ASPECTOS PETROLÓGICOS DO MAGMATISMO ALCALINO CRETÁCEO DE SANTO ANTÔNIO DA BARRA, GO

LÚCIA CASTANHEIRA DE MORAES*

ABSTRACT PETROLOGICAL ASPECTS OF CRETACEOUS ALKALINE MAGMATISM OF SANTO ANTÔNIO DA BARRA, GO. Mela-analcimite, olivine mela-analcimite, nepheline analcimite, phonolite, melilite mela-nephelinite, alkali basalt and basanites, both as flows and piroclastic accumulations, make up the alkaline volcanic sequence that occurs near Santo Antônio da Barra, in southwestern Goiás. Volcanism is related to the N40W Rio Verde-Iporá lineament of Cretaceous age. The volcanics show a trend of the fractional crystallization: olivine mela-analcimite → phonolite, with the mela-analcimites as the most abundant member. The relationship of rocks in this trend with melilite mela-nephelinite and basaltoid are still obscure. Petrographic and petrochemical features demonstrate the sodic/potassic mixed nature of the suite.

INTRODUÇÃO As rochas vulcânicas alcalinas de Santo Antônio da Barra foram objeto de estudo por Bez et al. (1971), Hasui et al. (1971), Gaspar (1977), Gaspar & Danni (1981) e Moraes (1984).

Esta manifestação vulcânica ocupa uma área de mais de 400 km² na porção sudoeste de Goiás e pode ser considerada como a facies extrusiva das manifestações magmáticas que compõem o Alinhamento Tectono-magmático do Cretáceo Superior (Danni 1984), de direção noroeste. A figura 1 mostra a região estudada neste trabalho. As rochas mostram-se bem expostas em toda a área de ocorrência e, de modo geral, estão bem preservadas. Formam principalmente derrames e depósitos de brechas piroclásticas, com tufo e lapillitos subordinados, cortados por inúmeros condutos vulcânicos e diques, e foram datadas por Hasui et al. (1971) em 85 ± 8 Ma (método K/Ar, rocha total). Essas rochas se assentam sobre os basaltos da Formação Serra Geral e são recobertos por arenitos quartzosos cuja sedimentação se iniciou antes do final do vulcanismo: este fato é comprovado pela presença de lentes de arenito próximo ao topo da sequência vulcânica (Fig. 2). O volume de rochas piroclásticas e a abundância de calcita e zeólitas em vênulas e amígdalas atestam o caráter fortemente explosivo do vulcanismo.

PETROGRAFIA A classificação petrográfica das rochas ígneas é dificultada por dois motivos principais: 1. as rochas mostram sempre matriz microcristalina e/ou vítrea, o que torna difícil a identificação das diversas fases mineralógicas, em particular as fêlsicas, e, às vezes, impossibilita sua classificação modal; 2. a presença predominante de analcima como feldspatóide torna irreal a classificação por diagramas normativos, uma vez que a analcima tem mais sílica que a nefelina mas menos que a albita, minerais estes normalmente usados nos diagramas de classificação.

No entanto, sua mineralogia não é muito complexa e os minerais predominantes são augita, analcima e olivina, com quantidades variáveis de feldspato potássico, plagioclásio, nefelina, flogopita e melilita. A passagem de um termo para outro é assinalada por variações de natureza e/ou abundância das fases minerais, como se verá a seguir. A presença de analcima como principal feldspatóide dessas rochas já foi objeto de estudo por Gaspar & Danni (1979), que a caracterizaram por suas propriedades ópticas, pelo uso de raios X e pela composição química (análises com microsonda eletrônica). Esses autores concluíram que a analcima é um mineral primário

Figura 1 - Mapa de localização

nessas rochas, isto é, descartaram a hipótese de atuação de um processo de analcimização na área. A prancha 1 mostra algumas feições petrográficas representativas dos termos estudados.

A classificação petrográfica segue a recomendada por Streckeisen (1980) e Le Bas (1977) e se baseia principalmente no índice de coloração e na natureza e proporção dos minerais fêlsicos. A tabela 1 mostra os dados modais disponíveis e os resultados normativos.

Olivina mela-analcimito O prefixo olivina diferencia essas rochas dos mela-analcimitos indicando possuírem mais de 10% de olivina modal. Caracterizam-se por apresentar estrutura maciça, cor cinza-escuro, textura microporfírica contendo até 30% de fenocristais de olivina e, mais raramente, de augita. Alguns derrames são ricos em nódulos cognatos de

* Departamento de Geologia IGC-UFMG. Campus Universitário Pampulha, Caixa Postal 2608, CEP 30270, Belo Horizonte, MG, Brasil

Figura 2 - Bloco-diagrama esquemático das unidades cretácicas, área de Santo Antônio da Barra (Goiás)

olivina. Ao microscópio, os fenocristais de olivina se mostram parcialmente reabsorvidos e com auréolas reacionais para flogopita. A matriz é formada por uma trama de micrólitos, nos quais predomina clinopiroxênio seguido por analcima, titanomagnetita, olivina, perovskita, nefelina e cromospinelio (?).

Mela-analcimito É o termo petrográfico mais abundante na área e abriga rochas bastante variadas textural e composicionalmente, conforme se depreende da análise modal. No geral, são rochas porfíricas com matriz afanítica a fina, de cor cinza-escuro e podem ser ricas em amígdalas preenchidas por zeólitas e/ou carbonato. Os fenocristais são de titanaugita, analcima e olivina, e apresentam diâmetro médio de 0,3 cm. Ao microscópio, essas rochas variam de holo a hipocrystalinas. Os fenocristais de titanaugita são frequentemente maclados e zonados, às vezes com bordos de aegirina-augita. A presença de olivina se restringe a fenocristais em proporções muito variáveis (de 1% a 8% volume). O feldspatóide típico é a analcima, que ocorre tanto como fenocristais euédricos, formando

textura glomeroporfírica, quanto intersticialmente na matriz. A nefelina só raramente está presente e se restringe à matriz. Perovskita e titanomagnetita podem ocorrer como microfeno-cristais e na matriz.

Nefelina-analcimito A esta classificação correspondem rochas ricas em analcima, cujo conteúdo de minerais félsicos é superior ao de máficos. Nessas rochas, a nefelina está presente em quantidade superior a 10% na moda. Caracterizam-se por apresentar estrutura maciça, cores em tons de cinza-claro, serem ricas em aglomerados de fenocristais de analcima formando rosáceas e em amígdalas preenchidas por zeólita e/ou carbonato. Em lâmina delgada destacam-se as rosáceas de analcima e microfeno-cristais de nefelina e magnetita, augita, apatita, zeólitas e ilmenita. A presença de flogopita intersticial é comum. Ao contrário dos outros termos petrográficos, estas rochas normalmente apresentam alteração hidrotermal marcante na forma de oxidação, zeolitização e formação de egrina e ilvaíta.

Fotomicrografia 1 - Nódulo olivínico em olivina mela-analcimito. A rocha é porfírica. Os fenocristais de olivina acham-se em uma matriz composta basicamente por micrólitos de clinopiroxênio, além de opacos, olivina e analcima. LP

Fotomicrografia 2 - Mela-analcimito; fenocristais de analcima (com inclusões orientadas) e clinopiroxênio imersos em uma matriz fina composta de clinopiroxênio, analcima, perovskita, ilmeno-magnetita e zeólitas. LN

Fotomicrografia 3 - Matriz de melilita mela-nefelinito; os cristais tabulares alterados são de melilita (me). Ocorrem ainda clinopiroxênio (cpx), nefelina (ne), ilmeno-magnetita e perovskita (pe). LN

Fotomicrografia 4 - Textura típica dos fonólitos. Pequenas ripas de feldspato potássico e agulhas de egrina, orientadas pelo fluxo magmático, envolvem fenocristais de feldspato potássico e augita (aqui, totalmente oxidados). LN

Melilita melanefelinito Este termo tem ocorrência localizada. A rocha tem aspecto maciço, é afanítica com raros fenocristais de clinopiroxênio e possui cor cinza-escuro. A porcentagem média de nefelina na moda é de 14% e superior à de analcima. Ao microscópio, apresenta microfenocristais de augita, perovskita, melilita, nefelina e rara olivina em uma matriz microlítica de clinopiroxênio, nefelina, perovskita, magnetita e minerais félsicos (analcima e zeólitas?) intersticiais.

Álcali-basalto e basanita De ocorrência bastante restrita, essas rochas constituem os únicos tipos portadores de plagioclásio. Os basanitos são texturalmente maciços, afaníticos e porfíricos (augita), e possuem quantidades variáveis de plagioclásio. Suas relações de contato com os mela-analcimitos – aos quais se associam – são muito difusas. Por outro lado, os álcali-basaltos são caracteristicamente isentos de fenocristais, são afaníticos, e muito fraturados. Em lâmina delgada, as texturas predominantes são glomeroporfírica (microfenocristais de clinopiroxênio e minerais opacos), pilotaxítica e interstetal. A composição do plagioclásio varia de An64 a An60. A olivina é rara.

Fonólito Essas rochas só foram identificadas como componentes de lapillitos de um conduto vulcânico e como blocos em conglomerado vulcanoclástico. O primeiro, face à ação hidrotermal, encontra-se alterado e fortemente oxidado, com alta razão Fe_2O_3/FeO . O segundo tipo é de granulação fina, com textura porfírica e de fluxo marcante e cor cinza-médio. Microscopicamente, mostra fenocristais de sanidina e microfenocristais de aegirina-augita, magnetita e esfero isolados em uma matriz muito fina, fluidal, composta de aegirina, magnetita, zeólita e nefelina. O esfero, assim como a apatita, é acessório.

Os dados petrográficos indicam a existência de uma série de rochas bem definidas, cujo pólo terminal é exemplificado pelos fonólitos. Os olivina mela-analcimitos representam os termos menos evoluídos. As relações entre esta série, as rochas basálticas e os melilita mela-nefelinitos não são ainda claras e necessitam de mais dados para ser definidas.

ASPECTOS PETROQUÍMICOS E PETROLÓGICOS

Entre os diversos tipos petrográficos foram selecionadas 24 amostras para análise química. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 2, na qual foram organizados em

Nº de campo	178a	225	233	17	112a	121	22	45	73	20	191	32	73a	115	89	35a	25	265	184	178	202	215	205	262
Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Moda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PLAG																								33,60
K FELD																								7,90
NEF				3,80		0,50									18,22				14,40	13,40				
ANALC	11,88*			22,90	38,90	29,40	24,80		22,40	28,80*	37,80				29,18				13,00	13,00				
AUG.	51,15			59,00	51,20	55,00	59,50		58,30	54,40	47,80				20,70				45,30	52,20				27,60
OL.	21,16			1,10	0,20	0,90									1,00									2,30
MELILITA																								
OPACOS	10,31			8,60	7,80	6,50	9,20		8,80	14,90	12,80				8,98				15,50	11,00				16,10
PEROV.	1,23						0,80								0,53				8,60	5,20				
AP	0,05					1,90	0,20								2,57									
ZEOL	2,10			2,60	0,40	2,30	2,90		9,50	1,90	1,40				10,80									9,70
CARB.	0,38																							
ALTER.	1,80			2,10	1,60	4,40	1,70		1,0		0,30				7,9 ⁺ _z									
X	8														3									
Norma																								
OR	1,65	2,70	4,20	5,44	5,00	3,42	10,43	2,53	10,11	12,12	18,87	13,56	45,10	16,03	14,12	20,35	53,16	31,89	-	-	10,22	12,06	13,16	10,04
AB	3,22	16,75	14,55	19,75	19,62	19,10	18,07	20,97	23,36	20,97	20,26	26,99	3,27	20,20	33,03	12,60	22,46	40,05	-	-	13,51	24,33	23,86	28,98
AN	10,86	5,27	4,62	10,77	10,21	17,15	9,06	12,90	9,97	14,06	12,25	13,10	13,71	18,87	8,03	18,19	2,90	1,64	11,85	15,04	11,11	15,48	13,68	16,04
LE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,37	6,93	-	-	-	-
NE	-	7,78	4,61	0,56	7,75	3,52	6,40	4,55	6,95	8,33	6,44	3,56	-	0,73	11,35	4,23	3,19	14,28	12,81	9,12	6,14	4,16	-	4,44
WO	14,53	16,67	20,75	20,78	17,20	16,50	17,99	17,05	14,46	12,63	12,12	8,39	1,93	3,27	5,01	11,07	1,27	3,79	18,53	21,28	17,67	10,88	9,61	9,96
DI	11,22	12,19	14,59	14,33	11,71	10,35	11,25	10,43	9,25	7,34	6,71	4,69	1,08	19,70	2,74	5,86	0,65	1,00	10,50	11,33	11,50	6,24	6,06	5,35
FS	1,77	2,91	4,40	4,76	4,15	5,14	5,65	4,27	4,71	4,95	3,36	0,77	1,13	2,09	4,87	0,59	2,98	7,26	9,28	4,96	4,16	2,96	4,29	
FO	27,99	19,69	13,22	3,78	4,42	4,40	2,73	4,13	2,40	2,76	1,49	4,17	1,24	7,59	4,20	3,20	2,85	0,15	2,98	1,28	3,16	4,85	3,26	3,68
OL	4,87	5,18	4,39	1,38	1,72	2,41	1,51	2,47	1,22	1,95	1,21	3,29	0,98	4,80	3,53	2,93	2,89	0,49	2,27	1,16	1,50	3,56	1,75	3,26
MT	3,99	3,23	3,92	3,37	3,43	3,64	3,38	4,01	3,27	2,97	2,88	3,77	3,70	3,67	2,77	3,33	2,08	1,08	4,62	4,66	3,76	3,33	3,99	3,40
CM	0,27	0,25	0,14	0,07	0,08	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	0,03	0,03	0,03	-	-	-
ILM	7,89	4,41	6,79	8,32	8,76	7,68	3,38	8,69	8,75	5,68	6,06	8,93	8,85	8,76	5,45	5,66	4,86	1,04	10,27	9,71	9,50	5,81	10,92	6,15
PIR	-	0,03	-	-	-	0,04	-	-	-	0,03	0,03	-	-	-	0,04	0,03	0,04	0,03	-	-	-	5,81	10,92	6,15
AP	1,28	1,10	1,26	1,90	1,78	2,14	1,86	1,92	2,01	2,02	1,68	1,96	1,90	3,15	2,83	1,83	1,39	0,26	3,33	3,25	1,99	1,71	3,30	1,40
FL	-	-	-	-	-	0,09	-	-	0,12	0,13	-	-	-	-	6,14	0,07	0,16	0,10	-	-	-	0,12	-	0,12
ZR	0,09	0,05	0,01	0,15	0,12	0,15	0,11	0,14	0,13	0,09	0,11	0,10	0,14	0,15	0,03	0,08	0,15	0,08	0,20	0,20	0,09	0,08	0,15	0,08
CS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,76	1,31	-	-	-	-
HY	6,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,37	-
FS	0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,64	-

Tabela 1 - Resultados modais e normativos das rochas ígneas alcalinas de Santo Antônio da Barra, GO. Na moda, $\bar{X}$ significa número de amostras analisadas; quando não indicado, significa que a moda é da amostra em questão. * = inclui alguma nefelina; ▲ = inclui alguma zeólita; x = biotita e minerais opacos; + = carbonato. Amostras de 1 a 3, olivina mela-analcimitos; 4 a 13, mela-analcimito; 14 a 16, nefelina analcimito; 17 e 18, fonólitos; 19 e 20, melilita mela-nefelinitos; 21 a 24, rochas basálticas

Nº de campo Amostra	178a	225	233	17	112a	121	22	45	73	20	191	32	73a	115	89	35a	25	265	184	178	202	215	206	262
% peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	40,50	42,00	42,57	45,34	39,94	42,00	42,99	40,75	42,52	42,30	44,60	43,52	46,41	39,68	42,40	42,80	54,70	55,60	36,63	37,22	39,94	45,40	45,34	46,50
TiO ₂	4,20	2,70	3,89	4,43	5,29	4,30	4,27	4,91	5,22	3,50	3,60	4,94	4,58	4,54	3,60	3,20	2,70	0,74	5,37	5,06	5,61	3,30	5,73	3,50
Al ₂ O ₃	4,91	6,60	5,72	8,88	9,72	11,30	9,90	9,95	11,39	13,40	13,40	13,16	13,68	13,68	15,00	13,80	16,00	19,30	10,53	10,30	9,61	13,60	12,02	14,60
Fe ₂ O ₃	2,75	2,59	2,94	2,35	2,71	2,67	2,64	2,97	2,56	2,40	2,23	2,73	2,51	2,49	2,40	2,47	1,51	1,01	3,15	3,18	2,91	2,48	2,74	2,53
FeO	9,76	9,35	10,60	8,44	9,74	9,60	9,50	10,68	9,21	8,65	8,05	9,83	9,03	8,95	8,64	8,88	5,43	3,64	11,34	11,45	10,46	8,94	9,87	9,10
MnO	0,20	0,39	0,20	0,22	0,22	0,27	0,21	0,25	0,24	0,21	0,22	0,19	0,18	0,18	0,26	0,20	0,17	0,17	0,36	0,34	0,11	0,31	0,24	0,20
MgO	22,98	18,80	14,61	8,01	8,30	7,10	6,89	7,04	5,57	5,30	4,00	4,49	4,11	5,06	4,40	4,50	2,00	0,66	5,85	5,23	7,21	5,70	5,63	4,60
CaO	9,87	11,20	12,59	13,24	12,88	13,30	12,95	12,67	11,35	11,70	10,30	8,06	4,57	6,89	6,90	10,70	2,10	3,10	15,32	15,70	13,19	10,00	9,05	9,50
Na ₂ O	0,38	2,30	1,87	2,36	2,66	2,40	2,42	2,66	3,13	2,90	2,70	3,35	0,35	2,42	4,90	1,60	2,80	6,42	2,76	1,97	1,79	3,10	2,81	3,70
K ₂ O	0,28	0,53	0,74	0,93	0,97	0,62	2,00	0,46	1,94	2,40	3,60	2,41	7,50	2,67	3,00	3,70	9,49	7,32	1,57	1,48	1,94	2,20	2,22	2,00
P ₂ O ₅	0,54	0,54	0,58	0,81	0,86	0,96	0,89	0,87	0,96	1,00	0,80	0,87	0,82	1,31	1,50	0,83	0,62	0,15	1,39	1,36	0,94	0,78	1,39	0,64
SO ₃	-	0,05	-	-	-	0,05	-	-	-	0,05	0,05	-	-	-	0,08	0,05	0,05	0,05	-	-	-	0,05	-	0,05
BaO	0,06	0,16	0,13	0,31	0,27	0,32	0,27	0,17	0,16	0,23	0,30	0,21	0,17	0,23	0,33	0,22	0,18	0,18	0,13	0,25	0,22	0,28	0,16	0,17
P.F.	3,27	2,07	2,86	4,69	4,66	4,51	4,96	4,88	4,47	4,93	5,42	4,34	4,28	8,94	5,72	6,09	1,48	1,47	4,18	5,38	5,45	3,44	2,29	2,02
TOTAL	99,70	99,30	99,30	100,00	98,22	99,40	99,89	100,01	98,92	99,00	99,28	98,10	98,19	97,04	99,03	99,24	99,79	99,89	99,89	99,41	98,22	99,61	99,10	99,10
100, Mg/Mg + Fe ⁺²	64,60	60,90	51,70	42,40	39,80	36,50	36,00	34,00	22,50	32,20	27,90	26,20	26,10	30,50	28,30	28,20	22,20	12,30	28,60	26,20	34,80	33,10	30,90	28,20
Fe ₂ O ₃ /FeO na análise	0,48	1,63	2,51	1,08	0,91	1,63	1,80	1,19	1,17	2,00	3,23	1,26	7,60	2,90	2,24	2,21	7,76	1,09	2,50	1,76	0,55	1,05	0,70	1,48
V	220	270	300	350	360	220	290	300	320	440	420	350	280	350	170	440	220	110	380	380	420	390	290	420
Cr	1,500	1,350	700	310	440	14	160	36	21	36	14	7	23	44	7	90	26	14	110	150	130	43	14	36
Co	140	74	96	64	100	46	64	70	78	29	29	60	46	82	31	44	60	11	60	78	64	53	50	37
Ni	510	390	300	88	200	37	92	49	49	48	23	34	38	66	23	68	33	14	60	65	83	50	28	71
Rb	17	32	40	98	59	72	93	68	67	120	110	150	120	220	71	160	110	190	94	50	150	85	35	22
Sr	640	570	660	1,150	910	1,220	800	1,400	1,340	1,450	1,950	890	970	1,700	2,250	770	1,300	2,300	2,170	1,700	670	1,040	1,420	1,020
Mo	11	22	11	12	16	16	12	13	16	32	30	14	12	14	27	37	14	15	14	15	14	32	14	28
Zr	320	300	450	460	480	940	540	540	500	620	510	460	520	790	460	520	600	800	490	420	400	400	460	460
Nb	89	87	120	140	140	250	170	170	160	170	215	130	120	170	235	175	130	110	270	250	150	135	100	110
Y	48	35	58	62	74	120	74	76	81	76	68	71	90	76	96	58	45	50	120	120	71	64	86	58
La	100	80	190	210	260	460	210	360	300	310	410	240	260	360	430	430	140	370	450	480	210	250	140	130
F	-	480	-	-	-	1,260	-	-	-	600	1,360	-	-	-	2,200	1,100	1,378	760	-	-	-	1,275	-	1,200

Tabela 2 - Distribuição dos elementos maiores, menores e em traços nas rochas ígneas alcalinas de Santo Antônio da Barra, GO: 1 a 3, olivina mela-analcimitos; 4 a 13, mela-analcimitos; 14 a 16, nefelina analcimitos; 17 e 18, fonólitos; 19 e 20, melilita mela-analcimitos; 21 e 24, basanitos e álcali-basaltos. Elementos menores em ppm. Amostras 2, 6, 10, 11, 17, 18, 22 e 24 foram analisadas na Geosol. As demais, no Laboratório de Geoquímica do Degeo-UnB

ordem decrescente do valor de magnésio (peso % 100, Mg/Mg + Fe⁺²) dos olivina mela-analcimitos aos fonólitos. Conforme já se explicitou, as relações entre esta série, as rochas basálticas e os melilita mela-nefelinitos não são ainda claras e, por esse motivo, as análises químicas destas estão colocadas à parte, depois dos fonólitos. Caracteristicamente, essas rochas possuem altos valores de K₂O, Na₂O e CaO, baixos valores de SiO₂, além de concentrações elevadas simultaneamente em Ni, Cr, V e em Zr, Nb, Sr, Ba, Ti, Rb, F e Terras-raras leves. Na norma, a ausência de quartzo e presença constante de feldspatóide e olivina são significativas.

Nos gráficos a seguir são apresentados, para comparação, alguns dados das suítes sódica (nefelina) e potássica (leucita) situadas ao longo do Sistema de Rifte da África Oriental e Central, porém, só serão discutidos no final.

O valor de Mg tem sido usado com critério para a identificação de magmas primários – desde que excluídas as rochas cumuladas. No entanto, o valor de Mg de basaltos e, principalmente, de rochas alcalinas é afetado pela oxidação do ferro antes, durante e após a erupção. Esse problema foi minimizado com o recálculo da razão Fe₂O₃/FeO para 0,27 em consonância com os trabalhos sobre rochas alcalinas de Kesson (1973), Wass & Rogers (1980) e Lippard & Truckle (1972). As razões Fe₂O₃/FeO, originais das análises químicas, são apresentadas abaixo do valor de Mg (Tab. 2).

Magmas basálticos primários, em equilíbrio com o manto superior, possuem valor de Mg entre 67 e 77 (Kesson 1973). Le Bas (1978) considera como média um valor de Mg igual a 71 para a associação carbonatito/nefelinito pobre em olivina e 74 para associação álcali-basalto/olivina nefelinito. Neste sentido, como se pode ver na Tabela 2, nenhuma rocha analisada poderia ser considerada originária de um magma primário, mas todas já teriam sofrido forte fracionamento. Essa idéia é reforçada pela presença comum, nos olivina mela-analcimitos, de nódulos cognatos olivínicos.

Em relação aos estágios de cristalização, o valor de Mg normalmente não mostra bem os resultados finais de cristalização, pois Mg e Fe caem muito. Mas é muito importante por mostrar as variações nos estágios intermediários que formam – tanto em volume quanto em tempo – a maior parte da consolidação magmática. A figura 3 mostra gráficos de valor de Mg versus óxidos de elementos maiores em que se observa uma variação ordenada de MgO, Al₂O₃, CaO e TiO₂, evidenciando um *trend* de diferenciação dos olivina mela-analcimitos até os fonólitos. Para os outros óxidos, esta relação é menos visível. O enriquecimento em CaO em direção aos mela-analcimitos pode estar representando não só a cristalização predominante de clinopiroxênio como também de perovskita, abundante em algumas rochas deste grupo. TiO₂ também mostra enriquecimento nos termos intermediários. Seu com-

Figura 3 - Elementos maiores versus valor de magnésio

portamento, entretanto, é mais complicado pois está presente nas rochas em pelo menos quatro fases cristalinas, a saber: titanaugita, perovskita, magnetita titanífera e esfeno. Al_2O_3 se enriquece em direção aos termos mais diferenciados nos quais se concentram feldspatóides e feldspatos. SiO_2 , Na_2O e K_2O mantêm-se aproximadamente constantes durante a diferenciação, mas possuem valores claramente superiores nos fonólitos. FeO e Fe_2O_3 também se mantêm aproximadamente constantes, mas suas curvas caem em direção aos fonólitos (menos ricos em magnetita e clinopiroxênio e sem olivina).

As rochas basálticas caem dentro do *trend*, de modo geral dentro do campo dos mela-analcimitos, evidenciando comportamento semelhante às outras rochas da suíte. As rochas à melilita, no entanto, mostram comportamento singular situando-se na maioria das vezes, afastadas das curvas de diferenciação. O *trend* pode ser visto também nas figuras 4, 5, 6, 8 e 9.

Na figura 4, o enriquecimento inicial em CaO confirma o importante papel dos minerais cálcicos nos mela-analcimitos. Nas fases finais, há uma queda em CaO acompanhada por forte enriquecimento relativo de Al_2O_3 representando, principalmente, a cristalização predominante de feldspatóides nos nefelina analcimitos e de feldspato alcalino e feldspatóide, nos fonólitos.

A disposição da curva $\text{CaO} \times \text{MgO}$ (Fig. 5), porém, sugere uma história magmática complexa (também observada em relação à curva representativa das suítes potássicas africanas);

Figura 4 - Diagrama triangular $\text{MgO} \times \text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$ (% peso): 1. Santo Antônio da Barra; 2. suíte sódica africana; 3. suíte potássica africana. Os dados das suítes sódica e potássica são de Sorensen (1974, p. 58), Hughes (1982, p. 323), Gerasimovsky & Poliakov (1972, p. 36) e Bell & Powell (1969, p. 549 e 550). Os símbolos são os mesmos da figura 3

Figura 5 - Diagrama CaO x MgO. Curvas 1, 2 e 3 representativas para as suítes de Santo Antônio da Barra, sódica e potássica africanas, respectivamente. Os símbolos são os mesmos usados na figura 3

a diferenciação não parece ter sido linear e, provavelmente, estudos mineralógicos sistemáticos revelarão feições genéticas ainda desconhecidas ou pouco claras. Deve-se observar que os melilita mela-nefelinitos não foram considerados no traçado da curva de Santo Antônio da Barra.

Na figura 6, onde são plotados os elementos menores versus o valor de Mg, as seguintes observações podem ser feitas:

- as rochas exibem empobrecimento em Cr, Ni, V e Co à medida que se diferenciam e o *trend*, a partir da olivina mela-analcimitos até os fonólitos, é claro;
- da mesma forma, o *trend* pode ser visto para os elementos Rb e Zr que, ao contrário, tornam-se enriquecidos em direção aos termos mais diferenciados;
- Co, V e Rb mostram grande dispersão de valores nos mela-analcimitos. Os dois primeiros estão, provavelmente, associados a olivina e magnetita, respectivamente. O fato de Rb mostrar correlação positiva com alumina pode estar indicando sua associação com flogopita e sanidina (nos fonólitos);
- apesar dos altos valores de Zr, nenhum mineral de zircônio foi identificado nas rochas estudadas. Taylor (1965, apud Nash et al. 1969) sugere que Zr^{+4} pode substituir Ti^{+4} e, desde que nenhum silicato de zircônio esteja presente, este pode ser concentrado em piroxênio tão bem como em vidro

Figura 6 - Valor de Mg versus elementos menores e em traços. V, Rb, Y, Nb e Mo são dados em ppm. Os demais em porcentagem.

residual. Dawson (1982) considera perovskita e ilmenita como importantes fases hospedeiras de Zr;

● F, P e Y concentram-se em direção aos nefelina analcimitos diminuindo consideravelmente nos fonólitos. Apatita é um importante receptor desses elementos e abundante nos nefelina analcimitos;

● Sr, Ba e Nb mostram grande dispersão de valores, sugerindo que sua distribuição nos minerais não segue a linha de diferenciação magmática. Os altos teores de Sr e Ba são característicos desses tipos de rochas. A ausência de correlação entre esses elementos e o valor de Mg pode estar relacionada ao grande número de fases mineralógicas hospedeiras desses elementos; apatita, perovskita, clinopiroxênio, calcita e plagioclásio são importantes receptores de Sr e biotita e clinopiroxênio, de Ba. Com exceção de clinopiroxênio, a distribuição desses minerais nas rochas não segue um padrão linear. Não menos importantes para a falta de correlação podem ter sido as transformações tardi a pós-magmáticas.

Em relação à alcalinidade da suíte, o diagrama da figura 7 mostra os campos de Pouclet (1980) para as rochas subalcalinas a alcalinas e essencialmente feldspáticas (I), rochas alcalinas sódicas ou potássicas com feldspato e feldspatóide (II) e rochas hiperalcalinas potássicas e per-potássicas essencialmente feldspatóides (III). As rochas de Santo Antônio da Barra concentram-se no campo II de Pouclet.

Figura 7 - Diagrama álcalis versus sílica (% peso). Campos I, II e III segundo Pouclet (1980). 1. Olivina mela-analcimitos; 2. mela-analcimitos; 3. nefelina analcimitos; 4. fonólitos; 5. melilita mela-nefelinitos; 6. rochas basálticas

A partir desse dado, e tendo em vista que o feldspatóide predominante em Santo Antônio da Barra é analcima, foi desenvolvido um estudo comparativo com províncias vulcânicas alcalinas descritas na literatura corrente na tentativa de definir o caráter sódico-potássico dessas rochas. Entre as províncias vulcânicas estudadas, as que parecem mais próximas da suíte em questão são as situadas ao longo do Rift Valley do Quênia, na África Oriental e Central, de idade Terciária ou mais jovem. São formadas por rochas alcalinas de caráter ultrabásico, predominantemente piroclástico e possuem carbonatito associado. Elas formam, porém, duas suítes – uma sódica, outra potássica – bastante distintas. A suíte sódica compõe uma grande província vulcânica situada no sudoeste do Quênia e leste de Uganda, onde Elgon, Napak, Kisingiri e Oldoinyo Lengai são vulcões típicos. A potássica é formada por três

campos vulcânicos – Toro Ankole, Birunga e South Kivu – localizados na região oeste de Uganda e leste do Zaire.

Essas províncias não formam séries simples de diferenciação de rochas e isso dificulta a comparação. A suíte sódica parece razoavelmente homogênea mas cada campo potássico possui características químicas e mineralógicas próprias que os distingue dos demais e dentro de um mesmo campo pode-se caracterizar mais de uma série de diferenciação. Essa dificuldade é agravada pelo fato de a maioria dos trabalhos existentes abranger grandes áreas. Para tentar minimizar o problema, as curvas para a suíte potássica das figuras 4, 5, 8 e 9 foram construídas somente com dados do campo vulcânico de Birunga, especialmente dos vulcões de Nyiragongo e Nyaramugira.

No geral, os dados mostram que as três suítes possuem características muito próximas. Esses pontos de convergência são:

1. Ocorrem em áreas intracontinentais que mostram o soerguimento epigenético em zonas de rifte e/ou de falhamentos profundos.
2. O vulcanismo é altamente explosivo indicando riqueza em voláteis.
3. Estão associadas a carbonatitos.
4. Clinopiroxênio é o fenocristal dominante.
5. São insaturadas em sílica e ricas em CaO.
6. Possuem valores altos de Ti, Sr, Ba e Zr.

No entanto, as suítes africanas possuem algumas diferenças importantes que as distinguem (ver também as curvas apresentadas nas figuras 4, 5, 8 e 9):

1. K_2O/Na_2O maior que 1 na potássica e menor que 1 na sódica (existem algumas classificações que tomam o valor 2 como referência). Esta razão define o feldspatóide dominante nas rochas: nefelina na sódica e leucita na potássica. Neste último, são comuns as ocorrências de kalsilita e nefelina muito rica em potássio, mas leucita é muito rara ou inexistente na suíte sódica.
2. Rochas com olivina abundante, raras na suíte sódica, são comuns na suíte potássica.

Figura 8 - Diagrama Nb x Zr. Curvas 1 e 2 representativas das suítes sódica e potássica africanas, respectivamente. Símbolos conforme figura 3. Os dados utilizados são os mesmos citados na figura 4 (além de Le Bas 1979, para a suíte sódica)

3. Ocorrência bastante freqüente, embora localizada, de rochas com plagioclásio cálcico (basanitos, tefritos, álcali-basaltos) na suíte potássica (Gupta & Yagi 1980). Essas rochas são praticamente ausentes na suíte sódica.

4. De modo geral, Fe^{+3} predomina sobre Fe^{+2} na suíte sódica e vice-versa na potássica.

5. Apesar de Ti, Sr, V, Cr e Ni mostrarem valores altos nas duas suítes, eles são, em média, mais altos na suíte potássica.

Para a suíte em questão, observa-se que, enquanto fonólitos, nefelina analcimitos e alguns mela-analcimitos mostram razão $K_2O/Na_2O > 1$, para os olivina mela-analcimitos, para as rochas basálticas e a maioria dos mela-analcimitos esta razão é menor que 1. As curvas apresentadas nas figuras 4, 5, 8 e 9 mostram a consonância existente na distribuição de Mg, Ca, Al, Ni e Zr nas rochas das suítes potássica africana e de Santo Antônio da Barra. A suíte sódica distingue-se principalmente em relação ao comportamento de Mg, Ca e Zr. Além disso, as rochas de Santo Antônio da Barra concentram-se nos intervalos de 100 e 200 ppm de Nb e 400 e 600 ppm de Zr. O fonólitos desta suíte, assim como as rochas mais diferenciadas da suíte potássica, localizam-se também neste intervalo e são menos enriquecidas em Nb que os fonólitos da suíte sódica (que possuem valores acima de 200 ppm). Os valores de Ni decrescem rapidamente com a diferenciação a valores de Zr quase constantes (Fig. 9).

Figura 9 - Diagrama Ni x Zr. Curvas 1 e 2 representativas das suítes sódica e potássica africanas, respectivamente. Símbolos conforme figura 3. Os dados utilizados são os mesmos citados na figura 8

Apesar desses dados, o gráfico da figura 10 reforça o caráter sódico-potássico misto da suíte de Santo Antônio da Barra. Essa constatação reabre a discussão sobre a origem primária ou secundária da analcima; a confirmação definitiva de origem secundária – hipótese adotada pela autora com base nos dados químicos apresentados e na discussão acima – explicaria o caráter misto da suíte pela troca de K por Na na transformação de leucita para analcima.

Figura 10 - Histograma $K_2O/K_2O + Na_2O$. Os dados das suítes sódica e potássica africanas são de Gerasimovsky & Polyakov (1972)

Outrossim, apesar de suas afinidades claras com a suíte potássica africana – já apontada por Bez & Guimarães (1971) mas revista por Gaspar (1977), que a considera sódica – não possui termos como mafurito (kalsilita, augita, olivina) ou kungito (olivina, melilita, leucita), típicos daquela. Este fato é favorável a algumas opiniões em recentes discussões sobre a existência de uma manto heterogêneo.

CONCLUSÕES As rochas ígneas de Santo Antônio da Barra formam uma suíte alcalina insaturada com respeito a sílica, de tendência ultrabásica, com teores de álcalis variando de 0,66 % a 13,74%. Tanto a petrografia como a petroquímica evidenciam um *trend* de diferenciação que é: olivina mela-analcimito, mela-analcimito, nefelina analcimito, fonólito. As relações entre este *trend* e os outros termos petrográficos presentes na área são ainda obscuras. As características e relações mineralógicas e petrográficas sugerem que a evolução magmática não foi simples e linear. Os dados petroquímicos reforçam essa idéia.

A analcima foi caracterizada por Gaspar & Danni (1979), que adotam a hipótese de origem primária para este mineral. As tentativas para caracterizar restos de leucita, feitas pela autora, foram infrutíferas. No entanto, as análises químicas das rochas de Santo Antônio da Barra assim como sua afinidade com a suíte potássica do rift oriental africano sugerem fortemente um caráter potássico primário para a suíte em questão. Essa hipótese implica processo de analcimização secundário, isto é, a analcima seria produto da alteração de leucita.

Agradecimento A autora é sinceramente grata ao professor Dr. José C.M. Danni, orientador da dissertação de Mestrado que deu origem a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEZ, L.; GUIMARÃES, J.; GUIMARÃES, D. 1971. Distrito vulcânico de Rio Verde. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG v. 2. p. 121-128.
- DANNI, J.C.M. 1974. *Géologie des complexes ultrabasiques alcalins de la Regina d'Iporá, Goiás (Brésil)*. Paris. 104 p. (Thèse Université de Paris Sud, Centre d'Orsay).
- DAWSON, J.B. 1982. *Kimberlites and their xenoliths*. Berlim. Springer-Verlag. 250 p.
- GASPAR, J.C. 1977. *Contribuição ao estudo do magmatismo alcalino de Santo Antônio da Barra, GO, Brasília*. 143 p. (Dissertação de Mestrado, UnB, inédito).
- GASPAR, J.C. & DANNI, J.C.M. 1979. Alncima nas rochas vulcânicas de Santo Antônio da Barra, Goiás, e suas possíveis implicações petrogenéticas. *Bol. Mineral*, Recife, (6):41-49.
- GASPAR, J.C. & DANNI, J.C.M. 1981. Aspectos petrográficos e vulcanológicos da província alcalina-carbonatítica de Santo Antônio da Barra, sudoeste de Goiás. *Rev. Bras. Geoc.*, 11(1):74-86.
- GERASIMOVSKI, V.I. & POLYAKOV, A.L. 1972. Alkaline rocks of the East Africa Rift Zones (Geochemistry and genesis). In: INTER. GEOL. CONGR., 24, Montreal, 1972. *Proceed...* Montreal, Int. Min. Assoc. p. 34-40 (section 14 - Mineralogy).
- GUPTA, A.K. & YAGI, K. 1980. *Petrology and genesis of leucite-bearing rocks*. Berlim, Springer-Verlag. 251 p.
- HASUI, Y.; DYER, R.C.; IWANUCH, W. 1971. Geocronologia das rochas alcalinas de Santo Antônio da Barra, GO. In: CONGR. BRAS. GEOL. 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG. v. 1. p. 253-258.
- KESSON, S.E. 1973. The primary geochemistry of the Monaro alkaline volcanics, southeastern Australia — evidence for upper mantle heterogeneity. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42:93-108.
- LES BAS, M.J. 1977. *Carbonatite-nephelinite volcanism*. London, Wiley, 374 p.
- LE BAS, M.J. 1978. Are olivine-poor nephelinites a primary melt product from the mantle? *Bull. volcanol.*, 41(4):463-465.
- LIPPARD, S.J. & TRUCKLE, P.H. 1972. Spatial and temporal variations in basalt geochemistry in the N. Kenya Rift. *Tectonophysics*, 15:123-131.
- MORAES, L.C. 1984. *Petrologia, estratigrafia e potencial diamantífero da suíte vulcânica alcalina da região de Santo Antônio da Barra, Goiás*. Brasília. 122 p. (Dissertação de Mestrado. UnB).
- NASH, W.P.; CARMICHAEL, I.S.E.; JOHNSON, R.W. 1969. Mineralogy and petrology of Mount Suswa, Kenya. *J. Petrol.*, 10:409-439.
- POUCLET, A. 1980. Contribution à la systématique des laves alcalines, les laves du rift de l'Afrique Centrale (Zaire-Uganda). *Bull. Volcanol.*, 42:527-537.
- WASS, S.Y. & ROGERS, N.W. 1980. Mantle Metassomatism-precursor to continental alkaline volcanism. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 44:1811-1823.

MANUSCRITO 461

Recebido em 07 de maio de 1987

Revisão em 30 de outubro de 1987

A vocação primordial da universidade é de cuidar da eficiência da educação, associando sempre a pesquisa à transmissão e ao aprofundamento dos conhecimentos fundamentais ligados ao desenvolvimento científico e técnico de uma sociedade responsável, cuja riqueza demográfica não pode ser aviltada, sob pena de se tornar perigosa e insustentável. A manutenção dessa riqueza exige o amparo e o aproveitamento de todos os indivíduos harmonizando o saber, o fazer e o ser.

Paul Arbousse-Bastide, 1984, *O que o Brasil me ensinou*. (Aula Magna proferida na USP).