

CONTRIBUIÇÃO DA GEOQUÍMICA DAS TERRAS RARAS À CARACTERIZAÇÃO DOS CARBONATITOS DA FAZENDA VARELA, LAGES, SC

LUIZ FERNANDO SCHEIBE* e MILTON LUIZ LAQUINTINIE FORMOSO**

ABSTRACT As a part of a petrological and geochemical study the distribution of the rare earth elements in Fazenda Varela carbonatites was discussed. These carbonatites were the first described in Lages Dome, Santa Catarina State, Brazil. They intruded and fenitized sedimentites of the Tubarão Group; the fenitizing fluids are dominantly potassic.

The main constituents of the carbonatites are ankerite, barite, K feldspar, and synchisite; secondary apatite is rare.

High Ba/Sr, Nb/Ta, and Th/U ratios are conspicuous.

The concentration of the rare earth elements is very high relative to the concentration in chondrites, the mean in the earth crust and even in most carbonatites; normalized distribution curves show higher concentration of the light lanthanides (Ce group) in comparison with the heavy lanthanides (Y group).

In addition to other petrological and geochemical features, high absolute and relative concentrations of the light lanthanides indicate that these carbonatites represent the last phases of carbonatitic fractionation and reinforce the possibility of occurrence of carbonatites from the early phases of crystallization at the Lages alkaline district.

INTRODUÇÃO A distribuição das terras raras em amostras de carbonatitos da Fazenda Varela foi estudada como parte de um estudo petrológico e geoquímico da ocorrência, a primeira descrita no Domo de Lages, em Santa Catarina.

Estudos preliminares (Scheibe, 1974 e 1976) revelaram teores elevados de terras raras do grupo do Ce, além de Ba, Sr, Nb, P e Th, considerado este como responsável por índices significativos de radioatividade na área de ocorrência dessas rochas. A presença de pelo menos um fluorcarbonato de terras raras, a synchisita, além do caráter ankerítico do carbonato dominante, levou esse autor a classificar a rocha como um "ankerita beforsito do tipo a carbonatos de terras raras" e a aventar a hipótese de que esses carbonatitos representariam o estágio final de fracionamento carbonatítico do complexo alcalino de Lages.

O presente estudo foi realizado visando a acrescentar novos dados sobre o comportamento geoquímico dessas rochas bem como para testar aquela hipótese, já que a comprovação da existência, ali, de um processo carbonatítico em fase final evidenciaria condições favoráveis à formação dos carbonatitos que representam os estádios anteriores e, em especial, os tipos a apatita-magnetita, possivelmente mais interessantes do ponto de vista econômico.

GEOLOGIA A Fazenda Varela está situada na porção centro-oeste do Domo de Lages, cerca de 27 km ao norte desta cidade, no Estado de Santa Catarina, Brasil (Fig. 1).

Esse domo está relacionado à intrusão de rochas alcalinas, com idade de 65 m.a. (Amaral *et al.*, 1967), cujo estudo petrográfico tem apontado uma grande homogeneidade na composição qualitativa: seriam todas pertencentes à família dos nefelina sienitos, à exceção de poucos diques de olivina melilitos (Barbosa, 1933; Scorza, 1965; Lindstaedt, 1972; e Ferreira e Vinha, *in* Szubert e Vergara, 1975).

Lindstaedt (*op. cit.*) determinou o coeficiente apgáitico de amostras de rochas da região, classificando-as como do tipo miasquítico.

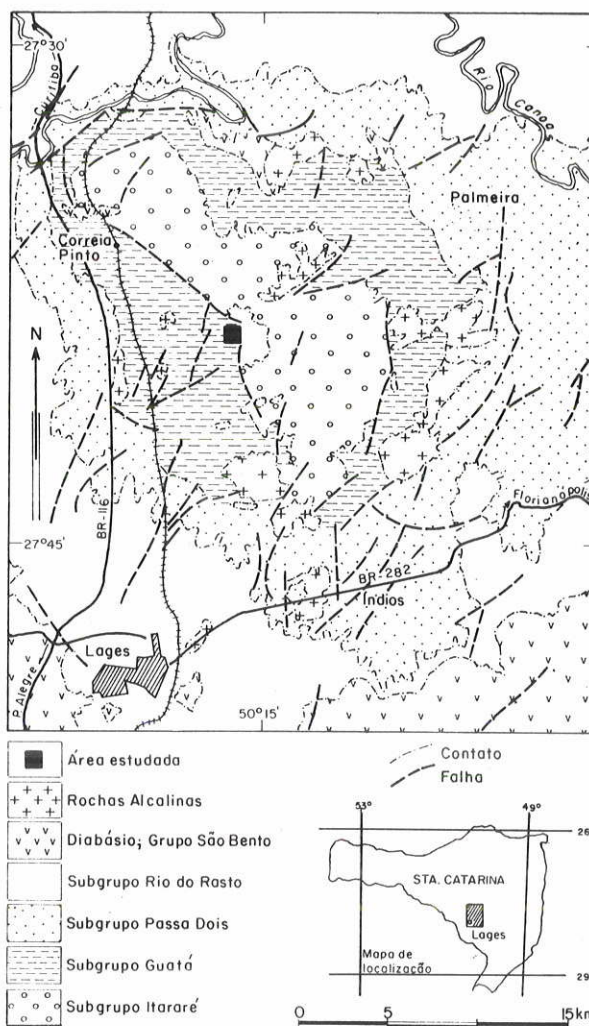


Figura 1 - Geologia do domo de Lages, SC (base: Guazelli e Feijó, Petrobrás, 1970)

*Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

**Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS

Scorza (*op. cit.*) descreveu os olivina melilititos como rochas melanocráticas, porfíricas, constituídas por melilita, olivina, augita, nefelina, biotita e magnetita, representando os únicos termos básico-alcalinos até então conhecidos na região de Lages.

Em recentes trabalhos de pesquisa nessa região, Scheibe (1978) identificou um kimberlito cortando a seqüência sedimentar gonduânica, na porção sul da área do Domo, descrevendo-o como uma rocha de estrutura brechóide, constituída por uma matriz de coloração amarelo-esverdeada, muito alterada, na qual se destacam fragmentos de rochas e abundantes fenocristais de olivina (em graus diversos de serpentinização), de granada, de piroxênio, de flogopita, de magnetita e de ilmenita.

A ocorrência de carbonatitos da Fazenda Varela foi estudada em detalhe, como parte de um trabalho mais amplo (Scheibe, 1979); foi possível determinar que essas rochas são intrusivas nos sedimentos do Grupo Tubarão, aos quais afetaram com graus variáveis de intensidade, até a formação de fenitos constituídos quase exclusivamente por feldspato potássico.

Os carbonatitos, os fenitos associados e seus produtos de alteração apresentam níveis de radioatividade acima dos de outras rochas da região (Aumond, 1977) e têm sua ocorrência delimitada por falhamentos pertencentes aos sistemas regionais N-S e NE-SW (Fig. 2). A área principal de afloramento tem um diâmetro médio da ordem de 600 m; uma ocorrência subordinada, logo a sudeste, está marcada por crostas ferralíticas com radioatividade acima de 1050 cps (FV-22) e se encontra profundamente alterada, constatando-se a presença de esmectitas, mesmo a profundidades superiores a 100 m, em sondagem ali efetuada (LG-2, Fig. 2). Alguns blocos de magnetita (FV-37, FV-50, Fig. 2) foram também encontrados.

Outros fenômenos eruptivos, possivelmente associados ao processo carbonatítico, estão documentados em áreas próximas pela presença de brechas de chaminé (FV-26) e de urtitos feldspáticos (FV-30).

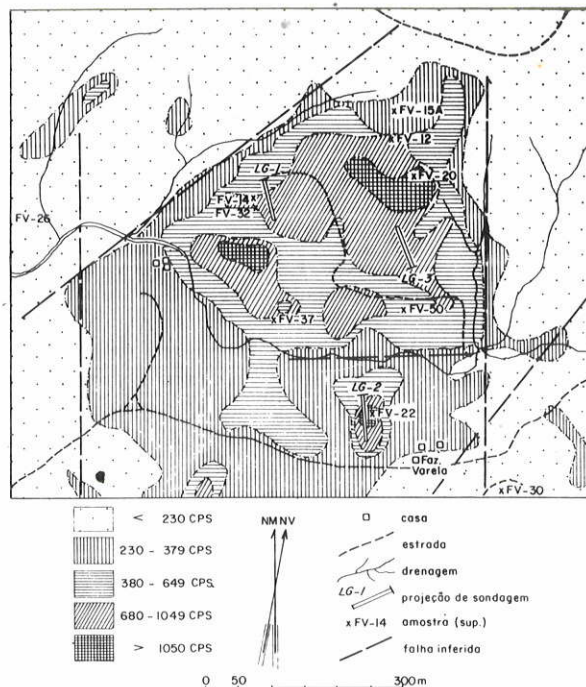


Figura 2 - Planta cintilométrica e de localização das amostras (Fazenda Varela, Lages, SC)

METODOLOGIA Amostras de carbonatitos e de rochas associadas, de superfície e de sondagens, foram estudadas ao microscópio petrográfico e por difração de raios X, e submetidas a análises por fluorescência de raios X, espectrografia óptica e via úmida.

No Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás, em Belo Horizonte, sob a responsabilidade do Dr. Clécio Campi Murta, foram executadas análises por fluorescência de raios X abrangendo quinze elementos, maiores, menores e traços. A sensibilidade analítica situou-se ao redor de 0,01% para os óxidos, com precisão equivalente (Anexos I e II).

Anexo I - Elementos maiores e menores dos carbonatitos e rochas associadas da Fazenda Varela, Lages, SC (em %)

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SO ₃	P. F.
FV-15-A	63,8	12,2	3,60	2,29	8,7	1,8	0,95	0,38	0,03	<0,01	6,3	0,28	0,4	11,53
LG-3-3	36,9	10,7	1,71	8,04	14,4	3,1	1,1	0,63	0,07	<0,01	9,1	0,60	2,6	16,3
LG-3-7	32,8	9,5	2,23	9,53	15,7	3,4	0,84	1,2	0,23	<0,01	8,3	0,29	1,8	19,93
LG-3-9	48,3	13,5	6,47	—	10,7	0,82	1,2	0,96	0,07	0,5	11,3	0,48	0,14	10,59
LG-1-14	52,9	24,8	2,95	—	5,8	1,2	0,58	0,34	0,02	0,2	6,1	0,02	0,06	13,39
LG-2-7	52,3	20,7	4,71	—	8,4	0,90	0,83	0,51	0,23	1,0	6,3	0,34	0,6	13,5
FV-12	1,2	<0,01	4,58	6,89	23,7	3,8	1,9	0,09	0,04	1,0	0,14	20,6	13,9	28,68
FV-14	2,5	<0,01	6,18	4,42	25,9	4,7	2,4	0,06	0,02	<0,01	0,03	16,9	10,4	31,88
FV-32	1,4	0,52	8,18	5,18	40,0	6,4	3,0	0,03	0,47	0,2	0,27	1,13	2,6	38,88
LG-1-2	1,5	<0,01	14,1	0,07	30,3	3,9	2,6	0,05	0,19	0,2	0,11	10,0	6,3	31,88
LG-1-10	9,0	2,7	2,13	10,80	31,2	5,6	3,1	0,42	0,12	0,5	2,8	1,94	3,0	33,56
LG-1-12	27,7	7,4	1,07	9,39	21,5	4,3	1,7	0,31	1,1	<0,01	6,7	0,35	0,9	24,22
LG-3-5	0,3	0,24	1,18	3,39	47,3	1,0	0,9	0,01	0,05	<0,01	0,08	2,2	3,0	38,68
LG-3-8	2,9	0,45	4,58	8,77	30,0	5,1	3,1	0,23	0,03	<0,01	0,82	11,7	7,4	34,42
LG-3-13	6,2	1,3	2,55	9,48	22,1	4,0	1,9	0,09	0,03	0,7	1,7	18,8	11,1	28,13
LG-3-18	0,76	<0,01	1,71	6,94	17,6	3,5	1,6	0,10	0,02	<0,01	0,18	20,1	17,1	24,14
FV-20	3,1	3,9	33,19	—	0,2	<0,01	3,4	0,14	0,40	0,7	0,22	36,4	16,9	10,12
FV-22	6,2	2,3	27,75	—	0,2	<0,01	27,1	0,13	0,73	0,3	0,26	17,1	0,35	14,84
FV-26	48,1	12,1	4,34	5,62	8,5	2,9	0,54	1,9	0,21	7,3	2,3	0,09	0,14	10,89
FV-30	51,5	22,8	4,09	—	1,9	0,10	0,54	0,52	0,05	11,4	8,7	0,25	1,0	1,79

Anexo II – Elementos menores e traços dos carbonatos e rochas associadas da Fazenda Varela, Lages, SC (em ppm)

Método analítico	Fluorescência de raios X						Espectrografia óptica						Fluorimetria			
Elem. Am.	Ti	Mn	Ba	Sr	P	Nb	Th*	Zr	Cu	Mo	Pb	Cr	Ga	Ni	V	U
FV-15-A	2 280	7 315	2 500	1 100	131	182	84	400	<5	ND	ND	Tr	19	ND	170	1
LG-3-3	3 780	8 740	5 400	2 300	305	230	93	560	14	46	50	80	23	20	265	3
LG-3-7	7 200	6 470	2 600	3 400	1 004	440	<30	820	182	14	50	165	33	53	560	1
LG-3-9	5 760	9 240	4 300	400	305	356	<30	400	15	11	ND	ND	18	ND	125	4
LG-1-14	2 040	4 470	200	600	87	168	<30	560	4	ND	ND	ND	16	ND	<10	4
LG-2-7	3 060	6 390	3 000	4 700	1 007	217	37	247	48	<10	50	ND	20	ND	97	2
FV-12	540	14 630	184 500	2 500	175	<80	523	<10	10	ND	ND	<10	ND	ND	155	2
FV-14	360	18 480	151 400	2 900	87	<80	723	66	<5	<10	ND	<10	ND	ND	124	3
FV-32	180	23 100	10 100	2 500	2 051	503	206	<10	15	<10	ND	<10	ND	ND	56	17
LG-1-2	300	20 020	89 600	2 700	829	<80	502	84	5	26	ND	135	ND	12	280	17
LG-1-10	2 520	23 870	17 400	2 500	524	84	328	<10	Tr	ND	ND	<10	12	10	200	2
LG-1-12	1 860	13 090	3 100	3 600	4 800	280	126	500	4	<10	ND	<10	ND	<10	124	8
LG-3-5	60	6 930	19 700	2 400	218	<80	123	ND	6	ND	ND	ND	ND	<10	50	3
LG-3-8	1 380	23 870	104 800	2 700	131	140	<30	74	5	<10	ND	<10	ND	ND	212	1
LG-3-13	540	14 630	168 400	2 800	131	168	272	25	12	94	ND	<10	ND	<10	270	4
LG-3-18	600	12 320	260 600	2 200	87	<80	262	30	<5	ND	ND	80	ND	ND	350	2
FV-20	840	26 180	326 000	2 300	1 740	<80	6 200	570	19	49	ND	162	28	22	155	28
FV-22	780	208 670	153 100	1 600	3 185	<80	210	690	48	107	100	190	46	73	140	18
FV-26	11 400	4 160	800	900	916	<80	<30	388	160	ND	ND	80	28	40	380	1
FV-30	3 120	4 160	2 200	3 700	218	182	<30	535	8	11	50	ND	56	ND	120	7
FV-37	29 400	5 930	—	—	218	—	<30	70	5	20	70	800	70	64	<1 000	1

Analistas: IPR-Nuclebrás (*Geosol) – fluorescência de raios X; Instituto de Geociências da UFRGS – espectrografia óptica; Geosol – fluorimetria

Nos laboratórios da Geosol, também em Belo Horizonte, o Dr. Cláudio Vieira Dutra determinou os teores de Th por fluorescência de raios X e de U por fluorimetria, com sensibilidade para 30 e para 1 ppm, respectivamente (Anexo II).

Análises por espectrografia óptica de emissão foram executadas no Instituto de Geociências da UFRGS, pela analista Dione Alves Pintaúde, em amostras idênticas às enviadas ao IPR e à Geosol, para os seguintes elementos, com respectivos limites de sensibilidade, em ppm: Zr – 10; Cu – 5; Mo – 10; Pb – 10; Cr – 10; Ga – 10; Ni – 10; V – 10 (Anexo II).

Os teores de FeO e de perda ao fogo foram determinados também no Instituto de Geociências da UFRGS (Laboratório de Geoquímica), pela analista Jacinta Enzweiler, por via úmida e calcinação até peso constante, respectivamente (Anexo I).

As análises da distribuição de terras raras e Y, em cinco amostras de carbonatitos, executadas por via úmida nos laboratórios da Molybdenum Corporation, nos Estados Unidos (Tab. 2), foram obtidas graças à intervenção do Dr. Anthony Mariano que visitou a ocorrência em agosto de 1978.

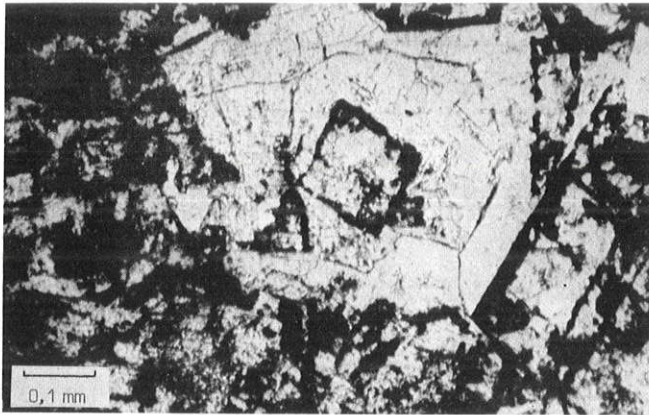
PETROGRAFIA A composição normativa dos carbonatitos (carbonatos totais > 50%) e de algumas rochas associadas foi calculada com base nos resultados de análise química e com controle petrográfico, adaptando-se a metodologia proposta por Niggli (Hutchison, 1974) às peculiaridades desse grupo de rochas (Tab. 1).

O estudo de lâminas delgadas dos carbonatitos mostra diversas fases de cristalização de carbonatos: de romboedros perfeitos mostrando zonação, mais turvos no centro e com bordos progressivamente mais lípidos, a cristais

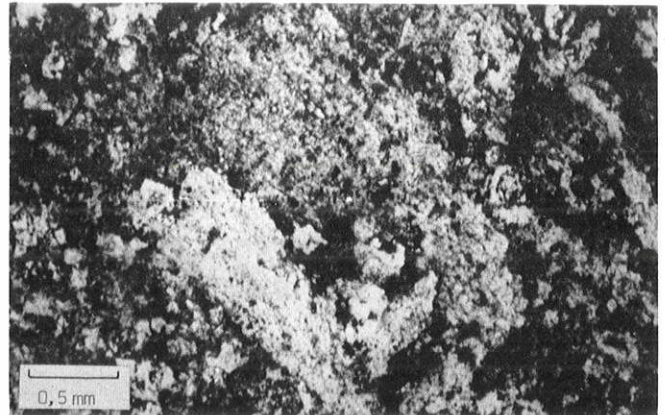
Tabela 1 – Composição normativa aproximada de brechas feldspáticas, amostras alteradas e carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC

Amostra	Carb.	Feld. K.	Qz	Barita	Py	Hem.	Ap.	Arg. Min.
Brechas feldspáticas								
FV-15-A	23,6	32,3	26,7	—	—	2,2	—	15,2
LG-3-3	42,5	51,6	1,0	—	2,0	1,1	—	1,8
LG-3-7	49,4	46,2	0,5	0,3	1,2	1,4	—	1,0
LG-3-9	23,7	64,1	3,2	0,7	—	4,3	—	4,0
Amostras alteradas								
LG-1-14	13,1	30,2	—	0,5	—	1,7	—	54,5
LG-2-7	18,3	33,3	—	0,9	—	2,9	—	44,6
Carbonatitos								
FV-12	63,2	0,7	0,5	31,3	2,0	2,3	—	—
FV-14	67,7	0,3	2,0	25,7	1,3	3,0	—	—
FV-32	89,8	1,4	0,2	1,7	1,5	4,6	0,8	—
LG-1-2	72,2	0,6	1,0	15,2	0,8	9,7	0,5	—
LG-1-10	79,6	14,3	—	2,9	1,7	1,3	0,2	—
LG-1-12	60,4	35,6	—	0,5	0,3	0,7	1,2	—
LG-3-5	93,8	0,5	—	3,5	1,6	0,8	—	—
LG-3-8	74,7	3,9	—	17,8	1,0	2,6	—	—
LG-3-13	60,7	8,2	—	28,6	1,0	1,5	—	—
LG-3-18	51,7	1,0	—	44,2	2,0	1,1	—	—

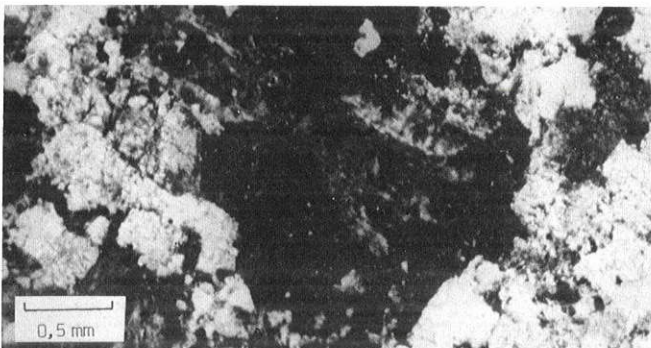
neoformados, englobando barita e feldspatos (Microfoto 1); outra fase é constituída por uma massa homogênea, sem bordos de grãos definidos, em forma de plumas (Microfoto 2). Nas amostras mais escuras, oxidadas, nota-se um aumento na quantidade de inclusões microscópicas de goethita na parte central dos romboedros, indicando exsolução. Testes de corrosão efetuados em seções polidas revelaram intensa zonação e, em alguns casos, intercrescimentos irregulares de calcita e ankerita (ou dolomita). Com os dados



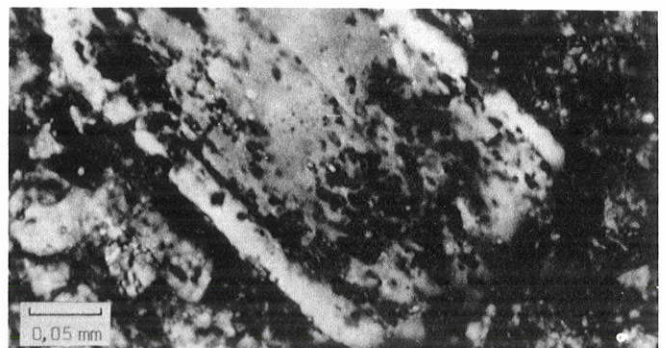
Microfoto 1 – Três gerações de carbonatos, do centro para as bordas, com exsolução de goethita nas fases mais antigas. Polariz. //



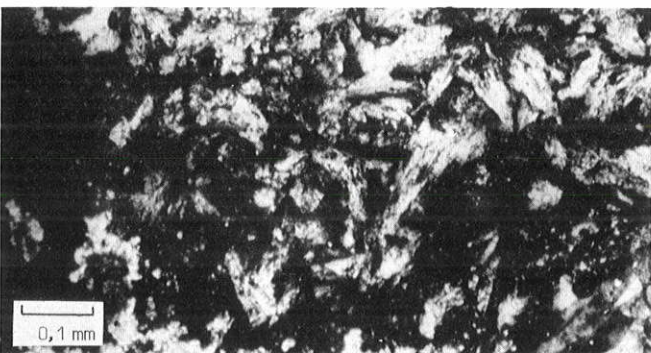
Microfoto 2 – Carbonatos em forma de plumas no carbonatito. Polariz. //



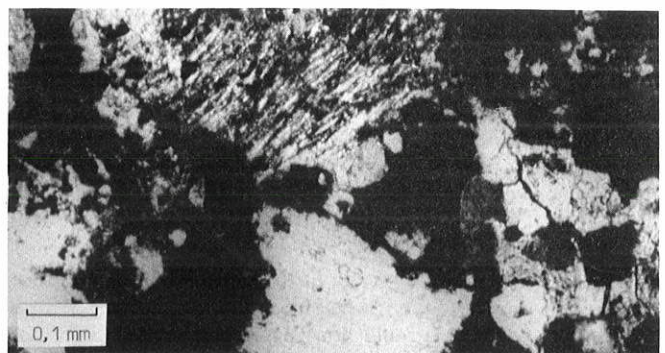
Microfoto 3 – Macla complexa semelhante à lei Baveno em feldspato do carbonatito. Polariz. X



Microfoto 4 – Cristal zonado de feldspato potássico, com linha de inclusões marcando a superfície antiga do grão. Polariz. X



Microfoto 5 – Apatita microcristalina, fibrorradiada, em fratura do carbonatito. Polariz. X



Microfoto 6 – Feixe de synchisita com carbonatos e goethita. No canto inferior direito, com relevo alto, barita. Polariz. X



Microfoto 7 – Pirocloro, euédrico, corroído pelo quartzo, em carbonatito. Polariz. //

da análise química, foram calculados os teores de carbonatos de cálcio, de ferro + manganês e de magnésio para cada amostra. Considerando a fase carbonatada de seis amostras frescas, a composição média seria a de uma ankerita a 2,8 Ca: 1 Fe + Mn: 0,7 Mg.

O feldspato das brechas é essencialmente potássico, sendo o Na virtualmente ausente nessas rochas, cujos caracteres texturais e mineralógicos indicam serem as mesmas resultantes de um processo de fenitização sobre arenitos quartzo-feldspáticos. Nos carbonatitos, os feldspatos estão, via de regra, corroídos e apresentam maclas complexas (Microfoto 3) ou feições de zonação, indicando processos de desenvolvimento em mais de um estágio (Microfoto 4).

O quartzo, presente em maior proporção em FV-15-A, é nitidamente residual, atestando a origem sedimentar da rocha que sofreu o processo de fenitização.

A barita é componente essencial de alguns carbonatitos, nos quais forma grãos arredondados de 0,1 a 0,5 mm de diâmetro. É nitidamente posterior aos carbonatos de primeira geração, aos quais corrói, assumindo por vezes aspecto amebóide.

A pirita tem presença praticamente constante nos carbonatitos e brechas feldspáticas, e é o único sulfeto que foi identificado.

A hematita normativa apresenta teores maiores nos carbonatitos mais alterados, em que se materializa na forma de goethita nas clivagens dos carbonatos. Em brechas feldspáticas, aparece associada aos processos de fenitização, intercrescendo com os feldspatos.

A apatita só foi constatada em poucas amostras, ocorrendo sob a forma de massa micro a criptocristalina, incolor a levemente amarelada, com formas aciculares e radiais, preenchendo fraturas (Microfoto 5).

A presença de argilo-minerais nas brechas deve-se à alteração dos feldspatos. Nas amostras mais alteradas, no entanto, não foi possível determinar a composição mineralógica original, constatando-se, por difração de raios X, a presença de feldspato potássico, carbonatos, cloritas e essectitas.

A synchisita, embora não conste da composição normativa calculada, é ubíqua nos carbonatitos, em teores da ordem de 3%, ocorrendo também nas brechas em que a fase carbonatada é mais expressiva. Macroscopicamente, esse mineral aparece como pontuações amareladas, de baixa dureza, nas quais se distingue o hábito radiado. Ao microscópio, ocorre como feixes de agregados fibrosos, radiados ou não, de cor amarelo-turva, com refringência alta e birrefringência pouco mais baixa que a dos carbonatos romboédricos, extinção reta e alongação negativa (Microfoto 6). Sua ocorrência, de preferência junto a contatos entre feldspato neoformado e carbonatos, ou entre dois carbonatos romboédricos de fases distintas, com acentuada exsolução de óxidos de ferro hidratados, sugere que se trata de um mineral tardio, concentrando terras raras originalmente contidas naqueles carbonatos.

Além dos minerais citados acima, foram identificados em algumas lâminas o pirocloro, com forma octaédrica e intensamente corroído por quartzo (Microfoto 7), e a monazita, em amostra contendo apatita secundária.

As ocorrências de magnetita são constituídas por blocos centimétricos a decimétricos de magnetita quase pura, intemperizada, ocasionalmente intercrescida com material feldspático, alterado, e com lamelas até centimétricas de mineral micáceo, também alterado. Em seção polida, observa-se exsolução de finas lâminas de ilmenita, que também

assume formas irregulares, englobando magnetita, em outros pontos do cristal; observa-se também intensa substituição da magnetita por hematita, de preferência ao longo das direções cristalográficas daquela. O teor de TiO_2 (uma amostra) é de 4,9% enquanto o de P_2O_5 não ultrapassa 0,5%.

GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS Fenitização

McKie (1966) concluiu que o padrão geral dos processos de fenitização seria o de um metassomatismo sódico-férrico. Rock (1976), num estudo comparativo entre diversas localidades, sugere que fluidos mais ricos em sódio, responsáveis pelos processos "clássicos" de fenitização, seriam associados a magmas foiaíticos ou ijolíticos enquanto fluidos predominantemente potássicos seriam mais provavelmente associados a magmas carbonatíticos numa fase posterior do processo. No caso da Fazenda Varela, fenitos essencialmente potássicos, em que mesmo a aegirina está ausente, indicam que o metassomatismo teve caráter potássico, devendo estar diretamente associado ao processo que deu origem aos carbonatitos.

Composição dos carbonatos

Heinrich (1966) considera que a ankerita é o terceiro entre os carbonatos, em abundância, nos carbonatitos, notando que muitos carbonatos identificados macroscopicamente como siderita, em função de sua cor escura, são constituídos principalmente por ankerita manganésifera, enriquecida secundariamente por óxidos de ferro e manganês. A situação dos pontos representativos de amostras da Fazenda Varela em um diagrama triangular (Scheibe, 1979) indica para estes uma dominância dos termos a ferro + manganês em relação aos termos magnesianos, apontando claramente para uma composição ankerítica, eventualmente coexistindo com outras fases de carbonatos romboédricos, em especial a calcita. Merece consideração, também, o teor relativamente elevado de manganês presente nesses carbonatitos e que alcança, em média, 2,22% de MnO.

Relação Ba/Sr A Fig. 3 mostra a variação dos teores de Ba e Sr analisados, indicando que a relação Ba/Sr é maior que 1 para os carbonatitos, exceto LG-1-12. Verwoerd (1966) considera um alto teor em Sr distintivo entre os carbonatitos e os calcários não carbonatíticos, nos quais seria negligenciável; observa ainda que, em geral, amostras diferentes de uma mesma ocorrência têm conteúdo similar de Sr mas grande variação nos teores de Ba, fato que foi também observado nos carbonatitos da Fazenda Varela, em que o Sr provavelmente substitui o Ca dos carbonatos enquanto o Ba forma um mineral independente.

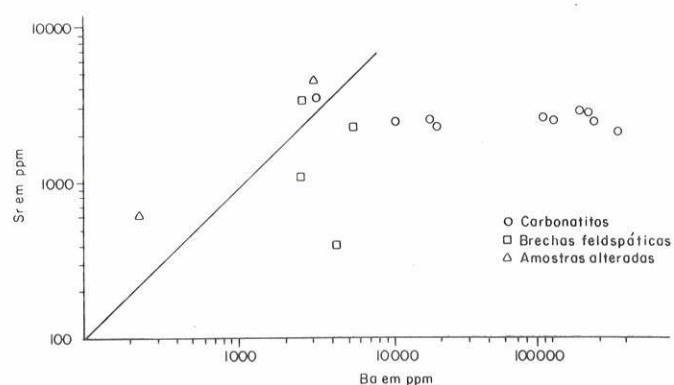


Figura 3 — Variação dos teores de bário e estrôncio em rochas da Fazenda Varela

Apatita secundária Heinrich (1966) considera a presença de abundante apatita como uma feição altamente característica de quase todos os carbonatitos, especialmente os iniciais, da maioria dos complexos. Os estudos, de modo geral, dão maior ênfase à apatita bem cristalizada, frequentemente corroída, que ocorre junto aos sovitos formados nas fases iniciais dos complexos (v.g. Prins, 1973).

No caso da Fazenda Varela, as ocorrências de apatita têm caráter nitidamente secundário em relação ao carbonatito hospedeiro e poderiam representar cristalização em fraturas, de material proveniente de remobilização, em profundidade, de rochas mais ricas em fosfatos.

Magnetita A magnetita dos carbonatitos é geralmente descrita como titanífera, tendendo a ocorrer disseminada na rocha ou, quando forma massas isoladas, em estreita associação com apatita, como na foscorigita ou nos filões a apatita-magnetita de Anitápolis (SC). Nesses casos, a ocorrência é geralmente considerada como inicial nos complexos. Nas amostras da Fazenda Varela, não foi constatada associação com apatita, e o baixo teor de P_2O_5 corrobora essa observação.

Relação Nb/Ta O nióbio apresenta, nos carbonatitos, um pronunciado enriquecimento em relação ao tântalo, seu acompanhante habitual na maioria das outras rochas ígneas (Pecora, 1956). Enquanto os teores de tântalo das amostras estudadas se situam todos abaixo da sensibilidade analítica (daí não constarem do Anexo II), o nióbio apresenta teores de até 500 ppm e, em amostra com pirocloro, de 2400 ppm (análise parcial da Geosol), valores que confirmam uma alta relação Nb/Ta. A média dos teores de nióbio nos carbonatitos da Fazenda Varela, no entanto, situa-se bem abaixo da abundância média apresentada por Gold (1963), que seria da ordem de 2000 ppm; isso pode ser devido a uma cristalização mais tardia dos termos estudados já que o pirocloro é geralmente mais abundante nas fases iniciais do fracionamento carbonatítico.

Tório e urânio O tório aparece com concentração relativamente elevada nos carbonatitos estudados, nos quais provavelmente substitui terras raras na synchisita, existindo correlação positiva entre esses elementos (Scheibe e Formoso, 1978). A relação Th/U é em média superior a 100, o que se ajusta ao comportamento usual nos carbonatitos, segundo Heinrich (1966), que observa também que, em alguns casos, pelo menos o urânio tenderia a ficar fixado nos carbonatitos mais antigos enquanto o tório se concentraria principalmente nas fases finais do processo. Nas brechas feldspáticas, os teores de tório são persistentemente baixos, exceto em algumas daquelas em que é maior a influência do processo carbonatítico propriamente dito. A maior concentração de tório foi observada em amostra de material de alteração de carbonatito, justamente coletada em função do elevado nível de radioatividade medido junto à mesma no campo.

GEOQUÍMICA DAS TERRAS RARAS E ÍTRIO O comportamento das terras raras no ciclo petrogenético vem sendo cada vez mais intensivamente estudado também, e em função não só de sua crescente importância econômica como principalmente, pelo aporte de informações que podem trazer para a compreensão dos problemas petrológicos. Dispersos, ocorrendo em praticamente todos os materiais — terrestres, meteoríticos e lunares —, esses elementos for-

mam um grupo homogêneo em suas propriedades químicas mas com um comportamento geoquímico diferenciado em função da *contração dos lantanídeos* (raios iônicos: La = 1,14 Å; Lu = 0,85 Å). Dessa forma, a interpretação dos fracionamentos é relativamente simples, sendo a conclusão preliminar (Taylor, 1965) que os magmas residuais deverão enriquecer-se nos elementos maiores do grupo, as terras raras do Grupo do Ce ou “leves” (do La ao Eu), em contração às terras raras do Grupo do Y ou “pesadas” (do Gd ao Lu).

Ao lado do crescente aprimoramento das técnicas instrumentais de análise, grande impulso nos conhecimentos sobre o comportamento desses elementos foi dado pela utilização da *normalização* dos teores nas rochas e minerais em relação aos teores nos condritos (Haskin *et al.*, 1966). O que se verifica é que, quando as abundâncias de terras raras em outros materiais naturais são divididas pelas abundâncias nos condritos e locadas contra o raio iônico das terras raras, os valores resultantes exibem tipicamente uma variação contínua e regular com o número atômico, eliminando-se os efeitos da regra de Oddo-Harkins, por exemplo. Essas curvas testemunhariam, portanto, os efeitos cumulativos de todos os fracionamentos sofridos pelo material desde sua origem, como *condensado primordial*, e sua regularidade, mesmo nas amostras de materiais mais diferenciados, demonstraria a coerência química desses elementos. Estudos recentes de Evensen *et al.* (1978) evidenciaram a existência de fracionamento das terras raras mesmo nos condritos, o que seria indicativo dos processos ocorrentes nos estádios iniciais de formação da matéria sólida no sistema solar (o condensado primordial), mas não invalida a metodologia proposta por Haskin (*op. cit.*).

Os resultados das análises de terras raras em amostras de carbonatitos da Fazenda Varela são dados na Tab. 2, e curvas normalizadas em relação aos condritos (valores de Haskin, *op. cit.*) são apresentadas na Fig. 4. Os dados para o ítrio foram colocados junto aos do hólmio já que seus raios iônicos são iguais.

Tabela 2 — Distribuição das terras raras e ítrio em carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC (em ppm)

Elemento	Amostras				
	LG-1-2	LG-1-10	LG-3-5	LG-3-8	FV-32
La	16 883	853	2 115	503	3 266
Ce	19 457	1 612	4 152	1 091	5 959
Pr	1 324	166	389	141	571
Nd	3 430	626	1 492	437	1 981
Sm	233	30	164	34	216
Eu	78	24	48	11	23
Gd	226	94	119	31	170
Tb	36	9	9	4	17
Dy	105	35	22	11	56
Ho	9	6	3	1	8
Er	35	14	4	3	17
Tm	3	2	1	0,3	2
Yb	14	7	3	1	8
LuNão analisado.....				
Y	535	177	56	28	239
ΣTR + Y	42 360	3 655	8 577	2 296,3	12 533

Analista: Molycorp, EUA (Os valores em ppm foram obtidos por conversão da porcentagem em óxidos e, portanto, são aproximados)

Os carbonatitos caracterizam-se por conter maior abundância de terras raras que quaisquer outras rochas conhecidas (Stanton, 1972), e a comparação dos teores totais de terras raras + ítrio das amostras da Fazenda Varela (Tab. 2) com a média da crosta (pouco menor que 200 ppm, segundo Taylor, 1964), e em especial com a média nos condritos (da ordem de 20 ppm, segundo Haskin, *op. cit.*), demonstra a extensão desse enriquecimento para o caso em estudo.

Nos carbonatitos da Fazenda Varela é grande também o enriquecimento nas terras raras mais leves (La-Eu) em relação às pesadas (Gd-Lu, + Y) (Tab. 2). Nas curvas normalizadas em relação aos condritos (Fig. 4), nota-se que esse enriquecimento segue uma tendência regular, sendo maior para os termos mais leves e muito pequeno para os termos pesados.

Um aumento da concentração absoluta de lantanídeos e também na acumulação relativa dos lantanídeos leves na seqüência condritos-basaltos toleíticos-basalto intermediário-basaltos alcalinos e olivina-nefelina basanita foi interpretado por Herrmann (1968) como tornando provável

uma inter-relação genética nessa seqüência de tipos de rochas.

Gerasimovskiy *et al.* (1972) também constataram, para as rochas extrusivas dos *rifts* do leste africano, o enriquecimento no teor absoluto de terras raras e no relativo dos lantanídeos mais leves das rochas melanocráticas, mais antigas, às leucocráticas, mais jovens, interpretando esse tipo de distribuição como indicativo de uma formação por diferenciação durante a cristalização. Os maiores teores de terras raras foram encontrados nos carbonatitos extrusivos que têm relação com as rochas alcalinas.

Os trabalhos de Mitchell e Brunfelt (1975), de Eby (1975) e de Cullers e Medaris, Jr. (1977) muito contribuíram para uma melhor visualização da distribuição das terras raras e ítrio nos carbonatitos e rochas associadas. Mitchell e Brunfelt (*op. cit.*) demonstraram que a abundância das terras raras aumenta na ordem urtito < ijolito < sovito fino < sovito grosso < silico-carbonatito bem como na ordem damtjermito < vibetoito-rauhagito < røðberg, para o complexo de Fen, Noruega. Eby (*op. cit.*) constatou, em seu estudo, uma aparente tendência de enriquecimento no total de terras raras + ítrio bem como de enriquecimento relativo nos lantanídeos leves, na seqüência ultrafenitos (juvitos e urtitos) < ijolitos < okaitos < sovitos, para amostras de rocha total do complexo carbonatítico de Oka, Quebec. Cullers e Medaris, Jr. (*op. cit.*) constataram tendência semelhante em rochas associadas ao complexo carbonatítico de Seabrook Lake, Ontário, na seqüência fenito < quartzo monzonito < ijolito < brecha máfica < carbonatito (sovito). Na interpretação de seus dados, que incluem análise dos coeficientes de distribuição das terras raras entre diversos minerais e entre diversos tipos de rochas, tanto Eby (*op. cit.*) quanto Cullers e Medaris, Jr. (*op. cit.*) adogam como explicação para o comportamento dos lantanídeos e, finalmente, para a origem dos carbonatitos um processo complexo envolvendo: a) fusão parcial limitada de material do manto superior; b) cristalização fracionada de minerais máficos (olivina, piroxênio, granada), enriquecendo o líquido residual nos teores absolutos de terras raras + ítrio e relativo de lantanídeos leves; c) separação de uma fase carbonatada imiscível; rica em voláteis, mais rica em terras raras – de preferência leves – que o líquido silicatado, e posterior cristalização de ijolito e carbonatito, separadamente.

As curvas relativas às amostras da Fazenda Varela são muito semelhantes às obtidas pelos autores citados acima, sugerindo que esses carbonatitos poderiam ter-se formado em condições semelhantes. Duas amostras de rochas da Fazenda Varela (FV-32, carbonatito de superfície, parcialmente alterado, e principalmente LG-1-2, carbonatito escuro), no entanto, mostram maior concentração de lantanídeos e maior enriquecimento nos termos leves que quaisquer das amostras estudadas por esses autores.

Aumentos nos teores de lantanídeos, coincidindo com a ordem de *emplacement* dos diversos tipos de carbonatitos de um mesmo complexo, foram registrados por diversos autores, além de Mitchell e Brunfelt (*op. cit.*).

Heinrich (1966) destaca diversas mudanças nas terras raras dos carbonatitos com o tempo: a) aumento no teor total de terras raras com o decréscimo na idade relativa da fase carbonatítica; b) nas rochas carbonatíticas iniciais, os lantanídeos estão principalmente dispersos nos carbonatos romboédricos e na apatita, perovskita e pirocloro, podendo também a monazita aparecer como espécie inicial de terras raras; c) com idade decrescente, as terras raras tornam-se progressivamente concentradas em minerais independentes,

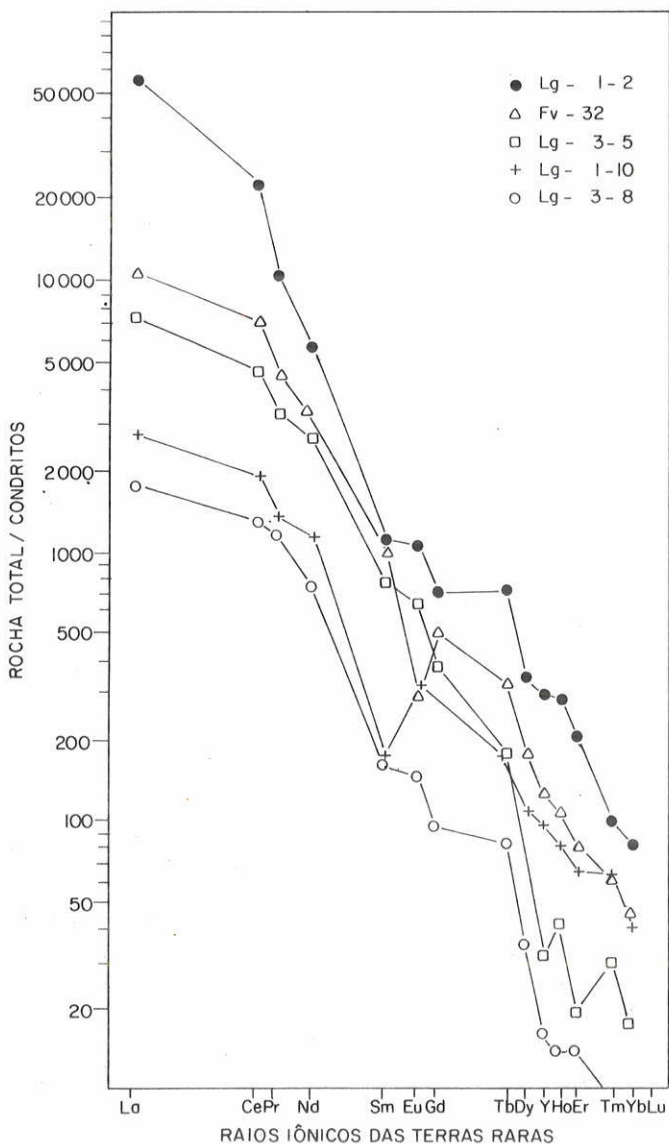


Figura 4 – Curvas normalizadas em relação aos condritos para os teores de terras raras e ítrio de cinco amostras de carbonatitos da Fazenda Varela

especialmente carbonatos de terras raras, e monazita verde, tardia; d) há uma tendência para o aumento na concentração relativa dos lantanídeos leves com o decréscimo da idade das assembléias dos minerais carbonatíticos de terras raras.

Balashov e Pozharitskaya (1968) dividem os carbonatitos em quatro tipos, correspondendo a quatro estádios sucessivos em diversos maciços da Sibéria. Segundo esses autores, tais estádios seriam regulados por uma queda progressiva na temperatura de formação dos carbonatitos, de 650°C-550°C para os primeiros formados, a 300°C-380°C, para os dolomita-ankerita carbonatitos do estádio IV, já com a contribuição de soluções hidrotermais. Esse estádio IV é o que apresenta os teores mais elevados em lantanídeos bem como se caracteriza por apresentar carbonatos e fluo-carbonatos de terras raras, enquanto nos três primeiros esses elementos são diádocos do cálcio nos minerais essenciais. Essa diferença de comportamento é interpretada como devida ao aumento da solubilidade do carbonato de cálcio com o abaixamento da temperatura, ocasionando a formação de dolomita e ankerita, com teores mais baixos de terras raras e conseqüente segregação dos carbonatos de terras raras de baixa solubilidade nessa faixa de temperatura.

Barber (1974) prefere explicar o aumento dos teores de terras raras, bem como de ferro, manganês, bário e zinco, nos carbonatitos das fases finais, por processos de cristalização fracionada, alegando que a calcita removeria inicialmente o estrôncio, de preferência aos elementos citados, o que possibilitaria, nas fases finais, a formação de óxidos opacos, barita e minerais de terras raras. Como nas localidades por ele estudadas de Homa e Wasaki, no Quênia, as quantidades de carbonatitos soviéticos aflorantes seriam insuficientes para resultar na concentração de terras raras dos carbonatitos intermediários (alvikitos) e finais (melacarbonatitos), esse autor presume a presença de carbonatito intrusivo abaixo do presente nível topográfico.

Dessa forma, pode-se interpretar o extremo enriquecimento nos teores absolutos e relativo dos lantanídeos leves nos carbonatitos da Fazenda Varela como indicativo de que os mesmos teriam resultado de processos de concentração atuantes durante a própria fase carbonatítica de cristalização, representando portanto estádios finais de um

processo de fracionamento do qual não se conhecem, ainda, testemunhos das fases iniciais.

Essa interpretação é coerente com as demais características mineralógicas e geoquímicas da ocorrência e reforça a possibilidade de existência, no distrito alcalino de Lages, em níveis eventualmente ainda não atingidos pela erosão, de uma massa consideravelmente maior de rocha carbonatítica representativa das fases iniciais de cristalização e com composição mais próxima à média geral dos carbonatitos intrusivos.

CONCLUSÕES 1 – Os principais minerais constituintes dos carbonatitos da Fazenda Varela são ankerita, barita, feldspato potássico e fluocarbonato de terras raras (synchisita); apatita, quando ocorre, é secundária.

2 – Relações de elementos menores e traços indicativas de diferenciação intensa, como as do Ba/Sr, do Nb/Ta e do Th/U, são elevadas.

3 – A concentração das terras raras é muito alta em relação aos condritos, à média na crosta e mesmo em outros carbonatitos; as curvas de distribuição evidenciam grande concentração dos lantanídeos leves (grupo do Ce) em relação aos pesados (grupo do Y).

4 – Os altos teores absoluto e relativo de lantanídeos leves, em adição às demais características mineralógicas e geoquímicas da ocorrência, indicam que esses carbonatitos representam estádios finais de um processo de fracionamento durante a fase carbonatítica, e reforçam a possibilidade de existência de carbonatitos representativos das fases iniciais de diferenciação no distrito alcalino de Lages.

Agradecimentos Os autores agradecem a colaboração do Geólogo Juarês José Aumond (Cimenvale); dos doutores Clécio Campi Murta (IPR-Nuclebrás), Cláudio Vieira Dutra (Geosol) e Anthony Mariano (consultor independente); dos professores Jorge Alberto Villwock e Dione Alves Pintaúde, e de Jacinta Enzweiler e Paulo Peres (I.G., UFRGS); dos demais professores e alunos do Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS (linha de Geoquímica). O auxílio financeiro para a execução do trabalho foi prestado pelo CNPq, FATMA-SC e Cimenvale S.A.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, G., BUSHEE, J., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K. e REYNOLDS, J.H. – 1967 – Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta* 31:117-142.
- AUMOND, J.J. – 1977 – Relatório parcial dos trabalhos desenvolvidos pela CIMENVALE na área do Processo DNPM n.º 803 635/71. Fund. Amp. Tecnol. Meio Ambiente, Florianópolis, inédito.
- BALASHOV, Yu. A. e POZHARITSKAYA, L.K. – 1968 – Factors governing the behavior of rare-earth elements in the carbonatite process. *Geoch. Int.* 5:271-288.
- BARBER, C. – 1974 – The geochemistry of carbonatites and related rocks from two carbonatite complexes, south Nyanza, Kenya. *Lithos* 7:53-63.
- BARBOSA, O. – 1933 – Eruptivas de Lages, Santa Catarina. Serv. Geol. Miner. do Min. Agric. Bol. 134, 13 pp., Rio de Janeiro.
- CULLERS, R.L. e MEDARIS, Jr., G. – 1977 – Rare earth elements in carbonatite and cogenetic alkaline rocks: Examples from Seabrook Lake and Callander Bay, Ontario. *Contrib. Mineral. Petrol.* 65:143-153.
- EBY, G.N. – 1975 – Abundance and distribution of the rare-earth elements and yttrium in the rocks and minerals of the Oka carbonatite complex, Quebec. *Geoch. Cosmoch. Acta* 39:597-620.
- EVENSEN, N.M., HAMILTON, P.J. e O'NIONS, R.K. – 1978 – Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geoch. Cosmoch. Acta* 42:1199-1212.
- GERASIMOVSKIY, V.I., BALASHOV, Yu. A. e KARPUSHINA, V.A. – 1972 – Geochemistry of the rare earth elements in the extrusive rocks of the east African rift zones. *Geoch. Int.* 9:305-319.
- GOLD, D.P. – 1963 – Average chemical composition of carbonatites. *Econ. Geol.* 58:988-991.
- GUAZELLI, W. e FEIJÓ, F.L. – 1970 – Mapa geológico de semi-detalle do Centro-Leste e Sudoeste de Santa Catarina. Petrobrás, DESUL, Rel. 396, Anexo 14, Ponta Grossa, inédito.
- HASKIN, L.A., SCHMITT, R.A. e SMITH, R.H. – 1966 – Meteoritic, solar and terrestrial rare-earth distributions. *Phys. Chem. Earth* 7:167-321.
- HEINRICH, E.Wm. – 1966 – The geology of carbonatites. Rand McNally, Chicago, 555 pp.
- HERRMANN, A.G. – 1968 – Die Verteilung der Lanthaniden in basaltischen Gesteinen. *Contr. Mineral. Petrol.* 17:275-314.
- HUTCHISON, C.S. – 1974 – Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. Wiley, New York, 527 pp.
- LINDSTAEDT, H.P. – 1972 – A alteração das rochas alcalinas, Lages, Santa Catarina. Min. Educ. Cult., Univ. Fed. Rio G. do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, 54 pp., Porto Alegre, inédito.
- McKIE, D. – 1966 – Fentization. In Tuttle e Gittins (eds.), Carbonatites. Interscience, New York, pp. 261-294.

- MITCHELL, R.H. e BRUNFELT, A.O. – 1975 – Rare earth element geochemistry of the Fen Alkaline Complex, Norway. *Contrib. Mineral. Petrol.* 52:247-259.
- PECORA, W.T. – 1956 – Carbonatites: A Review. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 67:1537-1568.
- PRINS, P. – 1973 – Apatite from African carbonatites. *Lithos* 6:133-144.
- ROCK, N.M.S. – 1976 – Fertilization around the Monchique alkaline complex, Portugal. *Lithos* 9:263-279.
- SCHEIBE, L.F. – 1974 – Nota preliminar sobre os carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC (Resumo). Breves Comunicações-ao XXVIII Congr. Bras. Geol., Porto Alegre, 1 p. (mimeogr.).
- SCHEIBE, L.F. – 1976 – Fazenda Varela carbonatite, Lages, SC., Brazil. 1st Int. Symp. on Carbonatites, Poços de Caldas.
- SCHEIBE, L.F. – 1978 – O Kimberlito "Janjão", Lages, Santa Catarina, Brasil. Nota preliminar. In: I Painel de Pesquisas da UFSC, Florianópolis, no prelo.
- SCHEIBE, L.F. – 1979 – Estudo petrológico e geoquímico dos carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, Santa Catarina, Brasil. Univ. Fed. Rio G. do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, 120 pp., inédito.
- SCHEIBE, L.F. e FORMOSO, M.L.L. – 1978 – Estudo geoquímico de carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC (Resumo). In: Resumos das Comunicações, XXX Congr. Bras. Geol., Recife, Bol. 1:213.
- SCORZA, E.P. – 1965 – Olivina melilitito, uma rocha rara e até agora desconhecida no Brasil continental. *Eng. Min. Metalur.* 62:235-237, Rio de Janeiro.
- STANTON, R.L. – 1972 – Ore Petrology. McGraw-Hill, New York.
- SZUBERT, E.C. e VERGARA, V. D'AVILA – 1975 – Avaliação das reservas e da qualidade dos depósitos de bauxita do município de Lages, SC. Min. Interior, Sudesul-CPRM, Cia. Pesq. Rec. Min., 68 pp., Porto Alegre, inédito.
- TAYLOR, S.R. – 1964 – Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geoch. Cosmoch. Acta* 28:1273-1285.
- TAYLOR, S.R. – 1965 – The application of trace element data to problems in Petrology. *Phys. Chem. Earth* 6:133-213.
- VERWOERD, W.J. – 1966 – South African carbonatites and their probable mode of origin. *Ann. Universiteit van Stellenbosch* 41A (2):113-233, Stellenbosch, S. Africa.

Recebido em 15 de julho de 1982