

1483248

811

Geoquímica dos Isótopos de Estrôncio e a Evolução da Atividade Vulcânica na Bacia do Paraná (Sul do Brasil) Durante o Cretáceo*

U. G. CORDANI, P. L. P. SARTORI e K. KAWASHITA

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP e Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

(Com 3 figuras no texto)

INTRODUÇÃO

O vulcanismo do tipo fissural que ocorreu ao longo da região correspondente à Bacia do Paraná (Fig. 1), durante o Cretáceo, resultou numa das maiores manifestações de caráter continental até hoje registradas na literatura geológica; segundo cálculos realizados, a ex-

tensão de sua ocorrência atinge, aproximadamente, $1,0 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Leinz, 1949), e seu volume totaliza cerca de $6,5 \times 10^5 \text{ km}^3$ (Leinz *et al.*, 1966).

Este significativo evento magmático processou-se de maneira intermitente, na forma de sucessivos derrames de lavas que cobriram grande área do sul do Brasil e parte dos países limítrofes (Argentina, Paraguai e Uruguai)

* Recebido em 16 de janeiro de 1980.

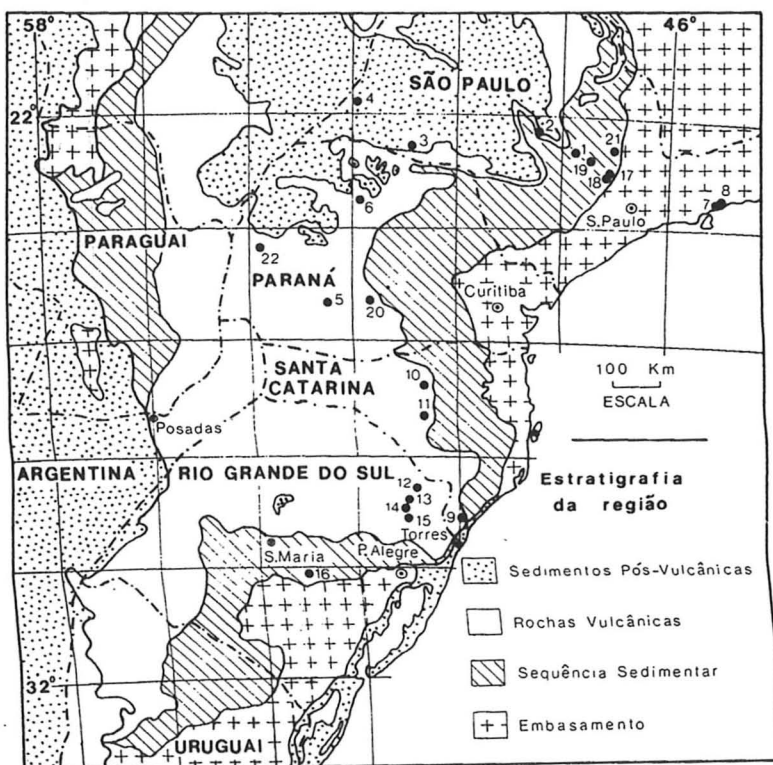


Fig. 1 — Mapa geral de grande parte da região correspondente à Bacia do Paraná, com a localização das amostras estudadas.

vindo a constituir, posteriormente, o Planalto Meridional Brasileiro. A par disso, grande número de intrusões menores, principalmente na forma de diques e sills, aparecem preenchendo fraturas relacionadas a essa atividade, em toda região que circunda a área ocupada pelos derrames (Minioli *et al.*, 1971).

Apesar de sua importância geológica, as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná têm sido objeto de número ainda restrito de pesquisas, geralmente realizadas em função de aspectos locais. Assim, no território brasileiro, Leinz (1949), publicou uma síntese dos conhecimentos até então disponíveis, acrescentando novos subsídios, baseados em estudos conduzidos na extremidade sudeste do Planalto, ao longo da zona de divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, conhecida pela denominação de Aparados da Serra. Descrições regionais ou locais sobre a geologia e petrologia dessas rochas vulcânicas são encontradas, também, em trabalhos mais recentes de vários autores, entre outros os de Schneider (1964), Leinz *et al.*, (1966, 1968), Cordani & Vandomos (1967), Rüeegg (1969), Schneider (1970), Sartori *et al.*, (1973, 1975), Roisenberg (1974), Sartori & Maciel Filho (1976, 1978). Com referência aos aspectos geocronológicos e geoquímicos, os dados obtidos encontram-se em Amaral *et al.*, (1966), Compston *et al.*, (1968), Halpern *et al.*, (1974), McDougall & Rüeegg (1966), Vandomos *et al.*, (1966), Melfi (1967), Rüeegg & Dutra (1970) e Rüeegg (1970, 1975).

GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS DERRAMES DE LAVAS

Do ponto de vista geológico, os sucessivos derrames de lavas que compõem a Formação Serra Geral assentam-se sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu, correspondentes ao topo da seqüência sedimentar gondiânica que preencheu a Bacia do Paraná. As areias desta última formação originaram, frequentemente, a presença de arenito intercalar, separando derrames, indicando a persistência do ambiente desértico durante a atividade vulcânica, bem como o caráter intermitente das erupções.

A espessura do conjunto de derrames é variável ao longo de toda a região, ultrapassando, em determinadas localidades, 1.000 metros. Individualmente, a espessura de um derrame situa-se entre 10-80 metros, embora tenham sido assinalados valores superiores a 100 metros; no topo de cada derrame aparece, com freqüência, uma zona rica em amígdalas, preenchidas por minerais hidrotermais (quartzo e suas variedades, zeolitas, calcita, etc.), por vezes economicamente exploráveis.

Petrograficamente, os derrames de lavas da Bacia do Paraná têm sido descritos generalizadamente como sendo basaltos, embora comportando tipos diferenciados. De um modo geral, as rochas, de cor cinza-escura, são constituídas de plagioclásios (andesina-labradorita), piroxênios (augita e pigeonita) e opacos; pequena percentagem de material intersticial ocorre na forma semivítrea, ou como intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino; olivina é rara e, no território brasileiro, foi descrita em alguns corpos de diabásio.

Conquanto esse fato seja conhecido desde longa data, os estudos realizados por Sartori *et al.*, (1973, 1975), Sartori & Maciel Filho (1976, 1978) sobre a estratigrafia e petrografia dos derrames de lavas, na parte centro-oeste do rebordo do Planalto no Estado do Rio Grande do Sul, demonstraram que os últimos derrames diferem dos primeiros pela sua composição ácida. Este fato também vem sendo investigado por Roisenberg (1978) em áreas similares e, hoje, é citado como evento importante no vulcanismo da Bacia do Paraná.

Na região de Santa Maria (RS) e vizinhanças, segundo Sartori *et al.*, (1975), Sartori & Maciel Filho (1976, 1978), nos locais onde aparecem os dois conjuntos distintos de derrames, a maior parte da seqüência superior é representada por granófiros de cor geralmente cinza-clara, formados por denso intercrescimento micrográfico de quartzo e feldspato alcalino (sanidina sódica), envolvendo quantidade restrita de cristais de plagioclásio (andesina) e piroxênios comumente alterados e substituídos por opacos; esta rocha granofírica constitui espessos derrames (às vezes com

espessura superior a 100 metros) e mostra significativa distribuição horizontal no topo do Planalto, especialmente ao longo do rebordo sul, que atravessa o Estado do Rio Grande do Sul. A outra rocha definida como vitrófiro, de cor preta ou então castanho-avermelhada, é constituída por pequenos cristais de plagioclásio (labradorita), escassos piroxênios e opacos, imersos em abundante matriz vítrea, rica em cristálitos, de composição ácida (Sartori & Maciel Filho, 1976); esta rocha, por vezes, se intercala com a anterior, na forma de pequenos derrames e foi, durante muitos anos, referida por vários autores como a base vítrea de alguns derrames ("zona vítrea" de Leinz, 1949), conforme citam Sartori & Maciel Filho (1976).

O quimismo das rochas dessa sequência ácida permite enquadrá-las nos campos correspondentes aos dacitos, riodacitos e riólitos.

COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO ESTRÔNCIO

A existência de rochas de naturezas químico-mineralógicas distintas, caracterizando

uma sequência de derrames básicos, e outra de derrames ácidos, que ocorrem em determinadas regiões da Bacia do Paraná, conduziu os autores a uma avaliação preliminar sobre a composição isotópica do estrôncio nas rochas vulcânicas dessas duas seqüências, visando interpretar, à luz desses dados, a evolução do referido vulcanismo. Para tanto, foram reunidos os dados publicados por Compston *et al.*, (1968) e por Halpern *et al.*, (1974), (Tabela I), acrescidos de vinte e nove novas determinações (Tabela II), totalizando, portanto, quarenta e duas análises obtidas em amostras de diferentes localidades.

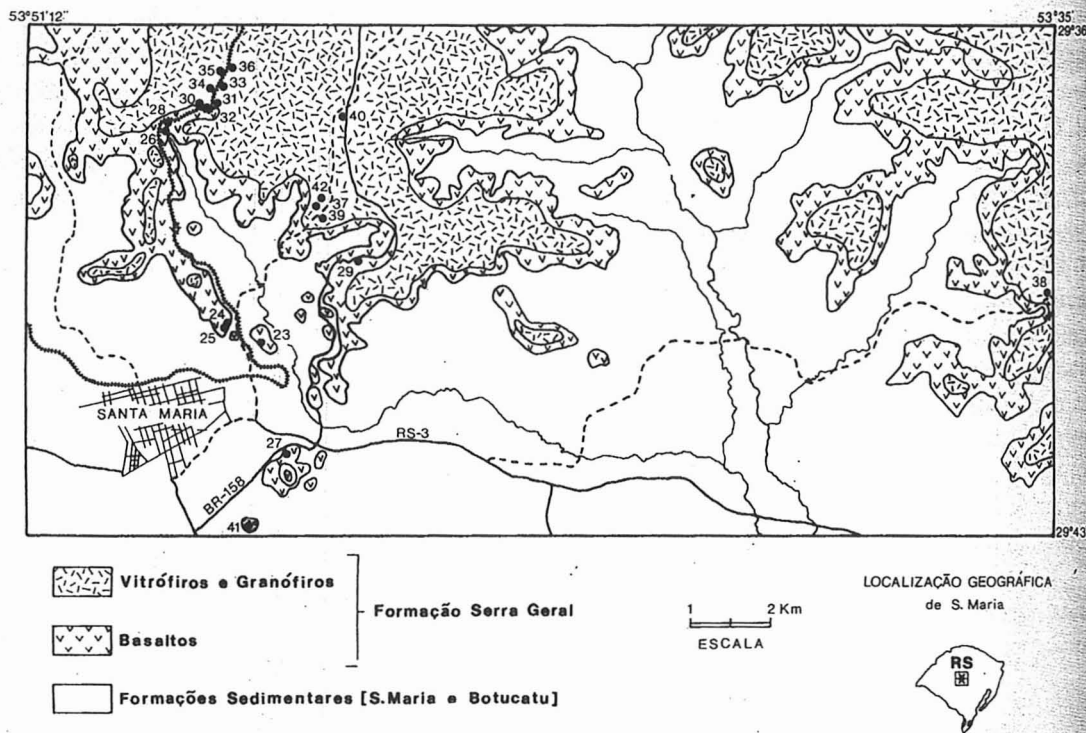
Com relação às novas determinações (Tabela II), o maior número de amostras analisadas foi proveniente da região de Santa Maria (Figura 2), onde Sartori *et al.*, (1975) estabeleceram a estratigrafia dos derrames; nesta localidade, a sequência inferior está representada por três derrames basálticos, enquanto a sequência superior é constituída por um derrame de vitrófiro e outro de granófiro.

TABELA I

Análises Isotópicas Rubídio-Estrôncio de Amostras de Rochas Vulcânicas de Várias Localidades da Bacia do Paraná

Amostra	N.º Laborat. ou original	Material	Localização	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Rb/Sr	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ medido	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ inicial para: T = 130 m.a.	Ref.
1	SPR 1174	Diabásio	Rio Piracicaba (SP)	137	445	0,31	0,9	0,706	0,705	1
2	SPR 1176	Basalto	Barra Bonita (SP)	40	476	0,08	0,2	0,706	0,706	1
3	SPR 1177	Basalto	Paraguau Pta. (SP)	31	309	0,1	0,3	0,706	0,705	1
4	SPR 1178	Diabásio	Pres. Epitácio (SP)	17	590	0,03	0,1	0,707	0,707	1
5	SPR 1181	Basalto	Laranjal do Sul (PR)	25	331	0,08	0,2	0,705	0,705	1
6	SPR 1182	Basalto	Apucarana (PR)	31	258	0,12	0,1	0,707	0,706	1
7	SPR 1180	Diabásio	Ubatuba (SP)	61	663	0,09	0,3	0,708	0,707	1
8	SPR 1183	Diabásio	Ubatuba (SP)	83	852	0,1	0,3	0,709	0,708	1
9	SPR 1179	Hialodacito	Turvo (SC)	142	166	0,85	2,5	0,721	0,717	1
10	201	Basalto	Monte Castelo (SC)	40	688	0,06	0,2	0,704	0,703	2
11	203	Basalto	São Cristóvão (SC)	37	730	0,05	0,1	0,704	0,704	2
12	204	Dacito	Vacaria (RS)	154	143	1,08	3,1	0,720	0,714	2
13	205	Basalto	Vacaria (RS)	40	204	0,20	0,6	0,709	0,708	2
14	206	Hialodacito	São Bernardino (RS)	164	170	0,96	2,8	0,722	0,717	2
15	207	Dacito	São Marcos (RS)	164	148	1,11	3,2	0,724	0,718	2
16	295	Diabásio	Cachoeira do Sul (RS)	42	212	0,20	0,6	0,712	0,711	2
17	GA 1498	Plag. (Diabásio)	Campinas (SP)	*	*	0,02	*	*	0,705	3
18	GA 1499	Plag. (Diabásio)	Campinas (SP)	*	*	0,02	*	*	0,706	3
19	GA 1460	Plag. (Diabásio)	Jaguariuna (SP)	*	*	0,03	*	*	0,706	3
20	GA 1501	Plag. (Diabásio)	Guarapuava (PR)	*	*	*	*	*	0,706	3
21	GA 1502	Plag. (Diabásio)	Mogi Mirim (SP)	*	*	*	*	*	0,706	3
22	GA 1503	Plag. (Diabásio)	Oeste do Paraná (PR)	*	*	0,05	*	*	0,706	3

* Não indicado na referência original; 1. Dados obtidos neste trabalho; 2. Halpern *et al.*, (1974); 3. Compston *et al.*, (1968).



2 - Mapa litológico da Formação Serra Geral na região de Santa Maria (Segundo Sartori *et al.*, 1975) com a localização das amostras estudadas.

PROCEDIMENTO ANALÍTICO

As análises isotópicas de estrôncio foram obtidas nos laboratórios do *Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo*,

utilizando-se um espectrômetro de massa da *Varian-Mat*, modelo TH-5.

O erro experimental para a razão Sr^{87}/Sr^{86} normalizada, admitindo $Sr^{86}/Sr^{88} = 0,1194$, foi estimado em torno de $\pm 0,002$. Análises

TABELA II

Análises Isotópicas Rubídio-Estrôncio de Amostras de Rochas Vulcânicas da Região de Santa Maria, RS

Amostra	N.º Laborat.	Material	Derrame de lava	Rb(ppm)	Sr(ppm)	Rb/Sr	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ medido	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ inicial para T = 130 m.a.
23	SPR 1035	Basalto	1.º	106,2	178,3	0,60	1,73	0,716	0,713
24	SPR 1036	Basalto	1.º	107,7	469,1	0,23	0,67	0,712	0,711
25	SPR 1081	Basalto	1.º	112,4	169,3	0,66	1,92	0,716	0,712
26	SPR 1031	Basalto	2.º	58,4	319,2	0,18	0,53	0,710	0,709
27	SPR 1041	Basalto	2.º	40,8	197,1	0,21	0,60	0,711	0,710
28	SPR 1032	Basalto	3.º	64,9	297,0	0,22	0,63	0,710	0,709
29	SPR 1034	Basalto	3.º	80,2	260,0	0,31	0,89	0,710	0,708
30	SPR 0900	Vitrófiro	4.º	220,6	113,8	1,94	5,62	0,731	*
31	SPR 1040	Vitrófiro	4.º	289,1	111,7	2,59	7,51	0,734	*
32	SPR 1084	Vitrófiro	4.º	235,7	111,1	2,12	6,15	0,733	*
33	SPR 1085	Vitrófiro	4.º	203,8	136,9	1,49	4,31	0,729	*
34	SPR 1222	Vitrófiro	4.º	202,9	118,9	1,71	4,95	0,731	*
35	SPR 1223	Vitrófiro	4.º	218,2	101,7	2,15	6,22	0,733	*
36	SPR 1224	Vitrófiro	4.º	222,6	99,5	2,24	6,48	0,733	*
37	SPR 0898	Granófiro	5.º	211,9	80,7	2,63	7,60	0,739	*
38	SPR 0899	Granófiro	5.º	209,1	99,9	2,09	6,06	0,737	*
39	SPR 1039	Granófiro	5.º	206,2	94,3	2,19	6,34	0,736	*
40	SPR 1075	Granófiro	5.º	215,6	89,4	2,41	6,98	0,737	*
41	SPR 1076	Granófiro	5.º	200,1	102,3	1,96	5,67	0,734	*
42	SPR 1086	Granófiro	5.º	213,8	81,5	2,62	7,61	0,738	*

* Ver diagrama isocrônico.

do carbonato de estrôncio *Eimer & Amend*, utilizado como controle, forneceu resultados $Sr^{87}/Sr^{86} = 0,7082$, concordante com valores obtidos em outros laboratórios e divulgados na literatura pertinente.

Os teores de rubídio e de estrôncio foram determinados em rocha total, por fluorescência de raios X, com o erro analítico avaliado em $\pm 2\%$.

No cálculo das idades absolutas, a constante de desintegração do rubídio empregada foi de $1,42 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As determinações rubídio-estrôncio, obtidas a partir de amostras cogenéticas e interpretadas através de diagramas isocrônicos, têm importância geológica porque permitem calcular a época da homogeneização isotópica das rochas, e a razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} , de significação petrogenética, referente à natureza do material original.

Sendo assim, de posse dos resultados obtidos, e que se acham reunidos nas Tabelas I e II, observa-se que os teores de rubídio são menores do que os de estrôncio, nas rochas de composição basáltica; esta situação, normalmente, é inversa nos derrames ácidos de vitrófiros e de granófiros.

De outra parte, quanto às relações isotópicas, verifica-se que os valores das razões iniciais Sr^{87}/Sr^{86} , de amostras provenientes da região centro-oeste de São Paulo e do Paraná, situaram-se em torno de 0,706 (Tabela I). Já em Ubatuba, no litoral norte de São Paulo, onde ocorre grande número de intrusões basálticas na forma de diques, as rochas são quimicamente mais ácidas do que as anteriores (Wuegg, 1975), e duas análises de diabásios forneceram valores um pouco maiores (0,707 e 0,708).

Em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul registraram-se dois conjuntos de dados isotópicos. Os primeiros, menores que 0,710, respondem a rochas basálticas, e os segundos, acima de 0,715, provêm de granófiros e vitrófiros (Tabela I).

Na região de Santa Maria, os primeiros derrames, de composição basáltica, forneceram valores isotópicos da razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} em torno de 0,710, enquanto os últimos da sequência superior, de composição ácida, acusaram valores além de 0,720 e até 0,726 (Tabela II).

A coleta de amostras cogenéticas, nessa localidade, forneceu também, no caso dos vitrófiros, uma isócrona Rb-Sr que permitiu a primeira datação por este método, em rochas vulcânicas da Bacia do Paraná (Figura 3). A idade calculada foi de 118 ± 17 milhões de anos, com razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} de $0,722 \pm 0,001$. Quanto aos granófiros, de composição ainda mais ácida, acusaram a mesma idade Rb-Sr (118 ± 27 m.a.), com razão inicial $Sr^{87}/Sr^{86} = 0,725 \pm 0,003$.

Com relação ao método potássio-argônio, Amaral *et al.*, (1966), ao realizarem datações radiométricas em amostras provenientes de várias localidades ao longo da Bacia do Paraná, obtiveram um histograma de idades de basaltos e de diabásios com a moda principal em torno de 120 milhões de anos, enquanto Melfi (1966), utilizando testemunhos de sondagens da *Petrobrás*, registrou uma concentração de valores próxima a 130 milhões de anos.

Para a região de Santa Maria o cálculo, por meio de novas constantes, das idades, pelo método potássio-argônio, obtidas por Sartori *et al.*, (1975), em amostras dos diferentes derrames de lavas, bem como a redeterminação dos teores de potássio nas amostras 31 e 43, indicaram uma média de valores em torno de 120-125 milhões de anos (Tabela III), assemelhando-se aos resultados fornecidos pelo método rubídio-estrôncio neste trabalho.

Recentemente, Siedner & Mitchell (1976) reinterpretaram as datações, até então disponíveis, para as rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, concluindo que o vulcanismo ocorreu durante um período de curta duração, com idade de aproximadamente 121 milhões de anos para as rochas de Turvo (SC) e de São Paulo, analisadas por Amaral *et al.*, (1965). Por outro lado, segundo os referidos autores, amostras de basaltos, obtidas de sondagens ao longo

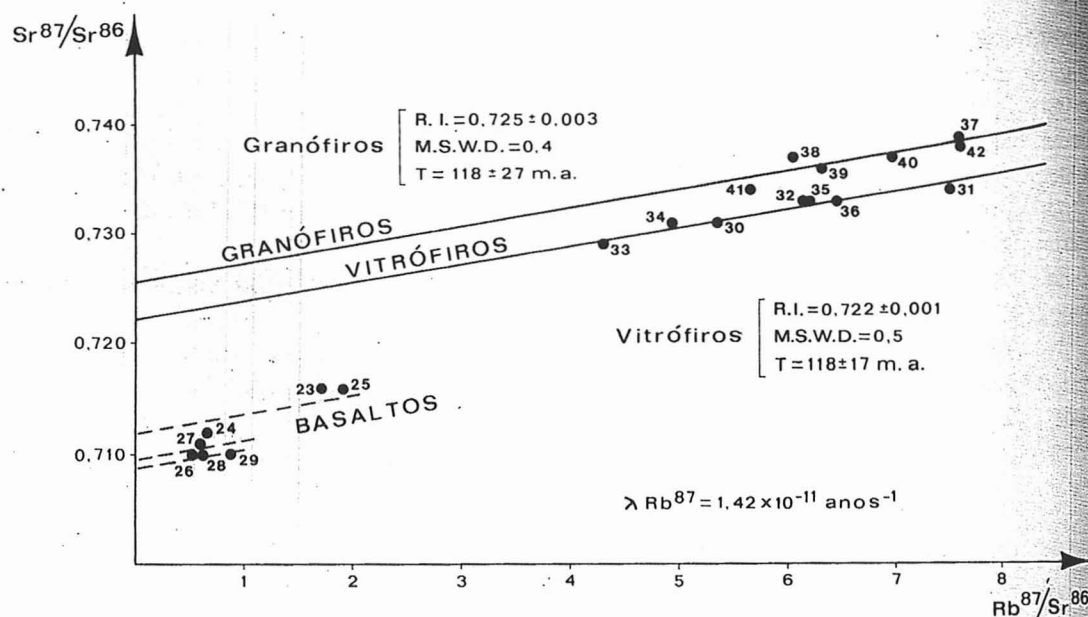


Fig. 3 — Diagrama isocrônico obtido com dados analíticos de amostras de rochas vulcânicas da região de Santa Maria, RS.

da parte central da Bacia do Paraná (Melfi, 1966), bem como de um grupo de diques localizados em Ubatuba, SP, (Amaral *et al.*, 1965), propiciaram pontos analíticos próximos da isócrona de 128 milhões de anos, o que corresponderia à época postulada para a separação entre a África e a América do Sul.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados relativos às razões iniciais $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$, agora disponíveis para as rochas vulcâ-

nicas da Bacia do Paraná, permitem elaborar novas hipóteses, e/ou conclusões de caráter petrogenético, relativas à evolução deste vulcanismo.

Sendo assim, fraturas relacionadas com a época de abertura do Atlântico Sul, durante o Cretáceo, permitiram a ascensão intermitente de magma basáltico toleítico, proveniente do manto superior. A superposição desses derrames de lavas totalizou grandes espessuras em determinadas regiões, como é o caso da

TABELA III

Idades Absolutas K-Ar de Rochas Vulcânicas de Santa Maria, RS (Segundo Sartori *et al.*, 1975, Modificado)

Amostra	N.º de campo	SPK	Material	Rocha	% K	$\text{Ar}^{40}_{\text{rad.}} \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g STP}$	% Ar atm.	Idade (m.a.)
23	I — 6	2351	Rocha Total	Basalto	2,2654	10,23	87,53	112 ± 31
25	I — 1	2370	Rocha Total	Basalto	2,2613	11,42	11,01	125 ± 9
27	II — 8	2350	Rocha Total	Basalto	0,9031	4,15	79,08	114 ± 14
31	IV — 1	2341	Rocha Total	Vitrófiro	2,2800	12,33	32,17	134 ± 7
34	IV — 4	2343	Rocha Total	Vitrófiro	3,9729	19,12	7,93	119 ± 3
43	V — 17	2338	Rocha Total	Granófiro	3,6925	22,84	5,17	152 ± 18

$$\lambda_{\text{B}} = 4,962 \times 10^{-16} \text{ anos}^{-1}; \lambda_{\text{K total}} = 0,581 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}; \text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36} = 295,5.$$

zona compreendida entre os arqueamentos do Rio Grande do Sul e de Ponta Grossa, no Paraná (Fig. 1). Nesta porção da Bacia, conforme Sartori & Maciel Filho (1978), o somatório dos derrames basálticos adquiriu a forma de uma grande lente biconvexa, com a espessura maior situada ao longo da linha tectônica Torres-Posadas (Leinz, 1949), a qual correspondeu a uma das principais áreas de atividade vulcânica. Os valores das razões iniciais Sr^{87}/Sr^{86} obtidos em rochas desta sequência, dão ênfase à procedência do magma a partir do manto superior, com provável contaminação maior de Sr^{87} radiogênico, em certas regiões, como é o caso do litoral norte de São Paulo, e do rebordo meridional do Planalto que atravessa o Rio Grande do Sul.

Na etapa seguinte, o calor do magma basáltico em ascensão mobilizou uma zona ácida, viscosa, da crosta inferior, obstruindo as fraturas que permitiam a subida do mesmo. A seguir, o magma superaquecido, originado na referida zona, e contendo pequena quantidade de material derivado do manto, elevou-se até a superfície, através dos canais já existentes, cobrindo uma grande parte das lavas básicas. Assim, enquanto os vitrófiros resultaram da ascensão de pequenos volumes desse magma, os granófiros representam volumes maiores de lavas ácidas, submetidas na superfície a condições de resfriamento mais lento.

Razões iniciais Sr^{87}/Sr^{86} de até $0,725 \pm 0,003$, obtidas em amostras dessas rochas ácidas, nitidamente contrastantes em relação aos valores registrados para as rochas básicas da mesma província vulcânica, constituem importante suporte em favor dessa hipótese.

Evidentemente, o gradiente térmico regional, na época da fusão do material da crosta inferior no Cretáceo, deve ter sido muito elevado, o que explicaria, como residuais, os valores encontrados ainda hoje na parte meridional da Bacia do Paraná (Butiá, RS) por Vitorello *et al.*, (1978), e que alcançam até $42^\circ\text{C}/\text{km}$.

SUMMARY

The volcanic rocks of the Paraná basin are piled up in various lava flows of different composition. The lower

ones are represented by tholeiitic basaltic rocks, with initial ratios Sr^{87}/Sr^{86} between 0.703-0.713, related with magmatic activities in the Upper Mantle, during the opening of the South Atlantic ocean. The upper lava flows exhibit, in certain places, acid composition and are represented by granophyres and vitrophyres, with initial ratios Sr^{87}/Sr^{86} even 0.725, derived, in so far as, by partial melting of the Lower Crust, in the course of Cretaceous.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. & REYNOLDS, J.H., (1966), Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 30 (2): 159-189.
- COMPSTON, W., McDougall, I. & HEIER, K.S., (1968), Geochemical Comparison of the Mesozoic basaltic rocks of Antarctica, South Africa, South America and Tasmania. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 32: 129-150.
- CORDANI, U.G. & VANDOROS, P., (1967), *Basaltic rocks of the Parana Basin*. In: Problems in Brazilian Gondwana Geology, Curitiba, 207-223.
- HALPERN, M., CORDANI, U.G. & BERENHOLC, M., (1974), Variation in strontium isotopic composition of Paraná basin volcanic rocks of Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 4 (4): 223-228.
- LEINZ, V., (1949), Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil *FFCL-USP Bol. C III, Geologia*, 5: 1-61.
- LEINZ, V., BARTORELLI, A., SADOWSKI, G.R. & ISOTTA, C.A.L., (1966), Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da Bacia do Paraná. *Soc. Bras. Geologia Bol.*, 15 (4): 79-91.
- LEINZ, V., BARTORELLI, A. & ISOTTA, C.A.L., (1968), Contribuição ao estudo do magmatismo basáltico mesozóico da Bacia do Paraná. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, 40 (Supl.): 167-181.
- McDOUGALL, I. & RÜEGG, N.R., (1966), Potassium-argon dates on the Serra Geral Formation of South America. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 30 (2): 191-195.
- MELFI, A., (1967), Potassium-argon ages for core samples of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31 (6): 1079-1089.
- MINIOLI, B., PONÇANO, W.L. & OLIVEIRA, S.M.B., (1971), Extensão geográfica do vulcanismo basáltico do Brasil meridional. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, 43 (2): 433-437.
- ROISEMBERG, A., (1974), *Argilo-minerais em rochas basálticas frescas: mineralogia dos estádios de intemperismo de rochas basálticas*. Dissertação de Mestrado. Inst. Geoc., UFRGS., Porto Alegre, 275 p.
- RÜEGG, N.R., (1969), *Aspectos geoquímicos, mineralógicos e petrográficos de rochas basálticas da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado. Fac. Fil. Ciênc. Letras, USP, São Paulo, 172 p.
- RÜEGG, N.R., (1970), A composição química das rochas basálticas da Bacia do Paraná (América do Sul) e de

- outras províncias basálticas gonduânicas equivalentes. *Memórias e Notícias*, 70: 3-62.
- RÜEGG, N.R. & DUTRA, C.V., (1970), Variação no conteúdo de alguns elementos traços em rochas basálticas da Bacia do Paraná. *S.B.G., An. XXIV. Congr. Bras. Geol.*: 219-226, Brasília.
- RÜEGG, N.R., (1975), *Modelos de variação química na província basáltica do Brasil meridional. Características de teor, distribuição geográfica e diferenciação*. Tese de Livre-Docência. Inst. Geoc., USP, São Paulo, 309 p.
- SCHNEIDER, A.W., (1964), Contribuição à petrologia dos derrames basálticos da Bacia do Paraná. *Univ. Rio Grande do Sul., Esc. de Eng., Av. 1*, 76 p.
- SARTORI, P.L., MACIEL FILHO, C.L. & MENEGOTTO, E., (1973), *Contribuição ao estudo das rochas basálticas e seus produtos de alteração. Região de Santa Maria, RS. Santa Maria, Dep. Geoc., CEB, UFSM*, 100p.
- SARTORI, P.L., MACIEL FILHO, C.L. & MENEGOTTO, E., (1975), Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS. *Rev. Bras. Geoc.*, 5 (3): 141-159.
- SARTORI, P.L. & MACIEL FILHO, C.L., (1976), Petrografia da seqüência vulcânica da Formação Serra Geral no rebordo ocidental do Planalto Meridional, RS. *S.B.G. An. XXIX. Congr. Bras. Geol.* (no prelo), Ouro Preto.
- SARTORI, P.L. & MACIEL FILHO, C.L., (1978), Importância e significado dos derrames granófiros no vulcanismo da Bacia do Paraná. *XXX Congr. Bras. Geol., Bol. n.º 1*, p. 90, Recife.
- SIEDNER, G. & MITCHELL, J.G., (1976), Episodic mesozoic volcanism in Namibia and Brazil: a K-Ar isochron study bearing in the opening of the South Atlantic. *Earth and Planetary Sci. Let.*, 30: 292-302.
- VANDOROS, P., RÜEGG, N.R. & CORDANI, U.G., (1966), On potassium-argon age measurements of basaltic rocks from Southern Brazil. *Earth and Planetary Sci. Let.*, 1 (6): 444-452.
- VITORELLO, I., HAMZA, V. M., POLLACK, H. N. & ARAUJO, R. L. C., (1978), Geothermal investigations in Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 8 (2): 71-87.