



ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA DO CARBONATITO DA FAZENDA VARELA-REGIÃO DE LAGES, SANTA CATARINA, BRASIL

E. Menegotto¹ & M.L.L. Formoso²

¹Pós-graduação em Geociências - UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS

²Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências - UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS

Recebido em 07/98; aprovado para publicação em 03/99

ABSTRACT

This paper presents a study of the Fazenda Varela carbonatite. The bulk carbonatite mineralogy composition is rhomboedric carbonate (ankerite, Fe-dolomite, dolomite), synchisite and barite. Apatite and monazite are very rare accessories. The main geochemistry characteristic is its strong concentration REE, Ba, Ca, Sr, CO₂ and SO₃, significant Th and U, and small amount of P, Nb and Ta. The carbonatite rock is strongly weathered. Carbonates are dissolved, goethite is formed and barite is preserved. Laterite occurs on the carbonatite related to an ancient climate. The main geochemical result of the weathering is Fe enrichment, followed by Mn, Th and U in the oxide phase. Ba, REE and P are fixed in the younger weathering (saprolite phase) and lost in the older weathering (laterite phase).

RESUMO

O carbonatito da Fazenda Varela é composto por carbonatos romboédricos (ankerita, Fe-dolomita, dolomita) associados a Synchisita e barita. Apatita e monazita são acessórios raros. Tem alta concentração em ETR, Ba, Ca, Sr, CO₂ e SO₃, teores significativos de Th e U e baixas concentrações de P, Nb e Ta. Apresenta intensa alteração intempérica, sendo o carbonato dissolvido integralmente, formando goethita, mantendo a barita. Sobre o carbonatito ocorre laterita, produto intempérico vinculado a um clima pretérito. O principal resultado geoquímico da alteração intempérica é o forte enriquecimento em Fe, acompanhado por Mn, Th e U nas fases oxidadas. Ba, ETR e P são fixados na alteração atual (saprólito), mas perdidos na alteração mais antiga (laterita).

INTRODUÇÃO

O carbonatito que ocorre associado às rochas alcalinas de Lages, SC, Brasil, foi estudado anteriormente por Scheibe (1974, 1976, 1979 e 1986) e Scheibe & Formoso (1978 e 1982), que apresentaram a descrição das litologias e os primeiros dados geoquímicos. Diversos outros trabalhos publicados no Brasil ou em revistas estrangeiras, referentes às rochas alcalinas de Lages, apenas fazem referência ao carbonatito associado.

Scheibe & Formoso (1982) sugeriram que *“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 das fases iniciais de diferenciação no distrito alcalino de Lages”*.

No que refere à alteração intempérica de carbonatitos, a bibliografia internacional é escassa. Kasputin (1981) fez uma síntese, na qual destaca o alto grau de dissolução que essa rocha sofre durante o intemperismo, ressaltando que na África e no Brasil, em vista das condições climáticas, os carbonatitos desenvolvem crostas lateríticas. Elianov *et al.* (1981) descreveram o manto de alteração dos carbonatitos na URSS. Lottermoser (1988 e 1990) discutiu a mineralização dos elementos terras raras no Carbonatito de Mt. Weld, Oeste da Austrália. Alcover Neto & Toledo (1993) apresentaram um estudo da evolução supérgena do Carbonatito de Juquiá, SP, onde foi gerada uma jazida residual de fosfato apatítico com

teores médios de 16% de P_2O_5 . Pereira (1995) realizou estudos sobre a alteração do Carbonatito de Catalão I, Goiás, em que descreveu, com detalhe, as transformações sofridas pela mineralogia e a gênese da jazida de nióbio. Alcover Neto (1997) discutiu os aspectos geoquímicos das rochas e da alteração intempérica referentes ao Complexo Alcalino-Carbonatítico de Chirigué (Paraguai Oriental), em tese de doutoramento apresentada à Universidade de São Paulo. Menegotto & Formoso (1996 e 1997) apresentaram os primeiros resultados referentes à alteração do Carbonatito da Fazenda Varela.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de ocorrência das rochas carbonatíticas, que estão sendo estudadas neste projeto, está localizada no Município de Correia Pinto, a Norte de Lages, Santa Catarina, centralizando o Domo de Lages. Na parte interna do Domo de Lages, afloram rochas alcalinas, principalmente fonólitos, analcita traquitos, nefelina sienitos, olivina melilitos, nefelinitos, além de carbonatitos, brechas vulcânicas e kimberlitos. A parte de ocorrência dos carbonatitos abrange uma área com cerca de 1.550 m x 900 m, centralizada pelas coordenadas geográficas 27°39'S e 50°17'W (Fig. 1).

O relevo, no local de ocorrência do carbonatito, é caracterizado por dois morros muito íngremes, cujas altitudes alcançam cerca de 1.050 a 1.100 m, que se destacam das rochas encaixantes, cujo relevo é formado principalmente por colinas de porte médio, com altitudes de 900 a 950 m.

A drenagem circunda a área carbonatítica, formando um padrão aproximadamente anelar (circular) no local, com pequenos córregos radiais, que descem as encostas e dividem os dois morros. O padrão anelar é determinado pelas encaixantes, formadas, principalmente, por rochas sedimentares gondwânicas, que foram perturbadas pela intrusão.

O clima, na região de Lages, SC, é classificado como mesotérmico, tipo temperado, com chuvas distribuídas ao longo de todo o ano (Nimer, 1977). A precipitação média é de 1.490 mm, com maior concentração na primavera. As temperaturas médias variam de 28°C, no mês mais quente do ano, a 10°C no mês mais frio. As mínimas absolutas alcançaram -8°C. Ocorrem geadas abundantes no inverno e neves algumas vezes por ano.

FORMAS DE OCORRÊNCIA

A ocorrência dos carbonatitos está restrita aos dois morros, denominados por Scheibe (1979) de Morro Oeste e Morro Norte. Nesses locais, a rocha carbonatítica não ocorre extensivamente, mas sob forma de um complexo sistema de veios e diques, que se entrelaçam, dentro de litologias que, no conjunto, são constituídas, principalmente, por brechas.

Nesse sentido, Scheibe (1979, p. 20) afirmou: *“Mesmo trabalhando em detalhe no campo e contando com a ajuda de poços, de trincheiras e da projeção em superfície dos resultados de sondagens, a escassez de afloramentos naturais e, especialmente, o caráter transicional das litologias híbridas, resultantes da transformação e reação dos sedimentitos com os*



Figura 1 - Mapa de localização do carbonatito da Fazenda Varela.

produtos relacionados com o evento carbonatítico, impedem a definição de contatos em escala de detalhe”.

Nos dois morros em que ocorrem os carbonatitos, existe um considerável número de trincheiras tomadas pela vegetação e entulhadas por detritos, localizadas principalmente no topo e nas encostas do Morro Norte. Várias dessas trincheiras, abertas há mais de 3 décadas, foram limpas no decorrer da fase de campo deste trabalho, para estudo das litologias, dos perfis de alteração e para amostragem.

Mesmo com a limpeza e exame detalhado das trincheiras, a rocha carbonatítica inalterada somente foi constatada em dois locais: numa pedreira, que foi dinamitada, no Morro Oeste, e numa trincheira situa-

da no topo do Morro Norte. Nos demais locais, o carbonatito encontra-se inteiramente intemperizado, formando alterita e/ou laterita.

A rocha sã

No Morro Oeste, local da pedreira, ocorre o principal afloramento de carbonatito. Trata-se de uma variedade de carbonatito de cor marrom, finamente granular e com elevada porosidade. Nas descrições de Scheibe (1979), é reconhecido um corpo de aproximadamente 20 m de carbonatito claro e relativamente homogêneo. Segundo esse mesmo autor, foi comprovada a continuidade, através de sondagens, até pelo menos 100 m de profundidade. Hoje, nessa parte dinamitada, ocorrem blocos, com

alguns metros de diâmetro, de carbonatito praticamente puro, mas de cor castanha clara. Essa cor castanha representa, ao que parece, um aspecto de oxidação do ferro do carbonatito originalmente claro.

A maior parte dos afloramentos do Morro Oeste constituem-se, principalmente, em uma enorme quantidade de veios que se entrecruzam dentro de brecha feldspática. A espessura dos veios varia de cerca de 50 cm, diminuindo gradativamente até alcançar espessuras milimétricas.

O conjunto litológico, formado pelo carbonatito puro ou associado às brechas feldspáticas, está intensamente recortado por pequenos veios preenchidos por calcita e quartzo (juntos ou separados), demonstrando fenômenos hidrotermais

sobrepostos ao evento carbonatítico. Pela análise de campo, observam-se evidências de que esses veios representam episódios separados: um primeiro episódio consiste na entrada do carbonatito sobre rochas sedimentares encaixantes, que foram transformadas em brecha feldspática; um segundo episódio é a formação de um fino sistema venular de calcita; como terceiro episódio, pode-se observar a formação de outro sistema venular silicoso.

O carbonatito que ocorre no topo do Morro Norte aparece na forma de veios com espessuras de 20 a 50 cm, que cortam subverticalmente brechas feldspáticas resultantes da transformação dos sedimentitos. Trata-se de carbonatito de cor branca a creme, granulação fina a média, com inclusões orientadas de materiais cinza-esverdeados.

Sondagens nas encostas desse morro mostram que, sistematicamente, ocorrem misturas de brechas feldspáticas com veios de carbonatito, predominando um ou outro, evidenciando que a característica fundamental é a heterogeneidade (Scheibe, 1979).

A brecha é formada por materiais muito variáveis, contendo grande quantidade de material feldspático, com fragmentos de diversos tamanhos, compostos por rochas alcalinas e, principalmente, rochas sedimentares das encaixantes. Essas brechas constituem o resultado da fragmentação provocada pelas intrusões e a consequente transformação pela ação da temperatura e dos fluidos.

A Alterita

Na maior parte das exposições, especialmente no Morro Norte, o carbonatito encontra-se inteiramente intemperizado,

originando um material de cor marrom escura, extremamente poroso, demonstrando elevadíssima microporosidade. Em alguns locais, onde pode-se encontrar rocha fresca, este material forma um *córtex* nas superfícies do carbonatito expostas ao clima. Indica, com certeza, que se trata de alteração perante o clima atual, pois é encontrado mesmo nos blocos originados pela dinamitação executada há pouco mais de uma década.

Em outros locais, especialmente junto à rocha fresca encontrada no Morro Norte, esta alterita laterítica forma veios de alguns decímetros, que acompanham os veios de carbonatito inalterado, em ambos os lados. Este fato indica que se trata, na realidade, de uma alteração progressiva em ambas as faces dos veios, fazendo com que os mesmos sofram redução de espessura. Essa redução de espessura pode ser total, razão pela qual o número de veios de rocha fresca tornou-se reduzido em superfície, ou mesmo nas trincheiras, predominando o material alterítico associado às brechas, que resistem mais ao intemperismo.

Laterita

A laterita é encontrada em diversos pontos da ocorrência do carbonatito e, eventualmente, na sua periferia, sobre rochas sedimentares. Dois aspectos de campo podem ser destacados, quanto à localização da laterita. Nas trincheiras escavadas no Morro Norte, a laterita apresenta-se como bancos de espessuras variáveis, mas que raramente ultrapassam 0,5 m, com disposições diversas. Podem ser horizontais, em diversos níveis dentro da trincheira, ou subverticais, possivelmente acompa-

nhando os veios de carbonatito inteiramente alterado. Na meia encosta do Morro Norte, a uma altitude de cerca 950 a 1000 m, por todos os lados do morro em que foram feitos perfis (Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste), ocorre um banco de laterita, de espessura variável, com disposição tendendo a horizontal. Essa laterita apresenta-se sempre na mesma altitude aproximada, formando uma espécie de colarinho em torno do morro.

As características macroscópicas da laterita indicam tratar-se de um material que ocorre em forma de filetes de material rígido, com brilho metálico (hematita), entrecruzados com material friável, terroso e fosco. A densidade das partes rígidas é elevada, mostrando ser um material compacto. Pelo contrário, as partes mais friáveis são muito porosas e assemelham-se à alterita laterítica descrita acima.

A disposição topográfica da laterita indica que ela não representa alteração sob clima atual, estando associada ao evento climático que originou a bauxita sobre as rochas alcalinas da periferia, ocorrido, provavelmente, no Terciário Superior (Dani, 1998).

MINERALOGIA

Descrição petrográfica do carbonatito

Em termos macroscópicos, o carbonatito apresenta-se como rocha granular, de granulação fina a média, geralmente com elevada proporção de cavidades vazias (poros) ou preenchidas por carbonato, mais raro zeólita. Podem ser individualizados macroscopicamente os carbonatos e, em alguns locais, ob-

serva-se a presença de pirita bem cristalizada, dispersa aleatoriamente por toda a rocha.

No Morro Oeste, o carbonatito tem cor castanha clara, onde são comuns feições de bandamento, determinadas por variações composicionais, especialmente nas partes venulares do carbonatito. No Morro Norte, o carbonatito inalterado encontrado tem cor branca, não sendo notadas as feições de bandamento.

Em vista da sua disposição venular, o carbonatito está muito intimamente relacionado a brechas de diversas composições, originadas pelo próprio evento que deu origem à intrusão.

O estudo microscópico de lâminas delgadas confirma o caráter granular da textura, mas podem ser identificadas grandes variações texturais numa mesma lâmina. De uma forma geral, os minerais essenciais são anédricos.

Nas partes de carbonatito puro, mesmo nos veios, abstrahindo-se a parte de brecha, pode ser observada a predominância absoluta de carbonatos romboédricos, com caracteres texturais que representam duas fases de cristalização. Subordinadamente, ocorrem barita, synchisita, apatita, raros cristais de monazita e alguns minerais opacos. A barita, junto com pirita que aparece em alguns locais, representa um evento pós-magmático em relação à fase carbonatítica principal.

Os carbonatos romboédricos apresentam freqüentemente zonação originada por sobre-crescimento. A zonação reflete-se na transparência do carbonato, sendo turvo na parte central e cada vez mais límpido e puro no sentido da periferia. Este fato parece indicar uma variação composicional, com

diminuição do teor de ferro, cuja exsolução e oxidação determinam o aspecto turvo ao mineral. A exsolução origina faixas de óxido de ferro e manganês bem definidas na zonação, acompanhando a estrutura romboédrica. Em alguns cristais, o centro do romboedro fica totalmente escuro, com bandas claras e escuras alternadas em direção à periferia.

Nos interstícios, ocorrem carbonatos romboédricos límpidos, que englobam outros minerais e preenchem espaços vazios, indicando que se trata de uma fase de crescimento tardio (segunda fase), mesmo em relação ao carbonato mais turvo acima descrito.

A presença de carbonatos romboédricos zonados, turvos, com exsolução de óxidos de Fe e Mn, é mais característica no carbonatito castanho do Morro Oeste (amostras da pedreira). No Morro Norte, onde o carbonatito é branco, tais feições não são visíveis. As características texturais/estruturais indicam que a cor castanha do carbonatito do Morro Oeste é, na verdade, um aspecto de alteração do carbonatito branco, provavelmente por um efeito ainda endógeno (hidrotermal).

Nas análises por difratometria de raios X, o carbonato romboédrico zonado apresenta predominantemente os picos que identificam ankerita, tanto nas amostras de carbonatito castanho quanto no branco, geralmente associada a proporções variáveis de barita. Análises em microsonda eletrônica mostraram que, na verdade, apenas em algumas faixas o carbonato tem a composição de ankerita, predominando bandas de Fe-dolomita. Calcita e dolomita foram detectadas, geralmente associadas às cavidades

e veios, tendo sido confirmadas pela microsonda eletrônica.

A synchisita ocorre sob forma de feixes em agregados fibrosos, geralmente radiados, de cor amarelada. Suas características ópticas são semelhantes aos demais carbonatos, mas tem birrefringência um pouco mais baixa, apresentando extinção reta e alongação negativa em relação às fibras. Ocorre, preferencialmente, nos interstícios deixados pelos cristais dos primeiros carbonatos romboédricos ou no limite entre carbonato e feldspato, na periferia dos veios, junto à brecha.

A barita aparece como cristais límpidos, geralmente irregulares ou arredondados, de bordas irregulares, de pequeno tamanho (0,1 a 1 mm). Seu aspecto textural indica ter sido cristalizada posteriormente aos carbonatos romboédricos, pelo menos em relação aos primeiros eventos carbonáticos. Está nitidamente nos interstícios dos carbonatos zonados e turvos, podendo estar associada à synchisita e englobada pelos carbonatos mais límpidos que existem na periferia e interstícios, gerados em um evento posterior.

A apatita, ainda que em pequena proporção, apresenta-se prismática, com dimensões inferiores a 1 mm. Somente é encontrada no interior dos carbonatos mais primitivos, mostrando tratar-se de mineral formado nos primeiros eventos de magmatismo carbonatítico.

A monazita foi identificada em uma lâmina delgada, com forma anédrica, de dimensão muito pequena (0,1 - 0,3 mm), englobada por carbonato. Da mesma forma, foi identificado apenas um cristal de pirocloro, de forma losangular.

Cristais milimétricos de forma cúbica, opacos em lâmina

delgada, foram identificados como pirita através de lupa binocular. Encontra-se disseminada, irregularmente, concentrada em algumas amostras e ausente em outras. Todavia, a maior parte dos minerais opacos aparecem nas lâminas delgadas com dimensões menores e forma irregular. São óxidos de ferro, como magnetita, hematita e, principalmente, goethita, que, eventualmente, podem formar estrutura em *boxwork* que mantém a morfologia dos carbonatos romboédricos.

Nas lâminas delgadas de amostras em que o carbonatito está situado em contato direto com brecha, como no carbonatito venular, são observadas proporções variáveis de quartzo e feldspato.

Mineralogia da alterita

A alterita, que ocorre diretamente em contato com a rocha carbonatítica, sob forma de *córtex* ou como material incoerente associado aos veios de carbonatito, foi estudada através de difração de raios X. Detectou-se que, em espaços de apenas alguns milímetros, todo o carbonato é solubilizado. Da alteração do carbonatito, sob o clima atual, resta intacta a barita. Da dissolução do carbonato (dolomita ferrosa e ankerita), o ferro é recristalizado sob forma de goethita, que ocorre associada a produtos ferruginosos amorfos ou de baixa cristalinidade, que se distribuem como um plasma intersticial. Nenhum outro mineral neoformado foi constatado.

O estudo de lâminas delgadas, obtidas após impregnação com resina, mostra que a alteração não pode ser considerada como isovolumétrica, apesar da elevada porosidade, pois a textura original do carbonatito não

pode ser identificada. Podem ser observadas importantes modificações espaciais dos minerais secundários em relação aos minerais primários da rocha.

Mineralogia da laterita

Com uso de difratometria de raios X, verificou-se que a laterita apresenta-se como uma mistura de goethita e hematita, predominando ora uma, ora outra. As relações espaciais, observadas em lâmina delgada, sugerem que a goethita representa uma alteração (hidratação) da hematita, formando faixas de tonalidades mais alaranjadas, claras no contorno, e penetrando em irregularidades e fissuras. Em amostras de laterita mais friável, a hematita encontra-se quase inteiramente destruída, constatando-se a presença de goethita quase pura ou associada à barita. Este fato reforça a hipótese de que a laterita representa a alteração pretérita do carbonatito, numa fase lateritizante, relacionada temporalmente à bauxita desenvolvida pelas rochas alcalinas.

ASPECTOS GEOQUÍMICOS

Caracterização geoquímica da rocha

As Tabelas 1 a 3 mostram as composições das amostras de carbonatitos inalterados, correspondendo a: - elementos maiores (Tab. 1), - Elementos traço (Tab. 2), - Elementos terras raras (Tab. 3). Para análise da maior parte dos elementos, foi utilizada a associação de Fluorescência de Raios X (XRF), Inductively Coupled Plasma (ICP) e Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA),

sendo utilizado um método gasométrico (LECO) para a determinação de S e CO₂, volumetria para FeO, gravimetria para H₂O⁺ e H₂O⁻. As análises por ICP, INAA e LECO foram realizadas no Canadá, pelo Activation Laboratories LTD. As de volumetria, gravimetria e XRF, no laboratório do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica da UFRGS.

A Tabela 1 mostra que o carbonatito tem elevado teor de Fe, associado a Ca, Mg e ao CO₂, o que está de acordo com a composição do carbonato predominante (dolomita ferrosa/ankerita). Nota-se que a diferença de cor observada entre o carbonatito branco e o castanho está relacionada com o estado de oxidação do Fe.

A elevada concentração de barita está representada pelos significativos teores de Ba e de SO₃, os quais são computados como elementos maiores. Da mesma forma, a pequena quantidade de apatita é confirmada pelos baixos teores de P. O Sr e os ETR estão presentes no carbonatito em teores tão significativos que constituem elementos maiores; o primeiro acompanhando Ca nos carbonatos romboédricos e os ETR vinculados à synchisita.

Entre os elementos traço analisados (Tab. 2) destacam-se o Th, com teores alcançando 360 ppm, acompanhado por U (até cerca de 29 ppm), o que está em consonância com o elevado poder cintilométrico verificado na área (Scheibe, 1979). Não foram constatados minerais específicos desses dois elementos no carbonatito. Apesar de não ter sido possível sua detecção em microsonda eletrônica, a concentração desses elementos, especialmente o Th, é mais acentuada nas amostras com maiores teores em ETR, o

Tabela 1 - Análises químicas de elementos maiores de amostras de carbonatito inalterado.

Amostra Tipo	I.1.1.a 1	VII.1.2 1	II.2.1 2	II.4.2.a 2	I.2.3. 3	II.2.2 3	III.4.2 3	JM.1 3	JM.5 3
SiO ₂	1,20	1,19	2,72	2,85	10,86	6,01	5,49	6,83	5,93
Al ₂ O ₃	0,07	0,08	0,24	0,41	0,31	1,11	1,23	1,50	1,90
Fe ₂ O ₃	0,60	0,65	12,60	9,20	5,08	8,06	9,92	9,70	12,08
FeO	8,15	8,70	1,02	2,18	6,29	1,94	1,35	2,28	0,58
MnO	1,85	1,89	5,67	2,07	2,68	2,74	2,44	2,78	1,93
MgO	12,38	12,34	13,16	11,27	11,73	12,48	13,48	10,39	10,53
CaO	24,40	24,05	24,24	26,86	27,99	29,55	28,25	27,22	28,75
BaO	9,86	9,71	4,38	3,86	3,25	4,85	4,85	5,85	3,60
SrO	0,28	0,25	0,16	0,22	0,15	0,18	0,22	0,24	0,18
Σ ETR ₂ O ₃	1,63	1,38	0,62	1,22	0,85	1,15	1,35	1,08	1,20
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	0,25	-	0,13	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	0,13	0,02	0,08
P ₂ O ₅	0,04	0,06	0,03	0,05	0,01	0,02	0,04	0,08	0,37
CO ₂	32,80	32,10	27,30	34,4	27,22	27,66	27,32	28,33	29,25
SO ₃	5,28	5,22	2,29	2,57	1,68	2,55	2,55	3,16	2,95
H ₂ O-	0,30	0,22	0,38	0,21	0,23	0,24	0,33	0,24	0,35
H ₂ O+	1,10	1,72	4,48	2,32	1,20	1,02	0,98	-	-
Total	99,30	99,56	99,29	99,69	99,53	99,81	99,93	99,83	99,68

1 - Carbonatito branco. 2 - Carbonatito castanho. 3 - Amostras de carbonatito castanho com pequena influência das encaixantes (presença de alguns silicatos).

Tabela 2 - Elementos traço em amostras de carbonatito inalterado. Unidades: Au = ppb, demais elementos = ppm.

Amostra Tipo	VII.1.1.a 1	VII.1.2 1	II.2.1 2	II.4.2.a 2	I.2.3 3	II.2.2 3	III.4.2 3	JM.1 3	JM.5 3
Au	35	27	13	15	14	22	30	25	33
As	13	10	2	5	6	8	11	5	8
Co	5	4	3	4	5	4	6	4	7
Cr	39	35	45	38	15	12	7	38	45
Hf	0,6	0,7	<0,5	0,5	<0,5	0,5	<0,5	0,5	<0,5
Mo	<5	<0,5	5	5	7	5	8	6	5
Sb	<0,6	<0,6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sc	19	46	13	15	12	10	8	15	13
Nb	66	75	115	58	90	20	250	98	125
Ta	3	2	1	2	8	5	10	2	1
Th	360	350	336	340	288	195	299	310	300
U	10,2	8,5	4,4	16,0	20,6	25,2	28,9	26,3	24,5
W	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Zn	540	505	430	450	350	398	400	450	430
Zr	106	110	100	98	142	125	110	98	100
Th/U	35	41	76	21	14	8	10	12	12
Nb/Ta	22	37	115	29	11	4	25	49	125
(Nb/Ta)/Th	0,06	0,11	0,34	0,09	0,04	0,02	0,08	0,16	0,42

1 - Carbonatito branco. 2 - Carbonatito castanho. 3 - Amostras de carbonatito castanho com pequena influência das encaixantes.

Tabela 3 - Elementos terras raras em amostras de carbonatito inalterado, dados em ppm.

Amostra	VII.1.1.a	VII.1.2	II.2.1	II.4.2.a	I.2.3	II.2.2	III.4.2	JM.1	JM.5
Tipo	1	1	2	2	3	3	3	3	3
La	5500	4656	1600	3148	2194	2726	3200	2560	2848
Ce	6800	5757	2700	5313	3702	5027	5900	4720	5251
Nd	1300	1101	760	1495	1042	1619	1900	1520	1691
Sm	134	113	88	173	120	207	244	195	217
Eu	30,0	25,4	21,6	42,5	29,6	50,8	59,6	47,7	53
Gd	106	89,7	63	124	86,6	124	146	117	130
Tb	8,6	7,3	7,6	15,0	10,4	11,2	13,1	10,5	11,7
Dy	22,0	18,6	26,1	51,4	35,8	29,6	34,8	27,8	31
Yb	1,3	1,1	0,5	1,0	0,7	0,9	1,1	0,9	1,0
Lu	0,32	0,30	0,13	0,31	0,22	0,25	0,28	0,24	0,27
La/Ce	0,81	0,81	0,59	0,59	0,59	0,54	0,54	0,54	0,54
ETRL/ETRP	99,58	99,59	53,11	53,06	53,00	58,03	57,88	57,80	57,83
La/Lu	17187	15520	12307	10154	9972	10904	11428	10666	10548
La/Yb	4230	4232	3200	3148	3134	3029	2909	2844	2848

1 - Carbonatito branco. 2 - Carbonatito castanho. 3 - Amostras de carbonatito castanho com pequena influência das encaixantes.

que sugere sua vinculação com a synchisita. A associação de Th e U com ETR foi citada por Loureiro *et al.* (1989) nos complexos carbonatíticos de Mato Preto (PR) e Coola (Angola). Por outro lado, o Nb ocorre em teores muito baixos, se comparado com outros carbonatitos (Pereira, 1995), o que se deve à presença de pirocloro em proporção muito baixa e distribuição aleatória.

Os ETR nas rochas carbonatíticas analisadas, tanto nas amostras de carbonatito puro quanto nas que têm alguma influência das encaixantes, quando comparados ao condrito, apresentam um forte enriquecimento dos leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP), evidenciado por elevadas razões ETRL/ETRP, assim como La/Lu e La/Yb (Tab.3). O forte enriquecimento de ETR no carbonatito da Fazenda Varela, assim como maior enriquecimento em ETRL que em ETRP, já fora citado anteriormente por Scheibe & Formoso (1982). O La alcança enriquecimentos em relação ao condrito da ordem de 10.000 vezes. Não se constata anomalias para Ce e Eu, mas

ocorre uma nítida anomalia negativa para o Yb (Figs. 2 e 3). O elevado enriquecimento absoluto em ETR e relativo em

ETRL são característicos dos carbonatitos, em que o La pode variar de 100 a cerca de 15.000 vezes em relação ao condrito

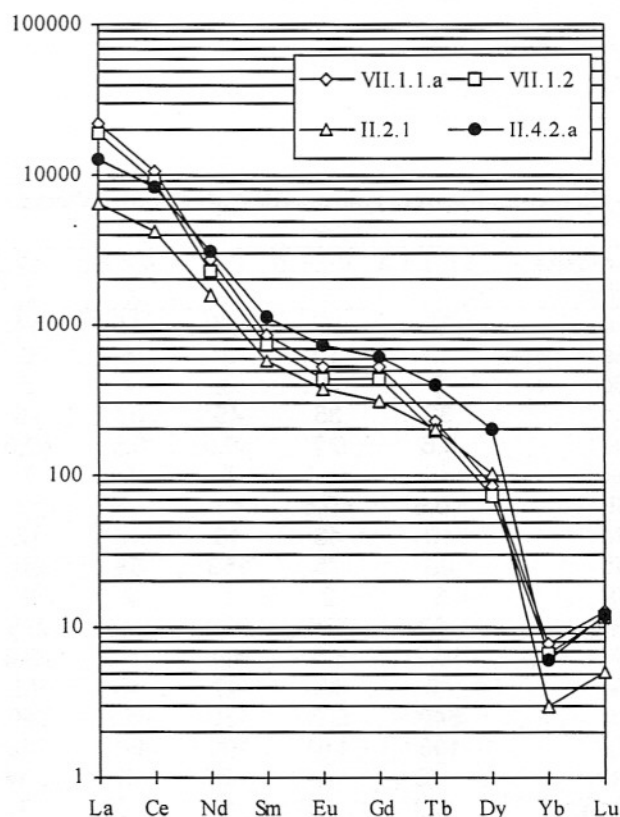


Figura 2 - Distribuição dos ETR em amostras de carbonatito puro inalterado (Tab. 3, tipos 1 e 2), normalizados com base ao condrito C₁ (Nakamura, 1974).

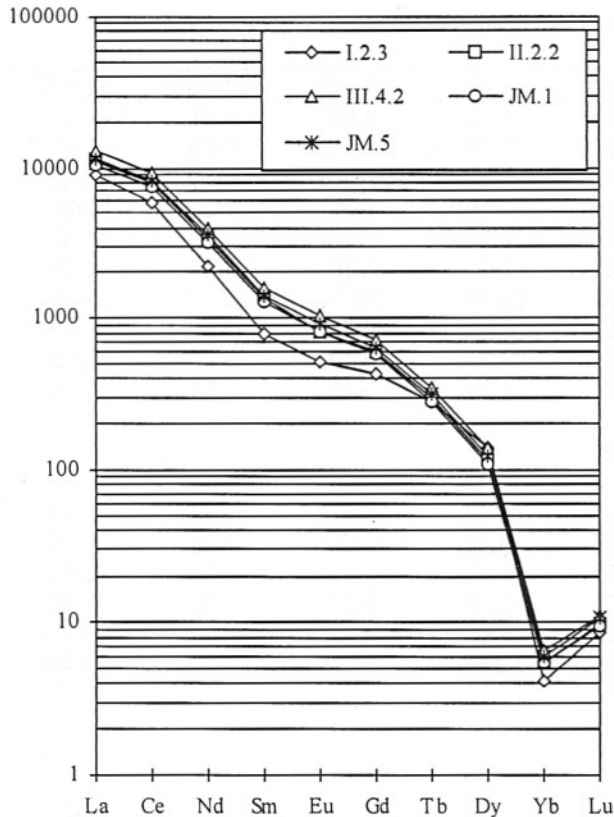


Figura 3 - Distribuição dos ETR em carbonatitos com pequena influência das encaixantes (Tab. 3, tipo 3), normalizados com base ao condrito C₁ (Nakamura, 1974).

(Scheibe, 1989). A ausência das anomalias de Ce e Eu são também comuns nessas rochas (Cullers & Graf, 1984). Neste contexto, o carbonatito da Fazenda Varela situa-se entre os que apresenta mais forte enriquecimento em ETR, o que é compatível com a sua mineralogia representativa das fases mais tardias (Heinrich, 1966; Loureiro *et al.*, 1989), como Fe-dolomitas, ankerita e synchisita associados à barita.

O enriquecimento em ETR em rochas alcalinas e carbonatitos associados ocorre de maneira progressiva desde os componentes mais básicos (olivina nefelinitos) até os menos básicos da família dos fonólitos, atingindo o clímax na fase carbonatítica, especialmen-

te na última etapa, representada pelos dolomita-carbonatitos baríferos (Van Wambeke, 1964). A concentração em ETR nos carbonatitos é explicada por Cullers & Medaris (1977) pelo transporte preferencial desses elementos no líquido carbonatado, em relação ao líquido silicatado, originado através da separação por imiscibilidade a partir de um magma básico alcalino primário. Müller *et al.* (1980), através de estudos cristalóquímicos, confirmam a preferência dos ETR pelos líquidos carbonáticos nos processos de imiscibilidade, mas salientam que isso não explica os padrões de enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP, o que estaria relacionado à formação do líquido parental.

Geoquímica das fácies de alteração

As Tabelas 4 a 12 apresentam a composição das fácies da intemperização, representadas pela alteração inicial do carbonatito, alterita (alterita laterítica) e laterita, no que se refere a elementos maiores (Tabelas 4, 5 e 6), elementos traço (Tabelas 7, 8 e 9) e elementos terras raras (Tabelas 10, 11 e 12).

No processo de alteração intempérica, verifica-se forte concentração do Fe, que na alterita alcança entre 30 e 40% (Fe_2O_3 total), elevando-se para valores acima de 60% na laterita. Essa concentração de Fe é acompanhada também pela concentração de Mn, de Th e de U. Este fato indica que estes elementos vinculam-se às fases oxidadas do Fe (goethita/hematita). A razão Th/U torna-se bem mais elevada nas amostras de alteração incipiente, decaindo nas fácies alterita e laterita. Isso indica que o U é, parcialmente, mobilizado na alteração inicial, mas que não migra para muito longe.

O Ba, os elementos terras raras (ETR) e o P apresentam comportamentos diferentes ao do Fe. Estes elementos enriquecem na fácies alterita e decaem muito na laterita. O Ba, assim como o P, concentra-se mais na alterita, em vista da estabilidade da barita e apatita em relação aos carbonatos, mas, na lixiviação intensa que representa a formação da laterita, esses minerais desestabilizam-se e os elementos são lixiviados.

Os ETR, apesar da instabilidade da synchisita, tendem a ficar adsorvidos aos óxidos microcristalinos existentes na fácies alterita, em razão do pH mais elevado ocasionado pela proximidade da frente de alteração da rocha. Permanecem no

Tabela 4 - Análises químicas dos elementos maiores do carbonatito com alteração incipiente.

Amostra	I.3.2	II.2.5	III.4.4	III.4.5	III.5.2	III.4.6*
SiO ₂	3,73	3,52	1,62	2,06	1,31	2,57
Al ₂ O ₃	0,77	0,46	0,14	0,26	0,05	0,55
Fe ₂ O ₃ *	18,83	16,33	16,52	14,15	19,52	17,30
FeO	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MnO	3,67	2,31	2,31	1,88	1,79	2,25
MgO	5,15	2,79	1,24	2,56	1,65	4,20
CaO	26,10	30,80	29,05	25,14	28,14	24,78
BaO	7,60	6,66	8,33	10,05	8,3	6,6
SrO	0,18	0,16	0,20	0,18	0,20	0,15
Σ ETR ₂ O ₃	1,87	1,20	1,74	2,49	1,51	1,71
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	0,18	-	-	-	-
TiO ₂	0,01	-	-	-	0,01	-
P ₂ O ₅	0,19	0,02	0,02	0,02	0,51	0,03
CO ₂	22,44	25,55	26,56	20,33	19,96	21,33
SO ₃	3,96	3,47	4,47	4,05	4,94	3,47
H ₂ O -	0,52	0,55	0,69	0,55	0,69	0,63
H ₂ O+	4,65	5,62	6,67	16,11	11,14	14,23
Soma	99,62	99,62	99,56	99,83	99,72	99,80

* Fe₂O₃ = Fe total.**Tabela 5** - Análises químicas de elementos maiores de alterita.

Amostra	II.4.2.b	I.3.2.b	III.1.3	VII.1.1.b	XII.3.0	XIII.4.0
SiO ₂	4,34	6,02	10,98	5,69	3,77	10,97
Al ₂ O ₃	0,55	1,31	3,02	0,97	3,19	7,41
Fe ₂ O ₃ *	38,91	40,08	45,67	34,47	55,25	47,65
FeO	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MnO	5,23	5,42	5,21	2,46	2,38	2,37
MgO	0,54	0,58	0,39	0,44	0,47	0,39
CaO	0,77	0,25	-	0,94	-	-
BaO	21,66	18,45	13,55	24,20	6,55	6,20
SrO	0,20	0,15	0,12	0,27	0,09	0,07
Σ ETR ₂ O ₃	2,13	1,75	1,08	3,23	1,49	0,80
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	0,71	0,51	-	0,26
TiO ₂	-	-	0,17	-	0,31	0,35
P ₂ O ₅	0,59	1,83	0,07	0,12	0,18	1,45
CO ₂	0,45	-	-	-	-	-
SO ₃	12,14	10,55	7,25	12,68	3,48	3,98
H ₂ O -	0,99	0,80	1,42	1,15	1,44	1,45
H ₂ O+	10,65	12,04	10,02	12,92	21,31	16,09
Soma	99,15	99,23	99,66	99,85	99,91	99,44

* Fe₂O₃ = Fe total

sistema, mostrando uma concentração relativa na alteração incipiente do carbonatito (Tabela 10) e, principalmente, no saprólito (Tabela 11). Na for-

mação da laterita, em vista do pH mais baixo (ácido), tendem a mobilizar em proporção elevada, decaindo, significativamente, os seus teores (Tabela

12). As Figuras 4, 5 e 6 mostram que o padrão de distribuição não se modifica em relação ao padrão encontrado nas rochas inalteradas. Ocorre, entre-

Tabela 6 - Análises químicas de elementos maiores de amostras de laterita.

Amostra	IV.1.0	X.3.0	X.4.2	XI.2.0	XII.6.0	XII.7.0	XIII.1.0	XIII.5.0
SiO ₂	2,28	4,25	3,60	2,09	4,16	5,3	3,12	4,03
Al ₂ O ₃	0,45	1,05	-	-	1,59	4,34	0,05	1,05
Fe ₂ O ₃ *	59,62	64,04	64,20	66,98	57,38	54,45	66,32	64,15
FeO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MnO	2,90	4,12	5,41	5,07	5,37	5,62	3,69	6,55
MgO	0,41	0,45	0,26	0,30	0,26	0,29	0,34	0,32
CaO	-	-	-	-	-	-	0,27	-
BaO	12,25	6,95	5,60	9,50	8,85	8,85	10,20	8,50
SrO	-	-	0,06	-	-	-	0,06	0,08
Σ ETR ₂ O ₃	0,17	0,23	0,34	0,25	0,40	0,30	0,22	0,47
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	0,07	0,11	-	0,23
P ₂ O ₅	1,45	0,13	2,07	0,07	0,10	0,24	0,05	0,32
SO ₃	6,42	3,72	2,94	5,15	4,94	4,43	5,37	4,47
H ₂ O -	1,45	1,07	1,08	0,39	1,19	2,20	0,55	0,64
H ₂ O+	12,09	13,20	14,21	9,32	14,99	13,15	9,44	8,75
Soma	9,49	99,21	99,77	9,12	99,30	99,28	99,68	99,56

* Fe₂O₃ = Fe total**Tabela 7** - Elementos traço em carbonatito com alteração incipiente. Dados: Au = ppb, demais = ppm.

Amostra	I.3.2	II.2.5	III.4.4	III.4.5	III.5.2	III.4.6
Au	66	44	32	130	25	48
As	8	14	16	72	24	28
Co	7	8	6	10	10	8
Cr	22	20	34	64	25	12
Hf	<0,5	<0,5	0,6	0,9	<0,5	<0,5
Mo	6	22	12	<5	8	<5
Sb	3,0	5,4	5,2	3,5	2,5	3,0
Sc	8,1	15	7,5	19	3,2	5,5
Nb	485	95	259	570	669	568
Ta	2	3	3	5	3	2
Th	280	580	350	331	450	375
U	5,8	3,4	8,5	20,0	7,5	4,6
W	<3	<3	<3	<3	<3	<0,3
Zn	450	500	520	670	430	320
Zr	268	139	85	109	107	114
Th/U	48	170	41	16	60	81
Nb/Ta	242	32	86	114	223	284
(Nb/Ta)/Th	0,87	0,05	0,25	0,34	0,50	0,76

tanto, diminuição da inclinação das linhas, o que concorda com a gradativa diminuição das razões ETRL/ETRP, La/Lu e La/Yb, conforme ilustram as Tabelas 3, 10, 11 e 12. Este fato mostra que o intemperismo altera a partição desses elemen-

tos, retendo mais os ETRP que os ETRL, concordando com o que fora observado por Formoso *et al.* (1989). Na fácies laterita, observa-se uma anomalia positiva de Ce (Fig. 6), não existente na rocha sã (Fig.3) e nem na maior parte das amos-

tras de carbonatito com alteração incipiente (Fig. 4) ou de alterita (Fig. 5). Para Formoso *et al.* (1989), a ocorrência de anomalia positiva de Ce na alteração laterítica é fato normal, mas não universal, estando ligada à fixação maior deste ele-

Tabela 8 - Elementos traço em alterita. Dados: Au = ppb, demais = ppm.

Amostra	II.4.2.b	I.3.2.b	III.1.3	VII.1.1.b	XII.3.0	XIII.4.0
Au	75	84	66	130	32	86
As	26	14	12	72	24	15
Co	6	10	8	10	13	14
Cr	26	30	42	64	23	25
Hf	<0,5	<0,5	0,7	0,9	<0,5	0,5
Mo	<5	6,5	0,5	<5	<5	<5
Sb	3,0	<1,5	1,5	<1,5	3,0	<1,5
Sc	15	9,1	12	38	9,1	4,5
Nb	114	48,5	78	98	124	327
Ta	10	7	9	4	5	3
Th	650	725	585	717	680	490
U	27,8	24,4	28,6	20,0	33,4	29,8
W	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Zn	450	540	485	1300	384	586
Zr	245	262	81	170	81	288
Th/U	23	30	20	36	20	16
Nb/Ta	11	7	9	24	25	109
(Nb/Ta)/Th	0,09	0,08	0,10	0,09	0,09	0,12

Tabela 9 - Elementos traço em lateritas. Dados: Au = ppb, demais = ppm.

Amostra	IV.1.0	X.3.0	X.4.2	XI.2.0	XII.6.0	XII.7.0	XIII.1.0	XIII.5.0
Au	26	79	24	30	34	22	19	26
As	25	27	15	25	30	27	13	25
Co	12	8	10	26	17	14	20	13
Cr	10	13	12	18	24	22	29	18
Hf	1,5	3,9	1,6	2,2	2,6	2,5	1,1	2,2
Mo	16	11	14	12	16	18	22	23
Sb	0,8	1,8	1,5	1,3	2,2	1,7	1,2	0,9
Sc	1,1	1,2	0,5	2,3	5,1	2,4	2,7	9,1
Nb	68	55,5	45,5	23,1	64,5	139	59	76
Ta	2	1	4	3	5	2	1	2
Th	980	941	868	835	797	780	638	694
U	33,3	25,1	32,5	42,2	49,3	23,4	32,5	51,2
W	8	10	7	8	9	7	5	8
Zn	1200	1600	1400	1300	1700	1500	2000	1500
Zr	169	349	141	27,1	169	163	65	250
Th/U	29	37	27	20	16	33	20	14
Nb/Ta	34	55	11	8	13	69	59	38
(Nb/Ta)/Th	0,03	0,06	0,01	0,01	0,02	0,09	0,01	0,05

mento, em vista de sua oxidação de Ce^{+3} para Ce^{+4} .

QUÍMICA MINERAL

Química dos carbonatos

Através de microsonda eletrônica, foram detalhadas as

composições dos carbonatos, tanto rombédricos quanto a synchisita, por serem os principais minerais constituintes das rochas carbonatíticas estudadas. Os resultados são apresentados sob forma de fórmulas estruturais calculadas em base a 6 oxigênios (Tabelas 13, 14 e 15).

A composição dos carbona-

tos romboédricos zonados (primeira fase de cristalização) varia do centro para a periferia, sendo o centro geralmente menos cálcico e mais ferroso (Tabela 13). Caracterizam-se por apresentar bandas de Fedolomita, que, eventualmente, gradam para bandas de dolomita, ocorrendo ankerita na

Tabela 10 - Elementos terras raras em rocha carbonatítica com alteração incipiente. Dados em ppm.

Amostra	I.3.2	II.2.5	III.4.4	III.4.5	III.5.2	III.4.6
La	3437	3100	4500	5600	3371	3825
Ce	5799	5300	7694	11000	6622	7513
Nd	1632	1400	2132	3700	2227	2527
Sm	189	171	248	493	297	336
Eu	46,4	41,8	66,7	117	70,4	79,9
Gd	136	121	176	278	167	190
Tb	16,3	13,6	19,7	24,8	14,9	19,9
Dy	56,1	43,1	62,6	68,5	41,2	46,8
Yb	1,1	1,2	1,7	3,3	2,0	2,3
Lu	0,28	0,21	0,35	0,66	0,42	0,50
La/Ce	0,59	0,58	0,58	0,51	0,51	0,51
ETRL/ETRP	52,9	55,9	56,2	55,7	55,8	55,0
La/Lu	12275	14762	12857	8485	8026	7650
La/Yb	3125	2583	2647	1697	1686	1663

Tabela 11 - Elementos terras raras em alterita. Dados em ppm.

Amostra	II.4.2.b	I.3.2.b	III.1.3	VII.1.1.b	XII.3.0	XIII.4.0
La	5503	4520	2408	12000	1073	969
Ce	9408	7727	4730	12600	8880	4080
Nd	2485	2041	1591	2300	1761	1200
Sm	303	249	212	247	414	233
Eu	74,2	60,9	50,3	57,3	102	61,5
Gd	215	176	119	207	248	142
Tb	24,1	19,8	10,7	16,7	27	15,6
Dy	76,5	62,8	29,5	43,8	79,6	52
Yb	2,1	1,7	1,4	2,8	10,0	8,8
Lu	0,42	0,32	0,33	0,63	1,4	1,2
La/Ce	0,58	0,58	0,51	0,95	0,12	0,23
ETRL/ETRP	55,9	56,0	55,9	100,4	33,4	29,8
La/Lu	13102	14125	7297	19048	766	808
La/Yb	2620	2659	1720	4286	107	110

Tabela 12 - Elementos terras raras em lateritas. Dados em ppm.

Amostra	IV.1.0	X.3.0	X.4.2	XI.2.0	XII.6.0	XII.7.0	XIII.1.0	XIII.5.0
La	103	140	207	181	290	218	230	570
Ce	887	1200	1774	1500	2400	1800	1000	2400
Nd	296	400	591	298	476	357	449	706
Sm	93,1	126	186	70,0	112	84,0	106	137
Eu	22,5	30,4	44,9	17,2	27,5	20,6	24,8	36,2
Gd	41,4	-	82,8	41,9	67	50,3	51	84
Tb	3,6	5,2	7,7	4,6	7,3	5,5	5,1	9,2
Dy	11,3	15,3	22,6	13,4	21,5	16,1	14,4	30,6
Yb	3,0	4,0	5,9	1,7	2,7	2,0	1,7	5,2
Lu	0,45	0,52	0,82	0,22	0,37	0,33	0,22	0,7
La/Ce	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,23	0,24
ETRL/ETRP	23,5	23,4	23,4	33,4	33,4	33,4	25,0	29,7
La/Lu	228,9	269,2	252,4	822,7	783,8	660,6	1045,5	814,3
La/Yb	34,3	35,0	35,1	106,5	107,4	109,0	135,3	109,6

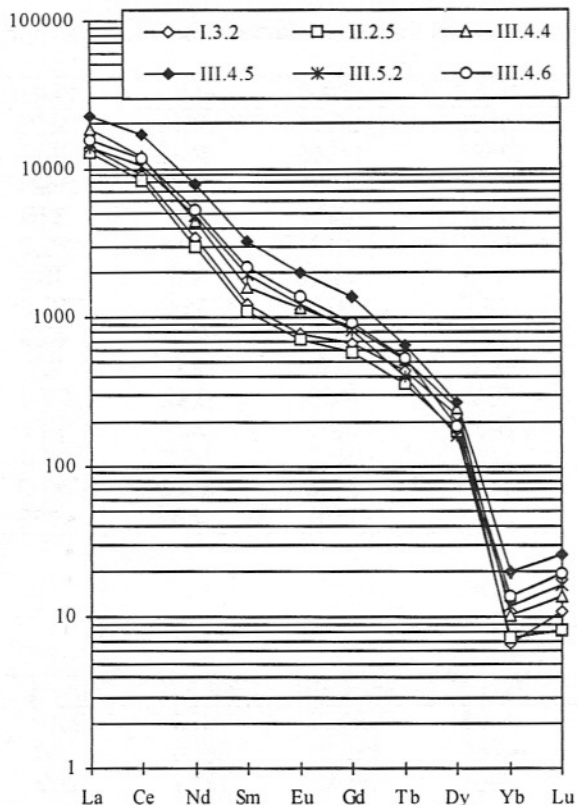


Figura 4 - Distribuição dos elementos terras raras em amostras de carbonatito com alteração incipiente.

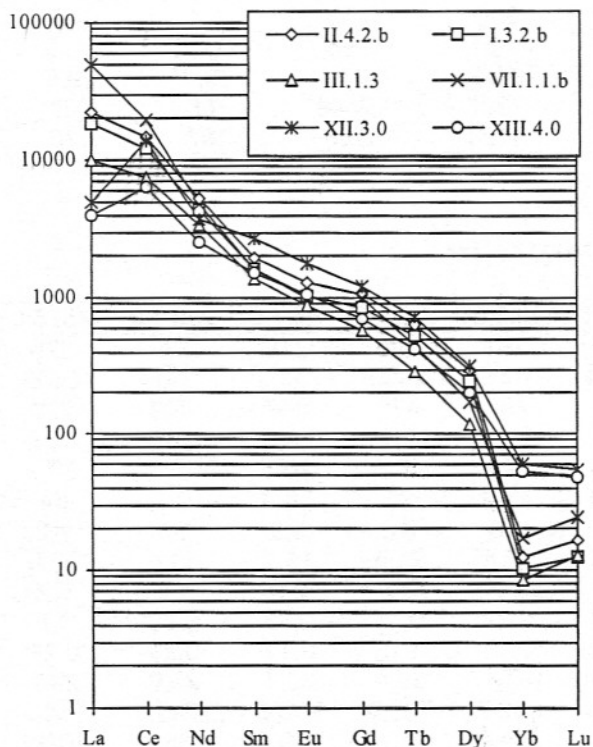
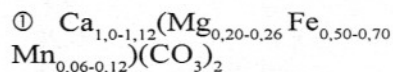


Figura 5 - Distribuição dos elementos terras raras em alterita.

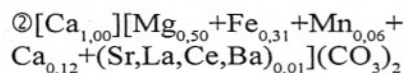
parte central de alguns cristais (Fig. 7). Tanto a Fe-dolomita quanto a ankerita têm significativos teores de Mn, que, em algumas faixas desses carbonatos, ultrapassa o teor de Fe. Segundo Deer *et al.* (1967), a ankerita pode ser representada pela composição constante na fórmula estrutural ①.



A estrutura de Fe-dolomita e ankerita, assim como da dolomita, é semelhante à da calcita, mas existem diferenças, no detalhe, pois apresentam dois sítios (A e B). O sítio A é ocupado inteiramente por Ca, e o sítio B, menor, é ocupado por Mg na dolomita, Mg+Fe+Mn na Fe-dolomita ou por Fe+Mn na ankerita. Dolomita e ankerita constituem, portanto, uma série formada pela substituição de Mg do sítio B por (Fe+Mn). Segundo Deer *et al.* (1967), ocorre uma substituição contínua do Mg da estrutura da dolomita por Fe (e também por Mn) em direção à composição da ankerita. Denomina-se ankerita quando, no sítio B, ocorrer uma proporção de Mg : (Fe+Mn) \leq 4 : 1, utilizando-se o nome Fe-dolomitas para proporções superiores a 4 : 1. Por outro lado, Fe-dolomitas e ankeritas apresentam um excesso de CaCO_3 em relação às suas fórmulas ideais, o que indica que, considerando-se o sítio A ocupado inteiramente por Ca, no sítio B, além de Mg e/ou Fe+Mn, ocorre também uma parcela de Ca. A proporção total de CaCO_3 , nesses minerais, varia em função da temperatura de formação (Goldsmith, 1990), mas raramente ultrapassa 57% (Reeder, 1990).

A maior parte dos pontos

analisados em dolomitas, Fe-dolomitas e ankeritas do carbonatito da Fazenda Varela apresentam composições que se enquadram nesses limites (Tabela 13). As ankeritas mais típicas analisadas em amostras do carbonatito da Fazenda Varela têm o sítio A ocupado somente por Ca, enquanto o sítio B é ocupado por Mg, Fe, Mn, Ca e pequenas proporções de Sr, La, Ce e Ba. A composição mais típica para as ankeritas analisadas é representada pela fórmula estrutural ②.



Observa-se que mesmo a composição mais típica das ankeritas analisadas em amostras do carbonatito da Fazenda Varela afasta-se da composição ideal (fórmula ①), sendo menos ferrosa e mais magnesianas. Assim, os carbonatos contendo Fe mais característicos e abundantes no carbonatito da Fazenda Varela são as Fe-dolomitas. As Fe-dolomitas têm o sítio A ocupado por Ca e o sítio B por

diferentes quantidades de Mg, Fe, Mn, Ca, Ce, La, Ba e traços de Cr. Sua fórmula estrutural varia muito, mas o sítio B é ocupado, em média, por 0,75 de Mg e entre 0,10 e 0,15 de Fe+Mn,

contendo sempre cerca de 0,1 de Ca, sendo que os demais encontram-se em pequenas proporções.

Os carbonatos romboédricos intersticiais límpidos (segunda

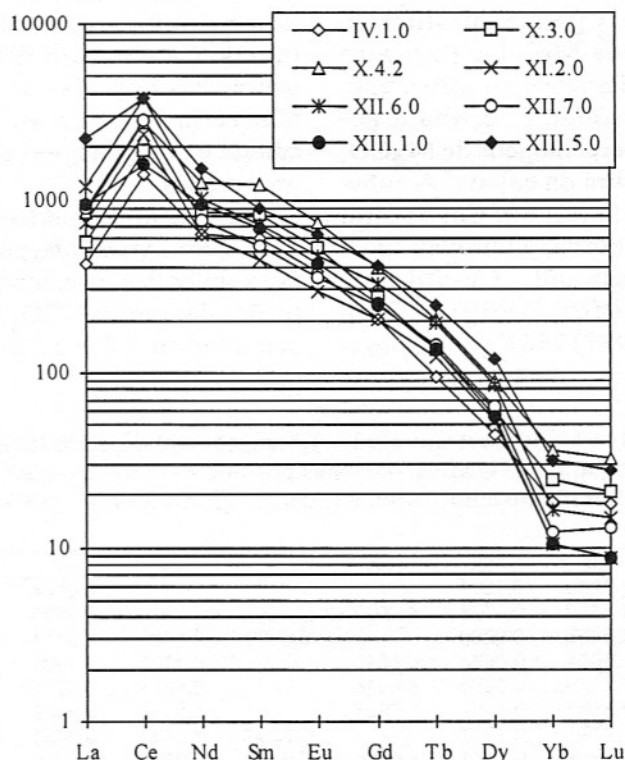


Figura 6 - Distribuição dos elementos terras raras nas amostras de laterita.

Tabela 13 - Fórmulas estruturais de carbonatos romboédricos zonados, calculadas para 6 oxigênios. Análises por microsonda eletrônica. Classificação baseada nas relações de Ca, Mg e Fe+Mn (Goldsmith, 1990; Reeder, 1990; Deer *et al.*, 1967).

Ponto	Ca	Mg	Sr	Ba	Fe	Mn	Cr	La	Ce	CO ₃	Classific.
Ia	1,3571	0,4792	0,0018	0,0025	0,0759	0,0815	-	-	0,0009	2,00	Ankerita
Ib	1,1097	0,7758	0,0029	-	0,0389	0,0711	0,0001	0,0002	0,0012	2,00	Fe-dolom.
Ic	1,1446	0,7153	0,0030	0,0010	0,1149	0,0208	-	-	-	2,00	Fe-dolom.
Id	1,1357	0,7362	0,0049	0,0008	0,1031	0,0173	-	0,0021	-	2,00	Fe-dolom.
Ie	1,1275	0,7542	0,0044	-	0,0973	0,0159	-	-	0,0007	2,00	Dolomita
IIa	1,1399	0,7132	0,0042	0,0031	0,1106	0,0279	-	-	0,0011	2,00	Fe-dolom.
IIb	1,0321	0,9085	0,0144	0,0029	0,0391	0,0027	-	-	0,0003	2,00	Dolomita
IIc	1,0273	0,9141	0,0125	-	0,0392	0,0030	0,0016	0,0016	0,0008	2,00	Dolomita
Va	1,1190	0,7119	0,0010	-	0,1312	0,0341	0,0004	0,0023	-	2,00	Fe-dolom.
Vb	1,1368	0,7388	0,0025	-	0,1022	0,0191	-	-	0,0006	2,00	Fe-dolom.
Vc	1,0322	0,9234	0,0058	0,0020	0,0339	0,0012	-	-	0,0015	2,00	Dolomita
Vd	1,2449	0,6593	0,0039	-	0,0557	0,0027	-	0,0119	0,0215	2,00	Dolomita
Ve	1,1776	0,7926	0,0018	0,0005	0,0258	0,0011	0,0001	-	0,0005	2,00	Dolomita
IVa	1,1206	0,5003	0,0026	0,0013	0,3135	0,0595	0,0007	0,0011	0,0004	2,00	Ankerita
IVb	1,2036	0,4828	0,0034	-	0,2596	0,0506	-	-	-	2,00	Ankerita
IVc	1,1107	0,7467	0,0067	-	0,1148	0,0177	-	0,0024	0,0010	200	Fe-dolom.
IVd	1,0889	0,7834	0,0015	0,0005	0,1123	0,0123	0,0010	-	-	2,00	Fe-dolom.
IVe	1,1226	0,8365	0,0078	-	0,0293	0,0037	-	-	0,0001	2,00	Dolomita

I a IV representam diferentes minerais; a, b, ..., g são bandas do centro para a periferia

fase) são, predominantemente, calcita, Mg-calcita e dolomita, ocorrendo alguns pontos com Fe-dolomita (Tabela 14 e Fig. 7). Segundo Reeder (1990), a Mg-calcita é uma solução sólida incompleta de calcita e dolomita. Diante das limitações estruturais para a substituição de Ca por Mg, determinadas pelas diferenças de raios, essa solução sólida é restrita a pequenas percentagens de $MgCO_3$ na estrutura da calcita. A substituição do Mg por Ca, no sítio B da dolomita, é também limitado, formando Ca-dolomitas (Reeder, 1990). Para Goldsmith (1990), a solubilidade

de $MgCO_3$ em calcita é dependente da temperatura, aumentando em temperaturas mais elevadas. A solubilidade do $CaCO_3$, no sítio B da estrutura da dolomita, também é dependente da temperatura, mas cresce com a temperatura em escala bem menor, em virtude de raio do Ca provocar desordem estrutural. Fora dessas faixas, ocorreria solução sólida de calcita e dolomita, em diversas proporções.

Na Tabela 15, pode-se verificar que a synchisita, para cada duas unidades estruturais, correspondentes a $2(CO_3)$, o Ca ocupa entre 1,0 a pouco mais

de 1,1, sendo que o Ce ocupa cerca de 0,5 e o La entre 0,27 (no carbonatito castanho) e 0,40 (no carbonatito branco). Mg está praticamente ausente, ocorrendo pequena proporção de Sr, Cr e Ba. Considerando-se que o carbonatito castanho parece representar uma oxidação do carbonatito branco, é possível que este processo tenha retirado parte do La da synchisita. O Ce, que pode ter mudado seu estado de oxidação de Ce^{3+} para Ce^{4+} , é precipitado associado às fases amorfas de Fe e Mn, que estão intimamente relacionadas ao carbonato, sendo responsáveis pela sua coloração.

Tabela 14 - Fórmulas estruturais de carbonatos romboédricos límpidos intersticiais e que contornam a synchisita, calculadas para 6 oxigênios. Análises por microsonda eletrônica. Classificação baseada nas relações de Ca, Mg e Fe+Mn (Goldsmith, 1990; Reeder, 1990; Deer *et al.*, 1967).

Ponto	Ca	Mg	Sr	Ba	Fe	Mn	Cr	La	Ce	CO ₃	Classific.
IVf	1,7939	0,1201	-	-	-	0,0844	-	0,0006	0,0009	2,00	Calcita
IVg	1,7199	0,1774	0,0017	-	-	0,1000	0,0011	-	-	2,00	Calcita
IIIa	1,6058	0,2260	-	0,0029	0,1508	0,0114	0,0021	0,0009	-	2,00	Fe-Calcita
IIIb	1,6991	0,0674	0,0013	-	0,1287	0,1000	0,0002	0,0026	0,0006	2,00	Fe-Calcita
IIIc	1,1376	0,6854	0,0015	-	0,1627	0,0118	0,0001	0,0009	-	2,00	Fe-dolom.
IIId	1,6391	0,1457	0,0007	-	0,1928	0,0199	-	0,0004	0,0013	2,00	Fe-Calcita
VIa	1,7794	0,1208	-	0,0066	0,0433	0,0403	0,0042	0,0016	0,0038	2,00	Calcita
VIb	1,7249	0,1449	0,0004	0,0009	0,0188	0,1068	0,0032	-	0,0011	2,00	Calcita
VIc	1,0467	0,9236	0,0169	-	0,0105	-	-	0,0021	0,0003	2,00	Dolomita
VIId	1,0867	0,7520	0,0032	0,0013	0,1489	0,0067	-	0,0009	0,0004	2,00	Fe-dolom
VIIa	1,8232	0,1521	0,0028	0,0014	0,0119	-	0,0007	0,0045	0,0034	2,00	Calcita
VIIb	1,4396	0,1965	0,0055	-	0,1686	0,0110	0,0030	0,747	0,1011	2,00	Fe-Calcita

V a VII representam diferentes minerais; a, b, ..., g são bandas do centro para a periferia

Tabela 15 - Fórmulas estruturais de Synchisita, calculadas para 6 oxigênios. Análises por microsonda eletrônica.

Rocha	Ponto	Ca	Mg	Sr	Ba	Fe	Mn	Cr	La	Ce	CO ₃
Carbonatito marrom	13	1,0889	0,0017	0,0215	0,0012	0,0725	-	0,0082	0,2729	0,5334	2,00
	14	1,1323	-	0,0171	0,0004	-	-	0,0071	0,2799	0,5605	2,00
	15	1,1264	-	0,0202	0,0008	-	-	0,0092	0,2777	0,5657	2,00
	16	1,1240	-	0,0338	-	-	-	0,0038	0,2728	0,5656	2,00
	17	1,1185	-	0,0289	-	0,0094	-	0,0065	0,2889	0,5478	2,00
	18	1,1258	-	0,0315	-	-	-	0,0048	0,2805	0,5574	2,00
	19	1,1518	-	0,0486	0,0032	-	-	0,0062	0,2508	0,5395	2,00
20	1,1151	-	0,0273	0,0012	-	-	0,0060	0,2808	0,5695	2,00	
Média C.	Marrom	1,1230	0,0002	0,0286	0,0009	0,0102	-	0,0065	0,2756	0,5550	2,00
Carbonatito branco	37	0,8944	0,0019	0,0301	-	-	-	0,0114	0,4786	0,5834	2,00
	38	0,9933	-	0,0240	0,0041	-	-	0,0127	0,4361	0,5299	2,00
	39	1,0035	0,0017	0,0317	-	0,0403	-	0,0126	0,4011	0,5091	2,00
	40	1,0207	0,0109	0,0266	0,0178	0,0599	-	0,0177	0,3660	0,4804	2,00
	41	1,0965	-	0,0340	-	-	-	0,0099	0,3369	0,5227	2,00
	42	1,0383	0,0014	0,0348	-	-	-	0,0149	0,4077	0,5039	2,00
Média C.	Branco	1,0077	0,0026	0,0302	0,0036	0,0167	0	0,0132	0,4044	0,5216	2,00
Média	Geral	1,0653	0,0014	0,0294	0,0022	0,0134	0	0,0100	0,3400	0,5383	2,00

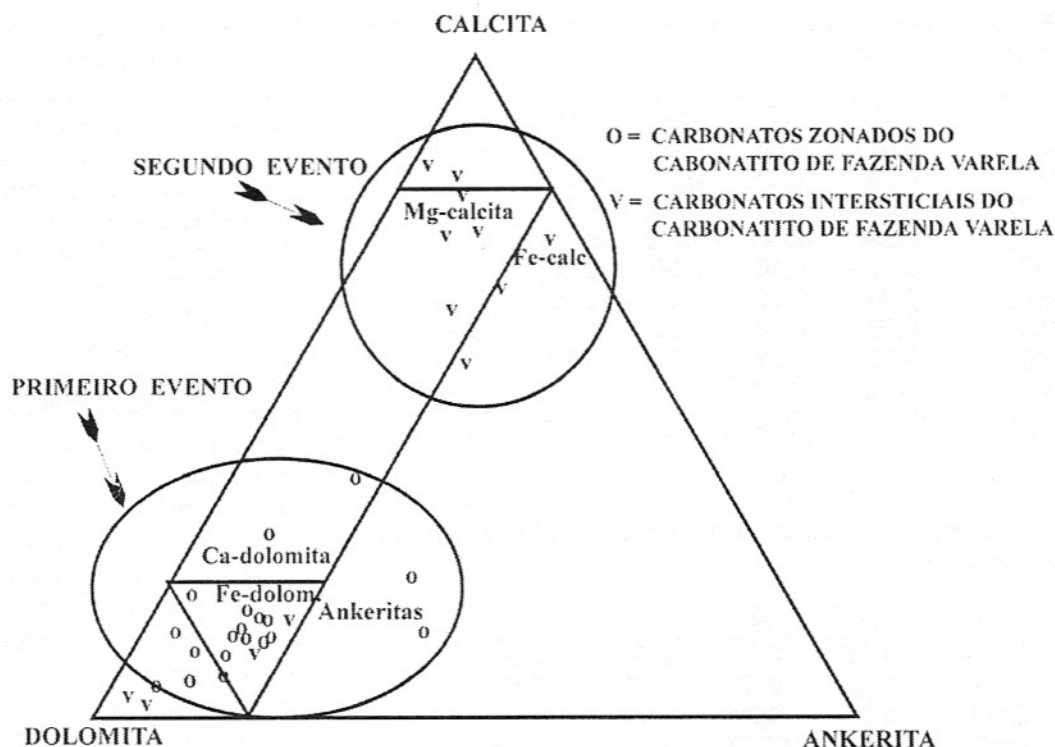


Figura 7 - Classificação dos carbonatos romboédricos em função das proporções entre as fórmulas teóricas de calcita, dolomita e ankerita. Adaptado a partir de Goldsmith (1990), Reeder (1990) e Deer *et al.* (1967).

Química dos produtos de alteração

Os óxidos/hidróxidos de Fe (hematita/goethita), como principais constituintes da intemperização sobre o carbonatito, foram analisados com auxílio da microsonda (Tabelas 16 e 17). Para a goethita (Tabela 16), as análises de microsonda foram realizadas sem considerar a H_2O , a qual foi estimada separadamente através da determinação da perda-ao-fogo. Os resultados confirmam o empobrecimento dos ETR, mas não confirmam os elevados teores de Th e U verificados na análise da amostra total, tanto na goethita quanto na hematita. O fato pode indicar que U e Th poderiam estar vinculados a fases amorfas ou pouco cristalinas. Goethita e hematita apresentam teores de

Al_2O_3 pequenos, mas que são significativos, se considerado o baixo teor inicial na rocha. Na ausência de argilominerais, o pouco de Al presente acompanha o Fe, fixando-se em seus minerais. Da mesma forma, o Mn também acompanha o Fe, fazendo parte de goethita e hematita.

CONCLUSÕES

1. O carbonatito da Fazenda Varela apresenta-se de forma venular, formando veios de espessuras diversas, imersos em brechas formadas pelo evento vulcânico. Apresenta-se nas colorações branca e castanha, sendo esta última uma fácies já oxidada do carbonatito branco.

2. A composição mineralógica do carbonatito é, essencialmente, formada por carbona-

to romboédrico, em duas fases de cristalização, com menores proporções de synchisita (carbonato de Ca e terras raras), associados com barita, tendo apatita, pirocloro e monazita apenas como acessórios. O carbonato romboédrico da primeira fase é zonado, formando bandas que apresentam variedades mais ferrosas no centro (ankerita, Fe-dolomita) e bandas menos ferrosas na periferia (Fe-dolomita, dolomita, eventualmente calcita), sendo a Fe-dolomita a variedade mais abundante. Nos interstícios (segunda fase), o carbonato romboédrico é, principalmente, dolomita e calcita. A synchisita mostra teor de La mais elevado no carbonatito branco que no castanho, mas o teor de Ce não varia, concordando com a idéia de que o castanho representa uma oxidação da variedade branca.

Tabela 16 - Composição química de cristais de goethita, obtida através de microsonda, em alterita.

Ponto	52	53	54	55	56
TiO ₂	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	0,28	0,37	0,28	0,56	0,14
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
Fe ₂ O ₃	86,84	86,41	85,08	80,62	87,38
La ₂ O ₃	0,00	0,10	0,00	0,00	0,02
Ce ₂ O ₃	0,00	0,02	0,02	0,06	0,00
ThO ₂	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00
MnO	0,58	0,51	0,83	0,76	0,49
H ₂ O	11,82	11,94	12,90	17,73	11,94
Soma	99,54	99,43	99,14	99,78	99,98

Tabela 17 - Composição química de hematita, obtida através de microsonda, em laterita.

Ponto	57	59	60	61
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	0,25	0,32	0,67	0,16
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,04	0,01
Fe ₂ O ₃	98,06	97,75	97,44	98,16
La ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO ₂	0,13	0,04	0,07	0,04
MnO	1,08	0,95	0,91	0,55
Soma	99,53	99,09	99,16	98,90

3. O carbonatito encontra-se muito intemperizado, formando duas fácies de alteração bem definidas: alterita e laterita. A alterita apresenta-se sob forma de *córtex* diretamente sobre a rocha sã, numa transição brusca, que se desenvolve em frações de milímetro, ou como saprólito em forma de veios e bolsões que acompanham os veios de rocha inalterada, indicando ser produto do clima atual. A laterita tem disposições diversas, mas forma uma auréola no Morro Norte, indicando ser produto de clima pretérito.

4. A alterita é composta quase exclusivamente por goethita, como mineral neoforado, com ausência de argilominerais, mantendo inalterada a barita. A laterita é composta por hematita e goethita, predominando hematita quando a laterita é mais compacta, ou goethita quando friável.

5. Elevada concentração de Ba e de SO₃, baixos teores de P são característicos do carbonatito analisado. O Sr e os ETR estão presentes no carbonatito em teores tão significativos que constituem elementos maiores, o

primeiro provavelmente acompanhando Ca nos carbonatos romboédricos e os ETR vinculados à synchisita. Destacam-se os teores altos de Th e U, enquanto Nb ocorre em teores muito baixos, para um carbonatito, o que se deve à presença insignificante de pirocloro. Os ETR, quando comparados ao condrito, apresentam um forte enriquecimento absoluto, e relativo dos leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP), no carbonatito inalterado, não sendo constatadas anomalias para Ce e Eu, mas ocorre uma nítida anomalia negativa para o Yb.

6. O principal efeito geoquímico da intemperização consiste na fixação e enriquecimento do Fe, acompanhado pelo Mn, assim como Th e U, em ambas as fácies de alteração (alterita e laterita). U e Th não são encontrados em teor significativo nem na goethita e nem na hematita, sugerindo que esses elementos vinculam-se a fases oxidadas amorfas ou pouco cristalinas. Ba, ETR e P experimentam fixação na alterita e perdas fortes na laterita, por diferentes razões: ETR são liberados da synchisita, retidos por adsorção na alterita e lixiviados na laterita, por controle de pH. O Ba e o P têm sua retenção na alterita pela baixa alterabilidade de barita e apatita, sendo lixiviados somente quando esses minerais forem desestabilizados.

7. Na fácies laterita, observa-se uma anomalia positiva para o Ce, não existente na rocha sã e nem na alterita, fato ligado à sua fixação vinculada à oxidação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOVER NETO, A. (1996) Contribuição ao conhecimento sobre o Complexo Alcalino-Carbonatítico de Chirigué (Paraguai oriental). Aspectos geoquímicos e de alteração intempérica. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.

- ALCOVER NETO, A. & TOLEDO, M.C.M. (1993) Evolução Supérgena do Carbonatito de Juquiá (SP). *Revista do Instituto Geológico, SMA*, **14**(1):31-43.
- CULLERS, R.L. & GRAF, J.L. (1984) Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominantly basic and ultrabasic rocks. *In: P. Henderson (Ed.) Rare earth elements geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, p.237-274.
- CULLERS, R.L. & MEDARIS Jr., G. (1977) Rare earth elements in carbonatite and cogenetic rocks: examples from Seabrook Lake and Callander Bay, Ontario. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **65**:143-153.
- DANI, N. (1998) Petrologia das alterações posmagmáticas e meteóricas das rochas alcalinas de Lages, SC - Brasil. Tese de doutoramento. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 228p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1967) An introduction to the rock-forming minerals. Longmans, Green and Co., London, 528p.
- ELIANOV, M.D.; TIMOCHENKO, L.; CHEVCHENKO, B.E. (1981) La coupe de la croute d'altération des carbonatites. *Journal Géologique*, **41**(3):69-77.
- FORMOSO, M.L.L.; MELFI, A.J.; KRONBERG, B. (1989) Comportamento dos Elementos terras raras no intemperismo tropical. *In: M.L.L. Formoso; L.V.S. Nardi ; L.A. Harmann (Eds.) Geoquímica dos Elementos terras raras no Brasil*. p.109-120.
- GOLDSMITH, J.R. (1990) Phase relations of rhomboedral carbonates *In: R.J. Reeder (Ed.) Carbonates: Mineralogy and Chemistry*. Mineralogical Society of America, **11**:49-96.
- HEINRICH, E.W. (1966) The geology of carbonatites. Rand Mc-Nally, Chicago. 555p.
- KASPUTIN, Y. L. (1981) Specificity of carbonatite-weathering processes. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR*. **247**(1/6):53-56.
- LOUREIRO, F.E.V.L.; FIGUEIREDO, C.M.V.; TOREZAN, M.J. (1989) Os elementos Terras Raras nos complexos carbonatíticos brasileiros. *In: M.L.L. Formoso; L.V.S. Nardi; L.A. Harmann (Eds.) Geoquímica dos Elementos terras raras no Brasil*. p.47-59.
- LOTTERMOSER, B.G. (1988) Supergene, secondary monazite from the Mt. Weld carbonatite laterite, Western Australia. *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie Monatshefte*, **2**:67-70.
- LOTTERMOSER, B.G. (1990) Rare-earth mineralisation within the Mt. Weld carbonatite laterite, Western Australia. *Lithos*, **24**:151-167.
- MENEGOTTO, E. & FORMOSO, M.L.L. (1996) Weathering of the Fazenda Varela Carbonatite - Mineralogical Aspects. *In: Academia Brasileira de Ciências, Anais*, **68**(2):293-294.
- MENEGOTTO, E. & FORMOSO, M.L.L. (1997) Aspectos geoquímicos da alteração intempérica do Carbonatito da Fazenda Varela, região de Lages, SC, Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Geoquímica*, **6**, Salvador. *Anais*, **2**:538-542.
- MÜLLER, P.; MORTEANI, G.; SCHULEY, F. (1980) Discussion of REE distribution patterns of carbonatites and alkalic rocks. *Lithos*, **13**:171-179.
- NIMER, E. (1977) Clima da Região Sul do Brasil. *In: Geografia do Brasil, Região Sul*. Fundação Inst. Bras. Geog. Estatística, Rio de Janeiro, **5**:35-79.
- PEREIRA, V.P. (1995) A alteração do Maciço alcalino-Carbonatítico de Catalão I - Go. Evolução mineralógica. Tese de doutoramento, Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS e Universidade de Poitiers.
- REEDER, R.J. (1990) Crystal chemistry of the rhomboedral carbonates. *In: R.J. Reeder (Ed.) Carbonates: Mineralogy and Chemistry*. Mineralogical Society of America, **11**:01-48.
- SCHEIBE, L.F. (1974) Nota preliminar sobre os carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, **28**, Porto Alegre. *Breves Comunicações*.
- SCHEIBE, L.F. (1976) Fazenda Varela carbonatite, Lages, Santa Catarina, Brazil. *In: Simpósio Internacional de Carbonatitos*, **1**, Poços de Caldas. *Anais*, p.137-146.
- SCHEIBE, L.F. (1979) Estudo Petrológico e Geoquímico dos carbonatitos da Fazenda Varela, SC. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 120p.
- SCHEIBE, L.F. (1986) Geologia e Petrologia do distrito Alcalino de Lages, SC. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 224p.
- SCHEIBE, L.F. (1989) A geoquímica dos elementos Terras Raras nas rochas alcalinas, carbonatitos e kimberlitos; estudos de ocorrências brasileiras. *In: M.L.L. Formoso; L.V.S. Nardi; L.A. Harmann (Eds.) Geoquímica dos Elementos terras raras no Brasil*. p.37-46.

- SCHEIBE, L.F. & FORMOSO, M.L.L. (1978) Estudo geoquímico de carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 30, Recife. Resumos, 1:213.
- SCHEIBE, L.F. & FORMOSO, M.L.L. (1982) Contribuição da geoquímica das terras raras à caracterização dos carbonatitos da Fazenda Varela, Lages, SC. *Revista Brasileira de Geociências*, 12(4):553-561.
- VAN WAMBEKE, L. (1964) La géochimie des roches du Kaiserstuhl. *In: L. Van Wambeke - Les roches alcalines et les carbonatites du Kaiserstuhl*. EURATOM, p.93-154.