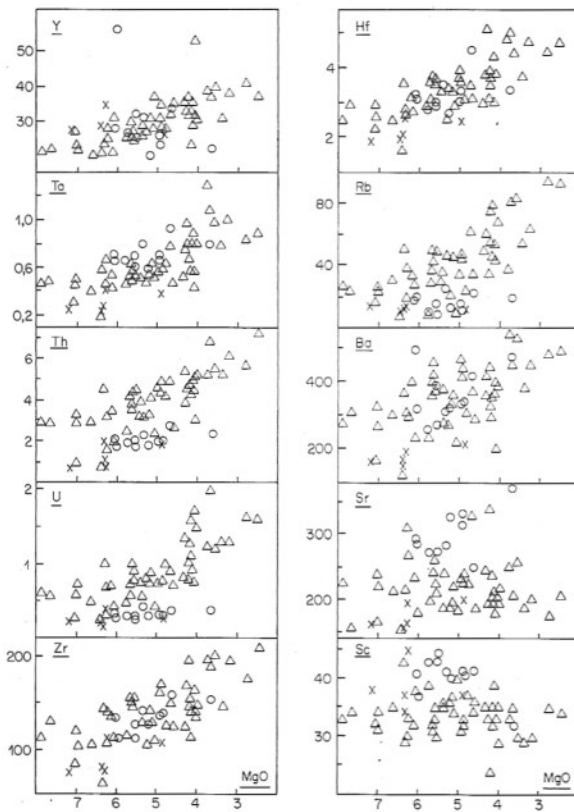


Figura 3 — Diagramas de variação de Y, Ta, Th, U, Zr, Hf, Rb, Ba, Sr e Sc (ppm) em função de MgO (%) das rochas básicas com baixo TiO_2 . Os símbolos são os mesmos da Fig. 2.

É interessante notar que as rochas básicas *BTi* com $R_o \leq 0,7060$ da *Província Sul* distinguem-se daquelas da *Província Norte* (R_o entre 0,7055 e 0,7059) por possuírem menores conteúdos de SiO_2 , TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , Sr, Sc e elementos traços fortemente incompatíveis, incluindo Ta, Th, Zr, Hf, U, Rb, Ba e terras raras leves, e maiores conteúdos de FeO , CaO e Na_2O .

Os padrões de abundância de elementos terras raras (ETR), normalizados em relação aos condritos (concentrações extraídas de Boynton, 1984), dos basaltos *BTi* das *Províncias Norte e Sul* mostram também diferenças bastante significativas (Fig. 4). Os da *Província Norte* são caracterizados por apresentarem padrões mais fracionados (Figs. 4a, d) com razões La/Lu_n entre 3,2 e 5,2 (valor médio de $3,9 \pm 0,5$) e La/Sm_n entre 1,9 e 2,4 (média de $2,2 \pm 0,1$) e por possuírem na maioria dos casos leves anomalias positivas de Eu ($0,94 \leq \text{Eu}/\text{Eu}^* \leq 1,15$; média de $1,03 \pm 0,06$). Por outro lado, os da *Província Sul*, com $R_o \leq 0,7060$, possuem padrões pouco fracionados ou até mesmo subhorizontais (Figs. 4c, d) com razões La/Lu_n situando-se entre 1,1 e 2,3 (média de $1,9 \pm 0,5$) e apresentando leves

anomalias de Eu, tanto positivas como negativas ($0,85 \leq \text{Eu}/\text{Eu}^* \leq 1,12$; média de $1,0 \pm 0,1$).

Os padrões de ETR dos basaltos *BTi* da *Província Sul*, com $R_o > 0,7060$, mostram diferenças bastante significativas em relação aos daqueles que podem ser considerados como pouco ou não contaminados ($R_o \leq 0,7060$), apresentando maior enriquecimento de terras raras leves com razões La/Lu_n variando de 2,6 a 7,0 (média de 5 ± 2) e La/Sm_n entre 1,6 e 2,9 (média de $2,4 \pm 0,5$). Além disso, esses basaltos, com $R_o > 0,7060$, são caracterizados por possuírem sistematicamente anomalias negativas de Eu ($0,68 \leq \text{Eu}/\text{Eu}^* \leq 0,90$; valor médio de $0,79 \pm 0,07$).

É importante ressaltar que, embora apresentando padrões de ETR subhorizontais com razões La/Ce_n inferiores a 1 e similares aos dos basaltos N-MORB mais enriquecidos em ETR, os basaltos *BTi* da *Província Sul*, com $R_o \leq 0,7060$, diferem destes últimos por possuírem razões La/Yb_n levemente maiores ($1,3 \leq \text{La}/\text{Yb}_n \leq 1,8$), valores de R_o significativamente mais elevados e de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ mais baixos, como pode ser observado na Tabela 2. Além disso, os basaltos N-MORB possuem concentrações bem mais baixas de elementos traços incompatíveis como Rb, Ba e Sr (Le Roex *et al.*, 1983; Le Roex, 1987) e diferenças significativas nas razões La/Th , Th/Ta , Ba/La , Th/Hf , K/Rb e K/Ba (Tabela 2; Saunders, 1984; Le Roex, 1987), demonstrando que esses basaltos são do tipo continental.

Rochas básicas com alto TiO_2

Uma vez que na *Província Sul* ocorrem rochas básicas *ATi* contendo TiO_2 geralmente acima de 3%, com o objetivo de melhor comparação com os basaltos *ATi* da *Província Norte*, as rochas com TiO_2 entre 2 e 3% desta última província serão analisadas separadamente.

Os basaltos *ATi* da *Província Sul*, cujos dados foram extraídos de Mantovani *et al.* (1985a), são mais enriquecidos em SiO_2 , K_2O , La, Sm, Th, Hf, U, Rb, Ba e Sr e mais empobrecidos em FeO , CaO, Na_2O e Sc, em relação àqueles da *Província Norte* com $\text{TiO}_2 > 3\%$, considerando-se os mesmos conteúdos de MgO (Figs. 5 e 6).

As rochas básicas *ATi* com $2 < \text{TiO}_2 \leq 3\%$ da *Província Norte* destacam-se daquelas com $\text{TiO}_2 > 3\%$ das *Províncias Norte e Sul* por serem geralmente mais enriquecidas em Al_2O_3 , CaO, Cr e Sc e mais empobrecidas em La, Sm, Th, Zr, Hf, U, Rb, Ba e Sr (Figs. 5 e 6).

As rochas básicas *ATi*, com $R_o \leq 0,7060$, mostram padrões de abundância de ETR praticamente lineares e bem mais fracionados, principalmente aquelas com $\text{TiO}_2 > 3\%$, em comparação com as do tipo *BTi*, havendo enriquecimentos significativos de terras raras leves em relação às intermediárias e pesadas e das intermediárias em relação às pesadas (Fig. 7).

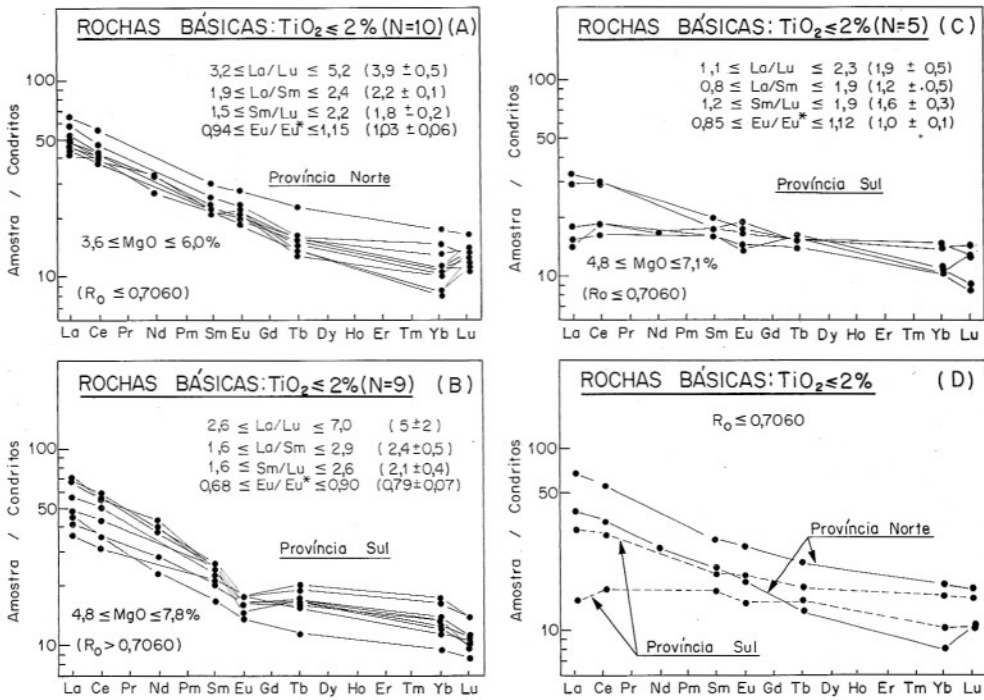


Figura 4 — Padrões de abundância de ETR das rochas básicas com baixo TiO_2 : (A) basaltos da *Província Norte* com $R_0 \leq 0,7060$; (B) basaltos da *Província Sul* com $R_0 > 0,7060$; (C) basaltos da *Província Sul* com $R_0 \leq 0,7060$; (D) campos de variação dos basaltos das *Províncias Norte e Sul* com $R_0 \leq 0,7060$.

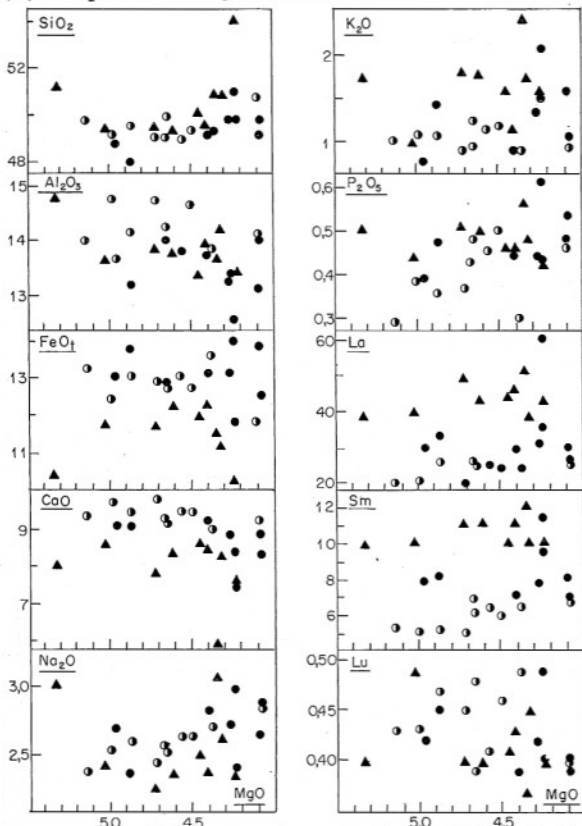


Figura 5 — Diagramas de variação de SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 (%), La , Sm e Lu (ppm) em função de MgO (%) das rochas básicas com alto TiO_2 : basaltos da *Província Sul* com $TiO_2 > 3\%$ (\blacktriangle); basaltos da *Província Norte* com $2 \leq TiO_2 \leq 3\%$ (\bullet); basaltos da *Província Norte* com $TiO_2 > 3\%$ (\bullet).

As rochas básicas ATi com $TiO_2 > 3\%$ da *Província Norte* distinguem-se daquelas da *Pro-*

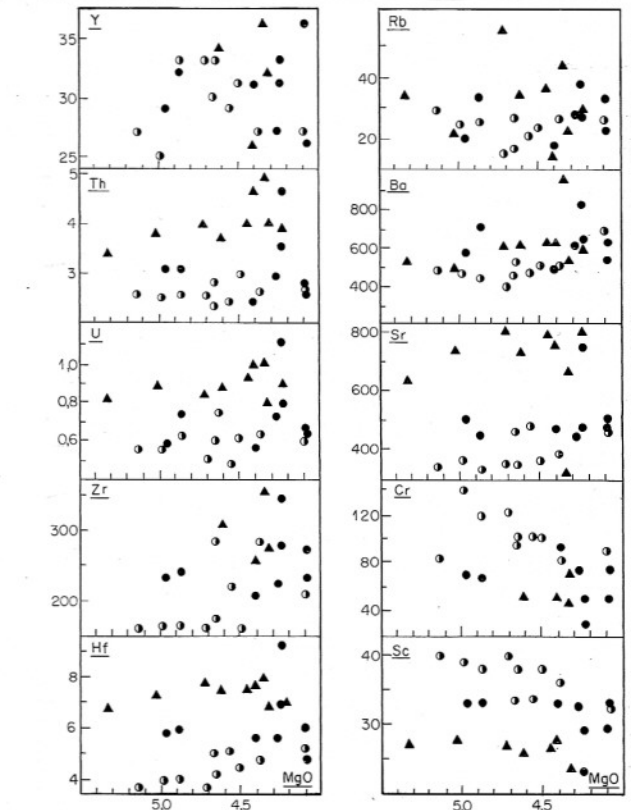


Figura 6 — Diagramas de variação de Y , Th , U , Zr , Hf , Rb , Ba , Sr , Cr e Sc (ppm) em função de MgO (%) das rochas básicas com alto TiO_2 . Os símbolos são os mesmos da Fig. 5.

víncia Sul por apresentarem padrões de abundância menos fracionados (Figs. 7a, b, d), com razões La/Lu_n entre 7,0 e 7,9 (média de $7,5 \pm$

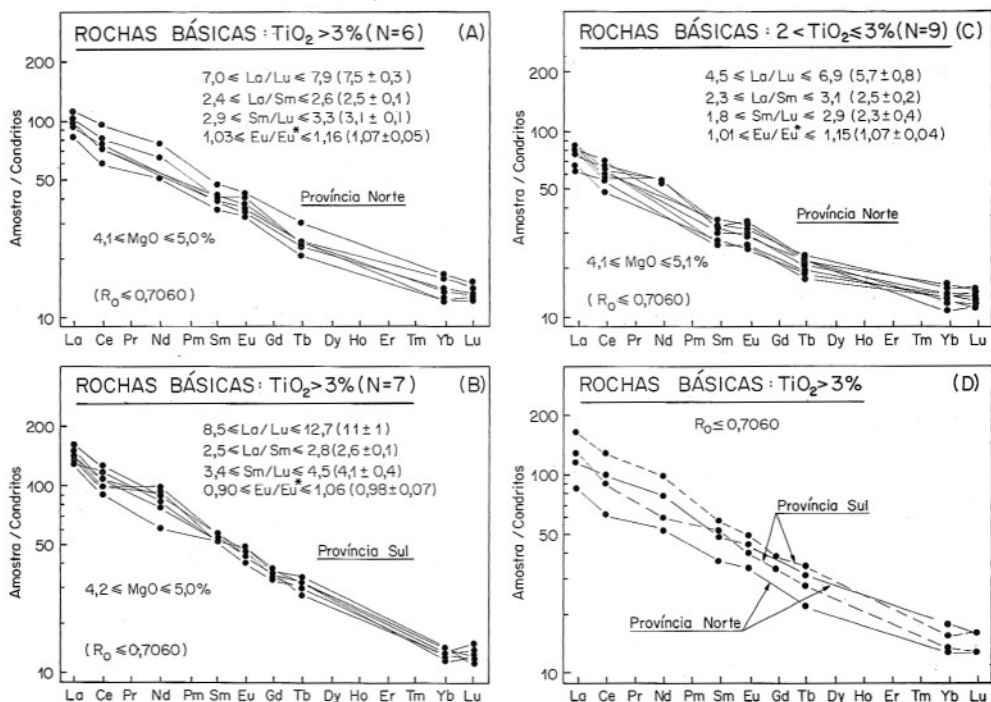


Figura 7 — Padrões de abundância de ETR das rochas básicas com alto TiO_2 : (A) basaltos da *Província Norte* com $TiO_2 > 3\%$; (B) basaltos da *Província Sul* com $TiO_2 > 3\%$; (C) basaltos da *Província Norte* com $2 < TiO_2 \leq 3\%$; (D) campos de variação dos basaltos com $TiO_2 > 3\%$ das *Províncias Norte e Sul*.

0,3), e por possuírem anomalias de Eu sistematicamente positivas ($1,03 \leq Eu/Eu^* \leq 1,16$; média de $1,07 \pm 0,05$). Os basaltos *ATi* da *Província Sul* possuem padrões com forte fracionamento, com razões La/Lu_n bastante elevadas ($8,5 \leq La/Lu_n \leq 12,7$; média de 11 ± 1), e anomalias de Eu tanto positivas como negativas ($0,90 \leq Eu/Eu^* \leq 1,06$; média de $0,98 \pm 0,07$).

Os padrões de abundância de ETR dos basaltos com TiO_2 entre 2 e 3% (Fig. 7c) possuem padrões menos fracionados, com razões La/Lu_n entre 4,5 e 6,9 (média de $5,7 \pm 0,8$), e da mesma forma que os basaltos com $TiO_2 > 3\%$ da *Província Norte*, são caracterizados por apresentarem sistematicamente anomalias positivas de Eu ($1,01 \leq Eu/Eu^* \leq 1,15$; média de $1,07 \pm 0,04$).

Tabela 2 — Comparação de características geoquímicas entre os basaltos com baixo TiO_2 da *Província Sul* da Bacia do Paraná, contendo razões isotópicas iniciais de Sr (R_o) inferiores a 0,7060 e apresentando razões La/Ce_n inferiores a 1, e os basaltos do tipo N-MORB.

Razões	BTi-S ($La/Ce_n < 1$)			N-MORB	
La/Yb_n	1,5	$\pm 0,3$	(N, 3)	<	1,1 ¹
La/Th	5,4	$\pm 0,9$	(N, 3)	\approx	18 ²
Th/Ta	3,8	$\pm 0,3$	(N, 3)	\approx	0,7 ²
Ba/La	33	± 4	(N, 3)	\approx	3 ²
Th/Hf	0,47	$\pm 0,09$	(N, 3)	\approx	0,05 ²
K/Rb	164	± 30	(N, 3)	\approx	1060 ¹
K/Ba	11	± 5	(N, 3)	\approx	110 ¹
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,7049	$\pm 0,0003$	(N, 3)	<	0,7030 ¹
$^{143}Nd/^{144}Nd$	0,51276	$\pm 0,00003$	(N, 2)	>	0,5130 ¹

BTi-S, basaltos com baixo TiO_2 da *Província Sul* com $R \leq 0,7060$

1, Le Roex (1987); 2, Saunders (1984); N, número de amostras consideradas

EFEITOS DE CONTAMINAÇÃO CRUSTAL NOS BASALTOS COM BAIXO TiO_2

A maioria dos basaltos *BTi* da *Província Sul* mostra evidências de processos complexos de contaminação crustal sob condições de baixa pressão, como atestam as evidências petrológicas e as razões isotópicas de Sr e Nd (Mantovani, 1985; Mantovani *et al.*, 1985a; Hawkesworth *et al.*, 1986; Petrini *et al.*, 1987; Piccirillo *et al.*, 1989).

Comparando-se as concentrações de elementos menores e traços incompatíveis referentes a rochas básicas *BTi*, que exibem o mesmo grau de evolução (teores de MgO similares) e com razões isotópicas R_o distintas, notam-se diferenças bastante significativas Na Figura 8 encontram-se

representadas as médias das concentrações de vários elementos menores e traços incompatíveis referentes a conjuntos de basaltos *BTi* da *Província Sul*, agrupados em função de R_o , normalizadas em relação à média do grupo que apresenta os menores valores de R_o ($0,70461 \leq R_o \leq 0,70516$; amostras 448, 3006 e 3064). Os intervalos de R_o utilizados para discriminar os diversos conjuntos foram: de 0,70550 a 0,70618 (amostras 208, 557 e 509), de 0,70661 a 0,70798 (amostras 505 e 514) e de 0,70903 a 0,71082 (amostras SB-339, PH-328, LS-603, TS-302, BV-359 e SB-346). Observa-se que as rochas básicas, com valores mais elevados de R_o (média de 0,7102), possuem padrões de abundância bastante distintos daquelas que contêm valores de R_o mais baixos (médias de 0,7058 e 0,7073). A diferença torna-se ainda mais acentuada em relação ao conjunto utilizado para normalização que possui um valor médio de R_o igual a 0,7049.

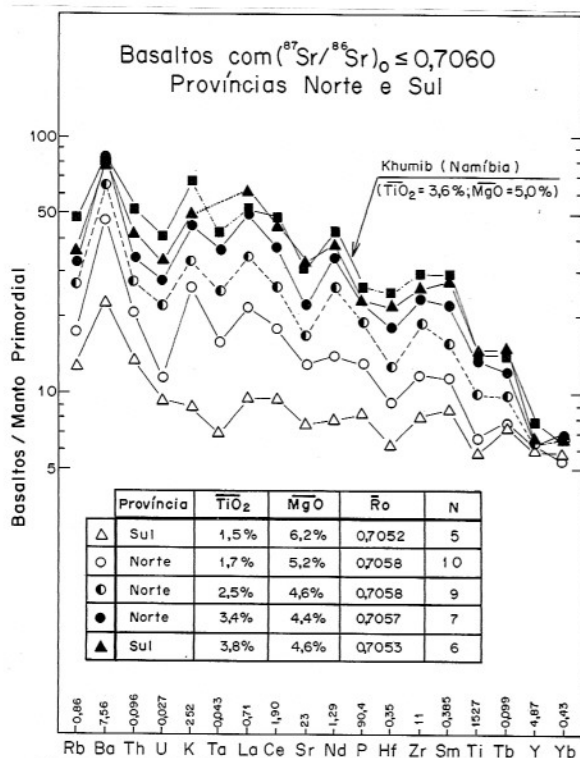


Figura 8 — Padrões de abundância de elementos menores e traços incompatíveis dos basaltos da Bacia do Paraná com baixo TiO_2 e com diferentes razões isotópicas iniciais de Sr (R_o). Para comparação encontram-se também representados os padrões de abundância dos basaltos de Tafelberg (Namíbia, sudoeste da África) e das rochas ácidas do embasamento cristalino. Os valores de normalização correspondem à média do grupo de amostras com $R_o \leq 0,70516$.

Verifica-se, com o aumento da razão isotópica inicial de Sr, enriquecimento geral dos elementos mais incompatíveis e aparecimento de anomalias negativas de Ba, U e Ta, que, nos basaltos menos contaminados, não são observadas ou são pouco pronunciadas. Essas anomalias tornam-se progressivamente mais acentuadas com o aumento de R_o . Nota-se, também, aumento progressivo nas anomalias negativas de Sr, P e Ti.

É interessante assinalar que, à medida que o grau de contaminação aumenta, ou seja, com o incremento de R_o , as rochas básicas *BTi* apresentam padrões de distribuição cada vez mais semelhantes (exceto para Zr) ao da média de rochas ácidas do embasamento cristalino (Marques, 1988; Marques *et al.*, 1988b) que ocorrem nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A título de comparação, na Figura 8 encontra-se também representado o padrão de distribuição referente à média dos basaltos *BTi* de Tafelberg ($R_o \approx 0,711$) da Formação Etendeka — Província de Karoo (Marsh, 1987) que apresentam idade e composição semelhantes às dos basaltos *BTi* da *Província Sul* da Bacia do Paraná. A Formação Etendeka em uma reconstrução pré-deriva torna-se adjacente à Bacia do Paraná, podendo ser considerada como uma porção anteriormente integrante desta última.

CARACTERÍSTICAS DA FONTE DOS MAGMAS BASÁLTICOS

Analisando-se mais detalhadamente as rochas básicas *ATi* e *BTi*, que podem ser tomadas como não contaminadas ou fracamente contaminadas, verifica-se que as da *Província Norte* são isotopicamente distintas em relação às da *Província Sul*. As desta última província possuem razões isotópicas de Sr menores ($R_o \approx 0,705$) e de Nd maiores ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \approx 0,5128$) do que aquelas da *Província Norte* ($R_o \approx 0,706$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \approx 0,5124$), evidenciando, assim, diferenças significativas nas fontes que deram origem aos basaltos das *Províncias Norte e Sul*.

Desta forma, para obter informações a respeito das características químicas das fontes, foram consideradas somente rochas básicas *ATi* e *BTi* com conteúdos de MgO similares, razões isotópicas de Sr inferiores a 0,7060 e teores de SiO_2 menores do que 53%, minimizando-se assim possíveis modificações no quimismo devido a processos de cristalização fracionada e de contaminação crustal.

As médias das concentrações de elementos menores e traços incompatíveis, normalizadas em relação ao manto primordial (Wood *et al.*, 1979), desses basaltos das *Províncias Norte e Sul* (Fig. 9) mostram a existência de anomalias negativas de Ta, Hf e Ti que podem ser vistas como características químicas das fontes.

As rochas básicas *BTi* da *Província Norte* (Fig. 9) são caracterizadas por apresentarem fortes anomalias negativas de U e positivas de Ba, enquanto que as da *Província Sul* exibem anomalias bem menos pronunciadas dos referidos elementos. Estes últimos basaltos distinguem-se ainda daqueles da *Província Norte* por possuírem diferenças nas razões, normalizadas em relação ao manto primordial, La/Ce (*Província Sul*: $1,0 \pm 0,1$; *Província Norte*: $1,2 \pm 0,1$) e Zr/Sm (*Província Sul*: $0,9 \pm 0,1$; *Província Norte*: $1,0$

$\pm 0,1$). Cabe salientar que nos basaltos da *Província Sul*, com valores de R_o mais baixos ($R_o \leq 0,70516$), a razão La/Ce varia de 0,79 a 0,98 (média de $0,9 \pm 0,1$) e a de Zr/Sm de 0,78 a 0,88 (média de $0,83 \pm 0,05$).

Os padrões de distribuição dos basaltos da *Província Norte* com $2 < TiO_2 \leq 3\%$ e $TiO_2 > 3\%$, embora mais enriquecidos em incompatíveis, são bastante similares aos dos basaltos *BTi* da mesma província. O padrão de abundância dos basaltos *ATi* da *Província Sul* (Mantovani *et al.*, 1985a) é mais enriquecido em relação ao da *Província Norte* para conteúdos de MgO idênticos.

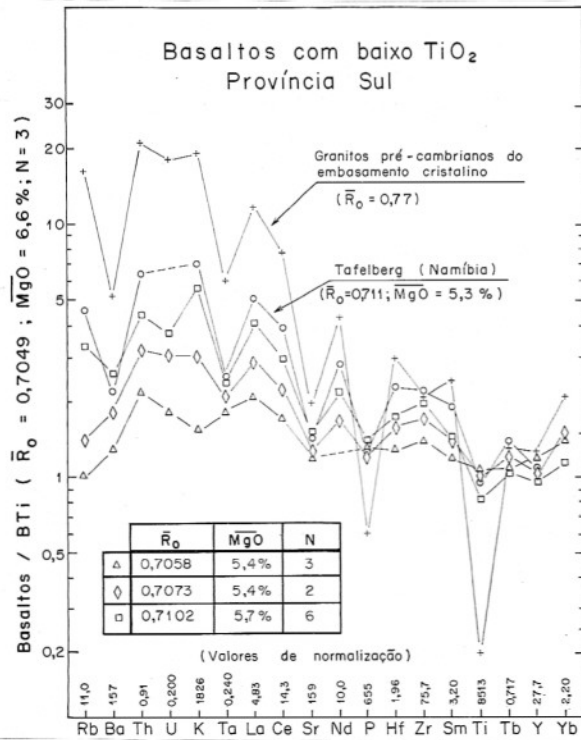


Figura 9 — Padrões de abundância de elementos menores e traços incompatíveis, normalizados em relação ao manto primordial, para os basaltos da Bacia do Paraná com $R_o \leq 0,7060$. A título de comparação encontra-se também representado o padrão de abundância dos basaltos com alto TiO_2 de Khumib (Namíbia, sudoeste da África).

Para comparação, na Figura 9 encontra-se também representado o padrão de distribuição relativo aos basaltos do tipo *ATi* de Khumib (Formação Etendeka, Província de Karoo; Duncan & Rogers, dados não publicados), que é bastante similar ao dos basaltos *ATi* da *Província Norte*. As concentrações de Hf e Ta foram estimadas por meio das relações $Hf = Zr/37$ e $Ta = Nb/17$, que, de acordo com Jochum *et al.* (1986), são válidas para rochas vulcânicas básicas devido à grande similaridade no comportamento geoquímico de Nb e Ta e de Zr e Hf.

Portanto, os dados mostram que os basaltos das *Províncias Norte* e *Sul* foram originados em fontes composicionalmente distintas, que apresentariam diferenças marcantes nas razões isotópicas e nas características químicas, possuindo

do diferentes razões entre elementos menores e traços incompatíveis, como, por exemplo, La/Ce , Rb/Ba , U/K e Zr/Sm .

Considerando-se que o grau de fusão para a geração de magmas toleíticos é da ordem ou superior a 10% (Jaques & Green, 1980), as importantes variações nas razões de elementos incompatíveis que possuem grande afinidade geoquímica (por exemplo, La/Ce) entre os basaltos das *Províncias Norte* e *Sul*, sugerem também que a fonte que originou os basaltos *BTi* e *ATi* da *Província Norte* seria mais rica em incompatíveis em relação à que deu origem aos basaltos da *Província Sul* (Melfi *et al.*, 1988).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os basaltos das *Províncias Norte* e *Sul* da Bacia do Paraná exibem diferenças marcantes tanto nas razões isotópicas de Sr e Nd, como nas características geoquímicas, evidenciando a existência de fontes no manto composicionalmente distintas.

A presença de fontes com diferentes composições foi também apontada por Cox (1987) para explicar a gênese dos basaltos com alto e baixo titânio que ocorrem nas províncias norte e sul do Karoo, sul da África (Fig. 10).

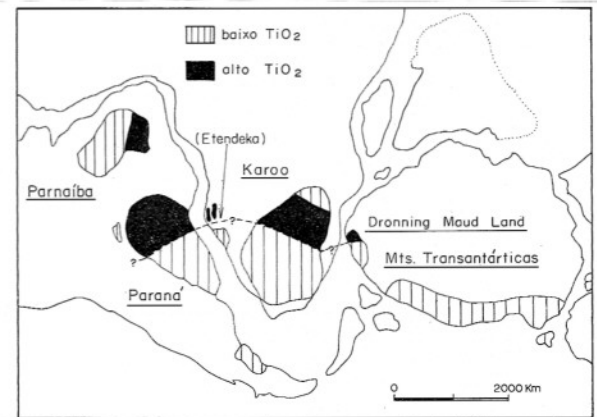


Figura 10 — Localização das províncias basálticas mesozóicas do Gondwana. A linha pontilhada (Piccirillo *et al.*, 1988; Erlank *et al.*, 1988) corresponde a uma interface que separa domínios litosféricos distintos.

Analisando conjuntamente os dados químicos e isotópicos (Sr e Nd) das rochas vulcânicas e intrusivas associadas da Bacia do Paraná, da Antártica e da Província de Karoo, Piccirillo *et al.* (1988), Cox (1988) e Erlank *et al.* (1988) propuseram a existência de uma descontinuidade geoquímica (Fig. 10) que separaria heterogeneidades muito antigas e de grande escala no manto litosférico subcontinental. A origem dessa descontinuidade não se encontra até o presente momento esclarecida, merecendo estudos adicionais.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CNEN/SP por permitir a um dos autores (L.S. Marques) a utilização de suas instalações e equipamentos.

Os nossos agradecimentos a A.R. Duncan (University of Cape Town, África do Sul) e N.W. Rogers (Open University, Reino Unido), por permitirem a utilização de dados ainda não publicados.

Este trabalho contou com o apoio financeiro das entidades brasileiras FAPESP, CNPq e FINEP e italianas CNR e MPI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATALLA, L.T.; MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S.; SOUSA, M.A. (1985) Determinação de terras raras e outros elementos traços em rochas através de análise por ativação neutrônica. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **57**:19-33.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1983) Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalts to rhyolite sequences of the southern Paraná basin (Brazil). *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **55**:355-383.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1984a) Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. *J. Petrol.*, **25**:579-618.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1984b) Low-pressure evolution of basalt sills from bore-holes in the Paraná basin (Brazil). *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, **33**:25-47.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A. (1984c) High- and low-TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *N. Jb. Miner. Abh.*, **150**: 273-306.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. (1986a) Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *J. Petrol.*, **27**:915-944.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1986b) Continental flood basalts from the central-western regions of the Paraná plateau (Paraguay and Argentina): petrology and petrogenetic aspects. *N. Jb. Miner. Abh.*, **154**:111-139.
- BOYNTON, W.V. (1984) Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (ed.) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, p. 65-114.
- CORDANI, U.G.; CIVETTA, L.; MANTOVANI, M.S.M.; PETRINI, R.; KAWASHITA, K.; KAWKESWORTH, C.J.; TAYLOR, P.; LONGINELLI, A.; CAVAZZINI, G.; PICCIRILLO, E.M. (1988) Isotope geochemistry of flood volcanics from the Paraná Basin (Brazil). In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.) *The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. Instituto Astronômico e Geofísico — USP [no prelo]
- COX, K.G. (1988) The Karoo Province. In J.D. MacDougall (ed.) *Flood basalts*. Kluwer Acad. Pub., 239-271.
- ERLANK, A.J.; DUNCAN, A.R.; MARSH, J.S.; SWEENEY, R.J.; HAWKESWORTH, C.J.; MILNER, S. C.; MILLER, R.McG.; ROGERS, N.W. (1988) A laterally extensive geochemical discontinuity in the subcontinental Gondwana lithosphere. *Int. Conf. "Geochemical evolution of the continental crust"*, Poços de Caldas, Brazil, Abstracts, p. 1-10.
- FODOR, R.V.; CORVIN, C.; SIAL, A.N. (1985) Crustal signature in the Serra Geral flood basalt province, Southern Brazil: O-and Sr-isotope evidence. *Geology*, **13**:763-765.
- HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M.; TAYLOR, P.N.; PALACZ, Z. (1986) Coupled crust-mantle systems: evidence from the Paraná of S. Brazil. *Nature*, **322**:356-359.
- JAIQUES, A.L. & GREEN, D.H. (1980) Anhydrous melting of peridotite at 0-15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **73**:287-310.
- JOCHUM, K.P.; SEUFERT, H.M.; SPETTEL, B.; PALME, H. (1986) The solar system abundances of Nb, Ta and Y and the relative abundances of refractory lithophile elements in differentiated planetary bodies. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **50**:1173-1183.
- LE ROEX, A.P. (1987) Source regions of mid-ocean ridge basalts: evidence for enrichment processes. In: M.A. Menzies & C.J. Hawkesworth (eds.) *Mantle metasomatism*. Academic Press Inc., London, p. 389-422.
- LE ROEX, A.P.; DICK, H.J.B.; ERLANK, A.J.; REID, A.M.; FREY, F.A.; HART, S.R. (1983) Geochemistry, mineralogy and petrogenesis of lavas erupted along the Southwest Indian Ridge between the Bouvet Triple Junction and 11 degrees east. *J. Petrol.*, **24**(3):267-318.
- MANTOVANI, M.S.M. (1985) Caracterização isotópica do magmatismo da Bacia do Paraná, sua correlação com a crosta continental subjacente e com a abertura do Atlântico Sul. Tese de Livre Docência, IAG-USP, 186p.
- MANTOVANI, M.S.M.; MARQUES, L.S.; SOUSA, M. A.; ATALLA, L.T.; CIVETTA, L.; INNOCENTI, F. (1985a) Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of the Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State (Southern Brazil). *J. Petrol.*, **26**:187-209.
- MANTOVANI, M.S.M.; CORDANI, U.G.; ROISENBERG, A. (1985b) Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná e implicações genéticas associadas. *Rev. Bras. Geoc.*, **15**:61-65.
- MANTOVANI, M.S.M.; PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J. (1988) Geochemical stratigraphy of Paraná continental flood basalts: a contribution from borehole samples. In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.) *The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. Instituto Astronômico e Geofísico-USP [no prelo].
- MARIMON, M.P.C.; MOREIRA, M.L.O.; AYALA, L. (1983) Formação Serra Geral no sul do Brasil: novos dados de razões isotópicas ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e implicações com a gênese das rochas desta formação. *I Simp. Sul-Brasil. Geol.*, Porto Alegre, Atas, p. 69-91.
- MARQUES, L.S. (1988) Caracterização geoquímica das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná: implicações petrogenéticas. Tese de Doutorado, IAG-USP, 175p.
- MARQUES, L.S.; FIGUEIREDO, A.M.G.; SAIKI, M.; VASCONCELLOS, M.B.A. (1988a) Geoquímica analítica dos elementos terras raras. Aplicação da técnica dos elementos terras raras no Brasil, CPRM [no prelo].

- MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, B. (1988b) Geochemistry and REE distribution of flood basalt-rhyolite suites from the Paraná Basin, Brazil. Int. Conf. "Geochemical evolution of the continental crust", Poços de Caldas, Brazil. Abstracts, p. 70-79.
- MARSH, J.S. (1987) Basalt geochemistry and tectonic discrimination within continental flood basalt provinces. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **32**:35-49.
- MELFI, A.J.; MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M.; COMIN-CHIARAMONTI, P. (1988) Geoquímica dos elementos terras raras em rochas vulcânicas. In: *Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil*, CPRM [no prelo].
- MILNER, S.C.; DUNCAN, A.R.; MARSH, J.S.; MILLER, R.McG. (1988) Field excursion guide to the Etendeka volcanics and associated intrusives, N.W. Namibia. Int. Conf. "Geochemical evolution of the continental crust". Poços de Caldas, Brazil, Guidebook, 89p.
- PETRINI, P.; CIVETTA, L.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J. (1987) Mantle heterogeneity and crustal contamination in the genesis of low-Ti continental flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): Sr-Nd isotope and geochemical evidence. *J. Petrol.*, **28**:701-726.
- PICCIRILLO, E.M.; RAPOSO, M.I.B.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. (1987) Bimodal fissural volcanic suites from the Paraná basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and geochemistry. *Geochim. Brasil.*, **1**:53-69.
- PICCIRILLO, E.M.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; LONGINELLI, A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J. (1989) Regional variations within the Paraná continental flood basalt sequences as evidence for different mantle regions and variable crustal contamination. *Chem. Geol.*, **75**:103-122.
- PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G. USSAMI, M. (1988) Significance of the Paraná flood volcanism in the disruption of western Gondwanaland. In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.) *The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. Instituto Astronômico e Geofísico-USP [no prelo].
- ROCHA-CAMPOS, A.C.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; SONOKI, H.M.; SONOKI, I.K. (1988) Age of Paraná flood volcanism. In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (eds.) *The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. Instituto Astronômico e Geofísico-USP [no prelo].
- SARTORI, P.L.P.; BORTOLOTTI, O.J.; KAWASHITA, K. (1982) Os principais tipos de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no planalto de Santa Catarina. *Ciência e Natura*, **4**:71-84.
- SAUNDERS, A.D. (1984) The rare earth element characteristics of igneous rocks from the ocean basins. In: P. Henderson (ed.) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, p. 205-236.
- WOOD, D.A.; TARNEY, J.; VARET, J.; SAUNDERS, A.D.; BOUGAULT, H.; JORON, J.L.; TREUIL, N.; CANN, J.R. (1979) Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg 49: implications for mantle heterogeneity. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **42**:77-97.