

VULCANISMO BASÁLTICO DE AFINIDADE SHOSHONÍTICA EM AMBIENTE DE ARCO ARQUEANO, GRUPO GRÃO-PARÁ, SERRA DOS CARAJÁS - PARÁ

MARCELO R. MEIRELLES* e MARCEL A. DARDENNE*

ABSTRACT BASALTIC VULCANISM OF SHOSHONITIC AFFINITY IN ARCHEAN ARC ENVIRONMENT, GRÃO-PARÁ GROUP, SERRA DOS CARAJÁS - PARÁ. The N4 and N8 orebodies in the Carajás district are associated to the Archean volcano-sedimentary Grão-Pará Group. The volcanic portion of this group comprises mainly basalts and basaltic andesites with local basic to intermediate pyroclastic intercalations. Associated intrusive bodies occur locally. Volcanic rocks were extruded in a subaqueous environment and submitted to hydrothermal metamorphic event of the greenschist facies. The absence of penetrative structures and the conspicuous occurrence of several primary textures are important features of the volcanic rocks associated to the orebodies. Geochemically the metabasic rocks are characterized by high contents of K, Ba and Rb, and low Zr, Nb and Ti, typical of the shoshonitic series. Petrologically the basic rocks of the Grão-Pará Group indicate a subduction zone geotectonic environment.

Keywords: Basaltic vulcanism, Serra dos Carajás.

RESUMO Os corpos N4 e N8, pertencentes ao Distrito Ferrífero de Carajás, são constituídos por uma associação vulcanossedimentar arqueana do Grupo Grão-Pará. O pacote vulcânico, apresentando níveis intrusivos, é composto essencialmente por basaltos e andesitos basálticos, com contribuições locais de rochas piroclásticas de natureza básica e intermediária. Tais rochas foram formadas em ambiente subaquoso e submetidas a metamorfismo hidrotermal de fácies xisto-verde. A ausência de estruturas penetrativas e a preservação de inúmeras feições primárias, são aspectos marcantes da associação vulcanossedimentar dos corpos N4 e N8. Geoquimicamente, as rochas metabásicas são caracterizadas por altos teores de K, Ba e Rb, associados a baixos teores de Zr, Nb e Ti, o que permite incluí-las na série shoshonítica. Do ponto de vista geotectônico, as rochas básicas do Grupo Grão-Pará sugerem um ambiente de arco magmático para sua origem.

Palavras-chaves: Vulcanismo basáltico, Serra dos Carajás.

INTRODUÇÃO Este trabalho, que representa parte do tema de dissertação de mestrado desenvolvido por Meirelles (1986) no Departamento de Geociências da Universidade de Brasília, pretende, por meio do estudo geoquímico e petrológico das rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará na Província de Carajás, contribuir para uma melhor caracterização do vulcanismo associado aos jaspilitos e, em consequência, para uma definição mais adequada do quadro geotectônico da região.

GEOLOGIA REGIONAL As principais unidades litoestratigráficas da Província de Carajás (Fig. 1) foram revisadas por Hirata *et al.* (1982) e por Meireles *et al.* (1984). Segundo esses autores, os terrenos mais antigos correspondem a uma associação *granito-greenstone* de idade arqueana, denominada de Complexo Xingu (Silva *et al.* 1974). Este complexo compreende rochas polimetamórficas de alto grau (gnaisses, anfíbolitos e migmatitos), além de granitos e cataclásitos, que envolvem seqüências vulcano-sedimentares do tipo *Greenstone Belts* (Andorinhas, Gradaús, Sapucaia e Rio Novo), além de complexos básico-ultrabásicos.

A seqüência Salobo-Pojuca, constituída por uma associação vulcanossedimentar metamorfisada em médio e alto grau, apresenta importantes depósitos sulfetados de Cu-Au (Farias *et al.* 1984).

O Grupo Grão-Pará, que contém o enorme depósito de ferro da Serra dos Carajás, é representado por uma espessa seqüência vulcânica na qual se intercalam os jaspilitos (Beisiegel *et al.* 1973). Esta seqüência foi datada em 2,7 Ga pelo método U-Pb por Wirth *et al.* (1986).

A seqüência vulcanossedimentar do "Prospecto Bahia" é composta por derrames e *sills* básicos, tufos intermediários a

ácidos, sedimentos elásticos, formações ferríferas bandadas e mineralizações de cobre (Ferreira 1985). Segundo este autor, a datação Rb-Sr sobre granófitos básicos fornece uma idade de 2,6 Ga (Ferreira & Danni 1985).

As seqüências sedimentares elásticas que recobrem discordantemente as unidades precedentes são correlacionadas à Formação Rio Fresco por Barbosa *et al.* (1966). São formadas por sedimentos elásticos grossos na base, passando para sedimentos finos no topo, com contribuições químicas locais (Meireles *et al.* 1984).

Corpos graníticos são frequentes na Província de Carajás. Os mais antigos, de idade arqueana, são associados com as seqüências do tipo *greenstone belt*. Os mais jovens são intrusivos nas rochas vulcânicas do Grupo Uatumã, com idades em volta de 1,6 Ga. Na área, o Granito Carajás, que é intrusivo no Grupo Grão-Pará e na Formação Rio Fresco, mostrou idade de 1,8 Ga pelos métodos Rb-Sr e U-Pb (Wirth *et al.* 1986, Gibbs *et al.* 1986).

SEQÜÊNCIA VULCANOSSEDIMENTAR DO GRUPO GRÃO-PARÁ

A seqüência vulcanossedimentar do Grupo Grão-Pará é composta pelas seguintes unidades (Beisiegel *et al.* 1973): vulcânicas máficas (unidade inferior), jaspilitos (unidade intermediária) e vulcânicas máficas (unidade superior). Essas unidades são bem representadas em sondagem nos corpos N4 e N8, permitindo uma ampla amostragem de rochas vulcânicas frescas pertencentes as unidades vulcânicas inferior e superior. Cabe ressaltar que a denominação unidade "inferior" ou "superior" se refere à posição estrutural das rochas vulcânicas em relação aos jaspilitos, não possuindo valor estratigráfico:

* Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário, Asa Norte, CEP 70910, Brasília, DF, Brasil

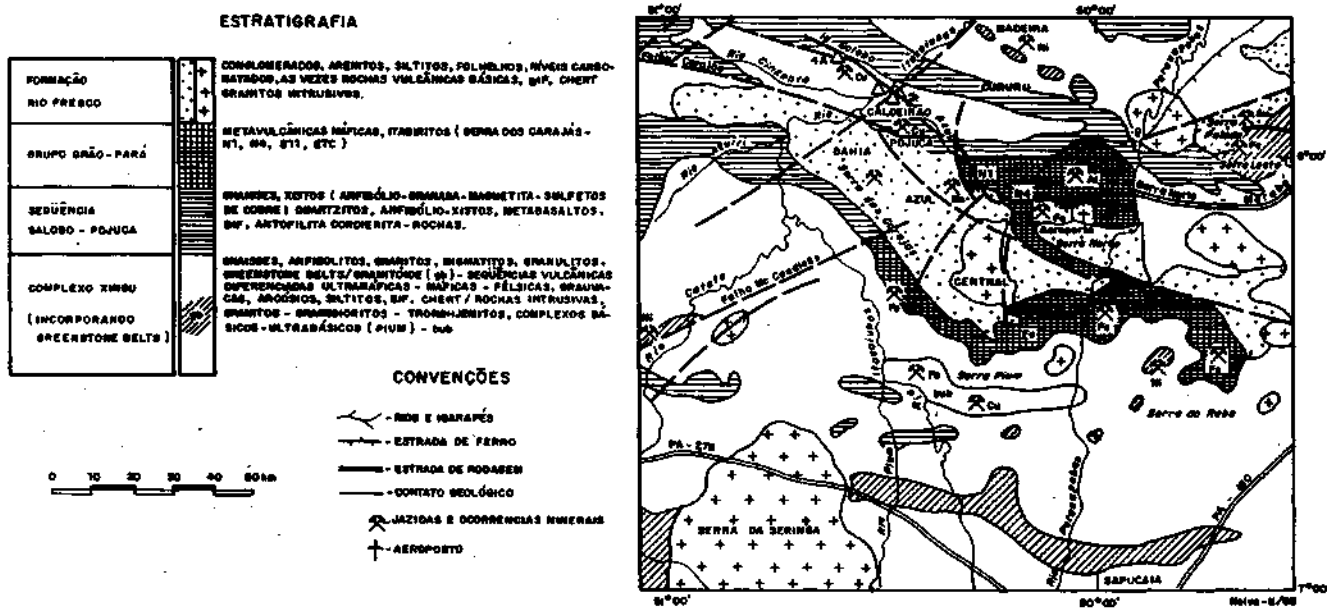


Figura 1 - Mapa Geológico da Província Mineral de Carajás (segundo Hirata et al. 1982, simplificado)
Figure 1 - Geological map of the Carajás Province (after Hirata et al. 1982, modified)

a. Unidade inferior: é constituída predominantemente por basaltos e andesitos basálticos, com contribuições piroclásticas de natureza básica a intermediária. Todas as rochas desta unidade foram submetidas a metamorfismo hidrotermal de intensidade variável.

b. Unidade intermediária: possui caráter essencialmente sedimentar. É representada por jaspilitos que recobrem a unidade anterior. No local, foi constatada uma intercalação de rocha vulcânica de natureza intermediária ou ácida, bastante alterada.

c. Unidade superior: encontra-se estruturalmente acima dos jaspilitos. É formada por rochas vulcânicas máficas (basaltos) e sills de rochas intrusivas (andesitos basálticos), que são hidrotermalmente alterados.

d. Unidade elástica: nesta seqüência, foram observados quartzo-arenitos e níveis de conglomerados com seixos arredondados e angulosos de quartzitos, jaspilitos e vulcânicas máficas.

PETROGRAFIA DAS ROCHAS METAMÁFICAS Sob esta denominação estão incluídos os derrames de basaltos amigdaloidais e andesitos basálticos, bem como rochas intrusivas na forma de diques ou sills. As rochas vulcânicas são geralmente maciças, freqüentemente amigdaloidais (Foto 1, Prancha 1) e apresentam texturas diversas: intergranular, subofítica (Foto 2, Prancha 1), *quench* (Foto 3, Prancha 1) e glomeroporfírica. É comum a presença de fenocristais de plagioclásio e, localmente, de augita. As rochas de granulometria mais grossa, com texturas subofíticas e ricas em intercrescimentos granofíricos, sem evidências de estruturas amigdaloidais, foram interpretadas como corpos intrusivos. Nessas rochas subvulcânicas, foram identificados cristais de ortoclásio (Foto 4, Prancha 1). A abundância dos intercrescimentos granofíricos (geralmente 15 % em volume) e a presença de feldspato potássico parecem indicar magma original rico em potássio, rubídio e bário. Segundo Joplin *et al.* (1972), o material intersticial mais importante das séries shoshoníticas é o feldspato potássico.

A mineralogia das rochas básicas consiste principalmente de clorita, augita, actinolita, plagioclásio sódico parcialmente alterado e, subordinadamente, quartzo, carbonato, titanita, leucóxênio, magnetita, epidoto e feldspato potássico.

PETROGRAFIA DAS ROCHAS METAPIROCLÁSTICAS Dois níveis pouco espessos (1 m) de rochas metapiroclásticas foram observados nas proximidades do contato unidade vulcânica inferior/jaspilitos. Os tufo líticos, de composição intermediária, mostram clastos líticos e fragmentos de púmice (Foto 5) sustentados por matriz constituída principalmente por uma associação silicosa de granulometria muito fina. Apresentam ainda abundantes *shards* (Foto 6). Os tufo finos, de composição básica, caracterizam-se pela presença de litoclastos e cristaloclastos imersos numa matriz muito uma composta por clorita, feldspato, quartzo, epidoto e leucóxênio.

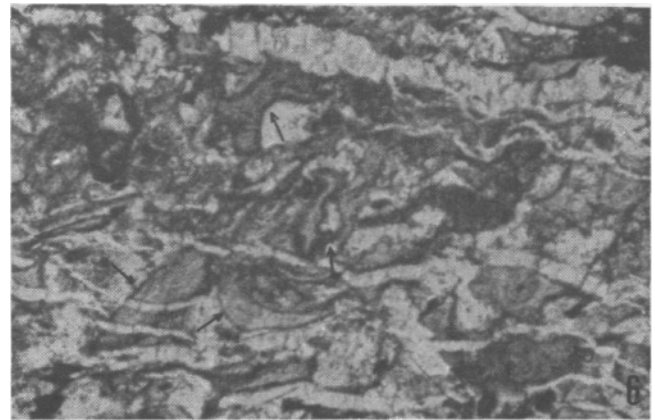
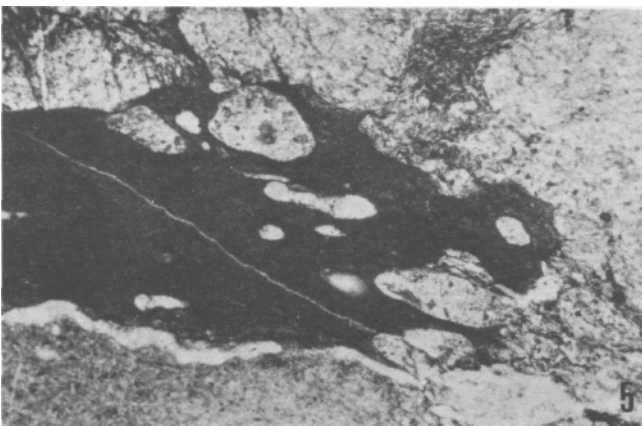
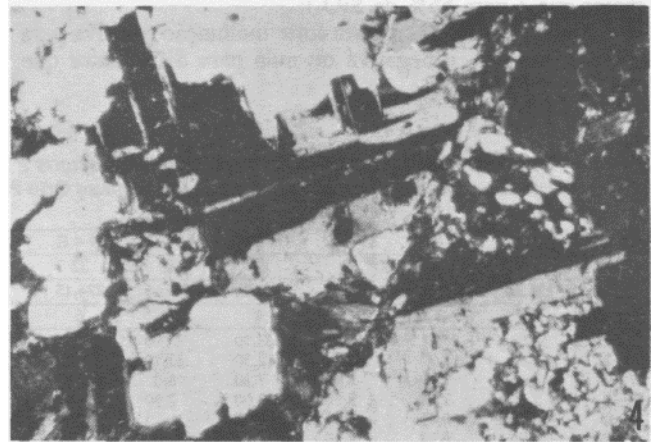
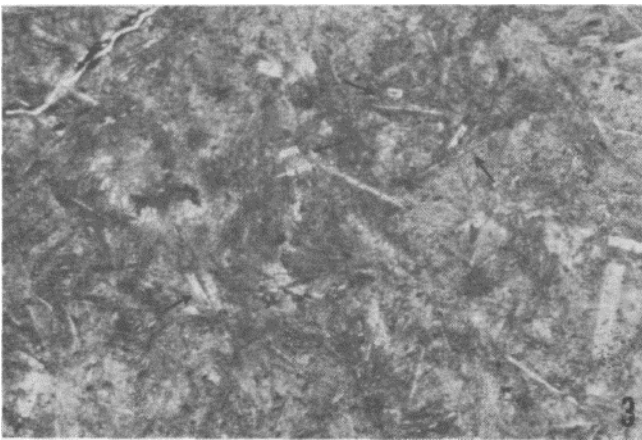
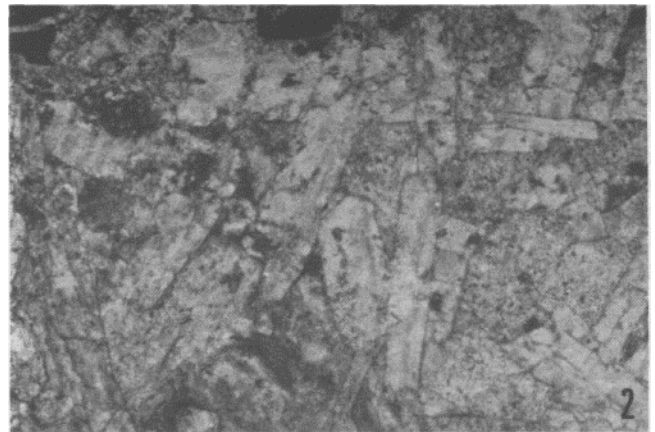
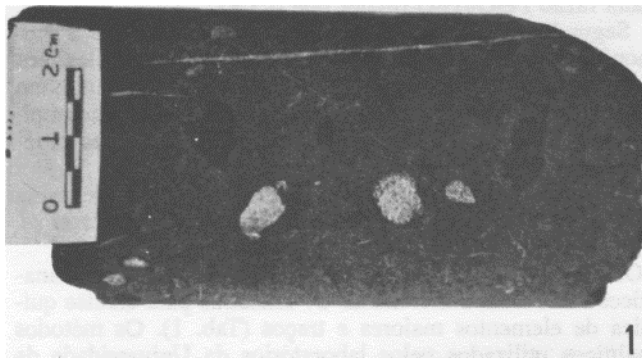
As principais feições petrográficas das rochas vulcânicas e subvulcânicas dos corpos N4 e N8, consistentes com a presença de metamorfismo hidrotermal, são:

- presença de clinopiroxênio ígneo junto com uma associação mineralógica de baixa temperatura;
- substituição pseudomórfica preservando a textura ígnea primária;
- desenvolvimento de minerais secundários sem xistosidade;
- as diversas transformações mineralógicas foram condicionadas pelas anisotropias e permeabilidades do material basáltico, e os maiores reajustes ocorreram na porção superior dos derrames máficos, particularmente nas zonas apresentando alta densidade de vesículas.

Os estudos sobre a alteração hidrotermal envolvendo processo de espilitização desenvolvidos por Meirelles (1986) permitiram estabelecer a seguinte escala de mobilidade relativa para os elementos maiores e traços:

- mobilidade alta: Mn, Na, Ca, Zn, Cu, Ba e Sr;
- mobilidade moderada: Fe, K, Mg, Cr, Pb e Rb;
- imobilidade relativa: P, Ni, Zr, V, Ti, Y e ETR.

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E GEOTECTÔNICA DO VULCANISMO SHOSHONÍTICO A gênese das rochas vulcânicas de afinidade shoshonítica tem sido atribuída a processos associados a zonas de convergência de placas (arcos de ilhas, exemplo, Fiji; margens continentais ativas, exemplo, Andes Central; e zonas de colisão continental, exemplo, Irã) e com ambientes não diretamente relacionados com o processo de subducção, isto é, rochas geradas após o término da subducção, como em New South Wales, Austrália (Carr & Fardy 1983). Os shoshonitos são ligados às fases



Prancha 1-1. Grandes amígdalas preenchidas por calcita e clorita; 2. Fotomicrografia de textura subofítica reliquiar. As ripas de plagioclásio encontram-se parcialmente incluídas nos minerais ferro-magnesianos (mistura de actinolita e clorita). N//. Escala: 1 cm na foto corresponde a 0,25 mm; 3. Fotomicrografia de textura quenching, cujas feições refletem condições muito rápidas de cristalização do magma. Os cristais "quench" do piroxênio original (atualmente pseudomorfisado por actinolita) formam agregados tipo feixe, enquanto os cristais "quench" de plagioclásio mostram as características típicas desta textura, isto é, hábito esqueletal e tipo rabo de andorinha*. Localmente, são vistas seções ocas* destes cristais. N//. *↑. Escala: 1 cm na foto corresponde a 0,19 mm; 4. Fotomicrografia de cristais de ortoclásio com geminação carlsbad sendo substituídos por microclínio. Rocha metabásica intrusiva. NX. Escala: 1 cm na foto corresponde a 0,21 mm; 5. Fotomicrografia de fragmento depúmice achatado em forma de labaredas (Fiamme). Localmente, são preservadas grandes cavidades vesiculares (atualmente constituídas por quartzo) formadas pelo escape e concentração de fluidos. Tufo lítico. NX. Escala: 1 cm na foto corresponde a 0,55 mm; 6. Fotomicrografia de diversos shards* (fragmentos vítricos de paredes de bolhas rompidas pela atividade vulcânica explosiva) pseudomorfisados por material criptocristalino, mostrando contorno sinuoso e em forma de cúspide. Tufo lítico. N//. *↑. Escala: 1 cm na foto corresponde a 0,09 mm

Plate 1-1. Large amygdals filled with calcite and chlorite; 2. Subophitic relict texture. NPL. Scale: 1 cm on the photograph is equal to 0,25 mm; 3. Quenching texture. NPL. Scale: 1 cm on the photograph is equal to 0,19 mm; 4. Orthoclase crystals with carlsbad gemination substituted by microcline (Metabasic intrusive). PL. Scale: 1 cm on the photograph is equal to 0,21 mm; 5. Fiamme texture (Lithic tuff). PL. Scale: 1 cm on the photograph is equal to 0,55 mm; 6. Shards (Lithic Tuff). NPL. Scale: 1 cm on the photograph is equal to 0,09 mm

tardias do processo de subducção com freqüente desenvolvimento de magmatismo alcalino após a estabilização do arco (Morrison 1980, Venturelli *et al* 1984, Ujike 1985).

Autores como Joplin *et al* (1972) relacionam as rochas shoshoníticas à série cálcio-alcalina, enquanto Dickinson *et al* (1968), Gill (1970) e Windley (1984) consideram estas rochas como equivalentes às séries alcalinas. Entretanto, uma revisão das diversas associações shoshoníticas sugere para este grupo de rochas ricas em K, com afinidades cálcio-alcalinas, uma série independente (Mackenzie & Chappel 1972, Morrison 1980, Hughes 1982).

Morrison (1980), com base em inúmeras ocorrências selecionadas da literatura, faz um resumo das principais características químicas da série shoshonítica:

- basaltos aproximadamente saturados em sílica;
- baixo enriquecimento em ferro;
- alto teor de alcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ maior que 5%);
- alta razão de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (maior que 0,6 para 50% de SiO_2 e maior que 1 para 55% de SiO_2);
- o diagrama $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ mostra forte inclinação positiva para 45%-57% de SiO_2 e negativa ou nula para SiO_2 maior que 57%;

- enriquecimento em P, Rb, Sr, Ba e terras raras leves;
- baixo teor de TiO_2 (menor que 1,3%);
- conteúdo elevado, porém variado, de Al_2O_3 (14%-19%);
- alta razão $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (maior que 0,5%).

Segundo Pearce (1982), as rochas cálcio-alcalinas e shoshoníticas são enriquecidas em elementos alcalinos e alcalinos terrosos, além de Th, Ce, P e Sm, mostrando, entretanto, um empobrecimento em Ta, Nb, Zr, Hf, Y e Yb, elementos tipicamente enriquecidos em rochas vulcânicas alcalinas intraplacas (Ujike 1985).

Rochas vulcânicas arqueanas formadas em ambiente de arco magmático maturo foram descritas por Brooks *et al* (1982) e Ujike (1985).

CONSIDERAÇÕES PETROGENÉTICAS Métodos analíticos foram selecionadas 27 amostras para análise química de elementos maiores e traços (Tab. 1). Os métodos analíticos utilizados pelos laboratórios da Universidade de Brasília - UnB e GEOSOL para dosagem dos elementos foram os seguintes: TiO_2 , V, Sr, Y, Zr, Nb, Ba e ETR - espectrometria de plasma; Rb, Nb e SO_2 - fluorescência de raios X; SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 - espectrofotometria absoluta; FeO, MgO e CaO - volumetria; Fe_2O_3 , MnO, Ni, Cr, Cu, Pb, Zn e Co -

Tabela 1 - Análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras de rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará

Table 1 - Chemical analyses of major, trace and REE elements from Grão-Pará volcanic rocks

CORPO	N 4 W	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E
PURO	28	32	32	32	32	32	32	32	68	77	87	87	87	117
PROP. (m)	155,28	147,78	183,30	184,90	190,65	224,15	230,0	239,60	178,0	134,0	80,30	93,80	166,30	184,56
% PESO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO_2	56,63	55,57	52,40	51,70	52,90	54,10	50,0	53,40	54,17	54,95	51,37	49,69	52,96	51,87
Al_2O_3	12,85	12,70	12,80	12,30	13,10	12,10	12,80	13,40	13,65	14,48	14,53	12,86	14,01	14,01
FeO	7,65	7,29	8,0	7,20	8,0	8,90	8,70	9,20	6,42	6,38	7,95	11,58	8,40	7,56
Fe_2O_3	2,51	3,01	2,80	3,00	2,50	1,90	2,20	1,90	1,67	1,79	1,74	3,06	1,90	2,92
MnO	0,25	0,47	0,34	0,27	0,25	0,38	0,30	0,38	0,20	0,45	0,29	0,75	0,42	0,31
MgO	4,76	6,92	4,10	3,80	4,60	5,70	5,60	4,90	6,41	5,90	6,16	6,12	6,40	6,67
CaO	5,59	2,39	7,70	9,90	8,10	5,90	9,10	6,60	7,51	5,60	8,59	6,21	6,76	6,87
Na_2O	3,34	0,42	3,80	2,90	2,80	3,30	2,90	3,10	1,98	2,56	2,20	2,97	2,52	2,20
K_2O	1,88	2,49	2,30	1,70	2,40	2,10	1,80	2,20	4,16	3,32	2,78	1,22	1,83	2,78
TiO_2	0,77	0,90	0,77	0,79	0,78	0,78	0,75	0,70	0,47	0,50	0,67	1,43	0,72	0,65
P_2O_5	0,09	0,05	0,10	0,10	0,10	0,08	0,11	0,08	0,06	0,08	0,07	0,16	0,10	0,08
CO_2			1,20	4,10	0,74	0,37	2,0	0,48						
SO_2			0,06	0,06	0,08	0,04	0,14	0,06						
P.F.	2,94	7,34	4,27	6,13	4,16	3,52	5,48	3,67	2,75	2,84	2,91	2,63	2,98	3,19
TOTAL	99,26	99,55	100,64	103,95	100,51	99,17	101,88	100,07	99,45	98,85	99,26	98,68	99,00	99,11
FeO + Fe_2O_3	9,91	10,0	10,52	9,90	10,25	10,61	10,68	10,91	7,92	7,99	9,52	14,33	10,11	10,19
	11,01	11,01	11,69	11,00	11,39	11,79	11,87	12,12	8,81	8,88	10,58	15,95	11,24	11,32
ppm	ELEMENTOS TRAÇOS													
V	240	220						200	230	220	300	250	250	250
Rb	56	58	48	43	53	47	41	55	140	81	79	35	90	74
Sr	140	8	87	130	110	69	120	71	300	140	40	58	74	77
Y	32	32	38	30	34	34	36	34	30	20	25	56	23	25
Zr	126	120	104	74	70	104	66	70	70	90	92	152	98	98
Nb	< 5	9							< 5	7	< 5	17	6	< 5
Ba	990	850	1260	900	1290	1640	550	1230	680	1660	700	2060	730	850
Ni	83	89	100	80	86	108	106	110	88	86	60	77	54	62
Cr	52	53	68	102	78	120	110	124	64	47	77	127	121	134
Cu	90		98	101	125	74	160	73	56	70	62	54	61	41
Pb	22	15	61	28	44	25	75	45	16	52	29	40	27	42
Zn	142	730	216	210	330	500	566	486	115	500	510	1380	188	220
Co	197	150							255	220	161	129	162	144
Zr/ TiO_2	0,0164	0,0133	0,0135	0,0094	0,0090	0,0133	0,0088	0,0100	0,0149	0,0180	0,0137	0,0106	0,0136	0,0151
ppm	ELEMENTOS TERRAS RARAS													
Ce	39,0	20,5						23,0	38,7	22,9	25,7	27,9	35,0	
Sm	5,6	4,1						2,5	4,6	3,1	6,0	3,8	4,5	
Yb	2,7	2,3						1,1	1,6	1,5	3,5	1,9	1,9	
La	20,1	10,8						11,4	19,1	11,7	11,6	15,2	20,9	
Nd	19,6	12,4						11,3	18,3	13,0	16,8	14,0	17,1	
Eu	0,90	0,76						0,57	0,80	0,77	1,2	0,83	0,87	
Gd	4,3	3,4						1,9	3,1	2,6	5,3	3,0	3,4	
Dy	4,7	4,2						1,9	2,9	2,7	6,2	3,4	3,6	
Er	3,0	2,7						1,2	1,7	2,0	3,9	2,1	2,1	
Lu	0,39	0,36						0,18	0,23	0,25	0,533	0,26	0,29	
Ho	0,93	0,93						0,49	0,44	0,70	1,4	0,74	0,78	
Tm	0,37	0,41						0,27	0,16	0,43	0,62	0,32	0,34	
Ce/Y	1,2	0,64						0,77	1,9	0,9	0,46	1,2	1,4	
La/Y	7,44	4,7						10,36	11,93	7,8	3,31	8,0	11,0	
(Tb/Yb) _n	1,18	1,17						1,22	1,33	1,28	1,18	1,2	1,32	

Tabela 1 - Continuação
Table 1 - Continuing

CORPO	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E	N 4 E - 3*	N 4 E - 4 *	N - 5	N - 8	N - 8	N - 8	N - 8	S - 11	S - 11
FUORO	117	147	147	201	-	-	33	3	3	3	4	25	40
PROF. (m)	226,50	199,25	281,0	115,70	-	-	107,75	160,50	294,95	301,20	70,0	86,40	58,50
% PESO	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
SiO ₂	51,07	54,67	54,16	55,16	53,60	54,94	56,37	53,42	53,76	40,04	55,89	55,31	55,20
Al ₂ O ₃	13,09	13,77	12,75	14,45	13,60	13,99	12,14	13,49	12,66	14,10	13,99	14,61	15,28
FeO	9,13	8,60	9,45	6,02	8,60	8,20	5,14	9,67	10,50	11,72	8,39	7,16	5,88
Fe ₂ O ₃	1,54	7,84	1,57	2,01	1,10	0,75	6,45	3,58	3,48	2,61	2,46	0,66	1,31
MnO	0,42	0,62	0,71	0,19	0,50	0,53	0,14	0,51	0,64	1,07	0,35	0,22	0,17
MgO	6,19	5,82	4,78	6,27	5,60	5,78	4,80	7,37	4,54	7,21	5,66	6,13	6,57
CaO	6,11	3,60	6,14	7,10	7,20	6,80	0,58	0,78	3,69	6,74	2,56	6,88	7,26
Na ₂ O	5,31	3,03	2,15	2,55	4,50	4,56	0,42	1,53	0,50	0,45	2,37	2,28	2,69
K ₂ O	3,70	3,36	4,05	2,08	1,50	1,20	7,83	2,10	3,13	4,05	1,98	3,13	1,88
TiO ₂	0,63	0,78	0,80	0,52	0,70	0,60	1,40	0,87	1,05	1,08	1,07	0,45	0,40
P ₂ O ₅	0,09	0,07	0,06	0,05	0,08	0,09	0,23	0,10	0,12	0,11	0,22	0,05	0,07
CO ₂					< 0,05								
SO ₂					0,04								
P.F.	2,97	3,58	2,30	2,99	2,54	2,04	3,51	5,42	5,50	10,72	4,35	2,51	2,73
TOTAL	100,27	99,74	98,92	99,39	99,56	99,48	99,01	98,84	99,57	99,90	99,29	99,39	99,46
FeO t	10,52	10,26	10,86	7,83	9,59	8,88	10,94	12,89	13,63	14,07	10,60	7,75	7,06
Fe ₂ O ₃ t	11,69	11,40	12,07	8,70	10,66	9,86	12,16	14,33	15,15	15,63	11,78	8,62	7,84
ELEMENTOS TRAÇOS													
V	250	240	240	240		220	210	240	250	240	220	190	192
Rb	77	69	110	66	41	35	170	39	21	64	41	120	52
Sr	84	56	57	160	80	75	< 5	24	140	28	120	220	260
Y	62	16	18	16	30	30	132	41	58	77	230	12	< 10
Zr	94	112	118	84	54	120	320	112	172	100	200	75	66
Nb	< 5	< 5	< 5	< 5		< 5	10	< 5	6	< 5	8	< 5	< 5
Ba	680	1080	3040	1400	680	520	2300	1750	2740	2050	680	1100	710
Ni	52	72	70	84	88	68	54	82	47	122	94	89	94
Cr	87	43	35	47	148	110	8	51	6	163	78	60	70
Cu	30	54	13	70	28	30	44	250	167	56	18	80	69
Pb	31	10	12	30	5	15	6	96	17	145	10	13	12
Zn	120	520	410	110	449	290	240	560	550	2750	190	110	120
Co	126	144	162	211		101	133	169	176	245	130	185	172
Zr/TiO ₂	0,0149	0,0144	0,0148	0,0162	0,0077	0,0200	0,0229	0,0129	0,0164	0,0093	0,0187	0,0167	0,0165
ELEMENTOS TERRAS RARAS													
Ce	57,0	32,5	27,7	24,2		23,9	165,3	49,3	53,2	51,4	203,2	32,9	23,2
Sm	7,2	4,2	3,3	2,6		3,3	18,6	6,1	7,6	8,4	24,3	4,0	2,8
Yb	2,6	2,0	2,2	1,2		1,7	5,9	2,8	3,3	3,4	5,1	1,5	1,1
La	30,0	17,9	14,5	12,3		12,8	82,1	24,4	27,5	24,3	97,1	16,8	12,2
Nd	26,6	15,3	13,9	11,9		12,7	75,1	22,6	25,7	27,4	95,6	16,3	12,3
Eu	0,98	1,1	0,63	0,65		0,89	2,1	0,63	1,2	1,1	2,9	0,74	0,70
Gd	5,1	3,5	3,0	1,9		3,4	13,0	4,70	5,6	6,3	15,8	2,8	2,0
Dy	5,2	3,6	3,4	2,0		3,5	11,5	4,9	5,6	6,2	12,0	2,6	1,9
Er	3,1	2,3	1,8	1,2		2,2	6,5	2,9	3,6	3,7	6,1	1,7	1,1
Lu	0,38	0,35	0,31	0,18		0,30	0,83	0,39	0,48	0,48	0,67	0,21	0,17
Ho	1,1	0,79	0,61	0,49		0,77	2,3	0,96	1,1	1,2	2,3	0,44	0,32
Tm	0,51	0,43	0,25	0,21		0,33	0,99	0,29	0,67	0,43	0,91	0,21	0,14
Ce/Y	0,92	2,0	1,5	1,5		0,8	1,3	1,2	0,9	0,67	0,88	2,7	
La/Yb	11,54	8,95	6,59	10,25		7,5	13,9	8,71	8,33	7,14	19,0	11,2	11,18
(Tb/Yb) _n	1,42	1,29	1,04	1,17		1,46	1,49	1,22	1,2	1,28	1,96	1,29	1,28

absorção atômica; Na₂O e K₂O - espectrometria de emissão pela chama; perda ao fogo - gravimetria.

NATUREZA DO VULCANISMO Os critérios químicos de classificação das rochas vulcânicas que melhor se adaptam às rochas espilitizadas do Grupo Grão-Pará envolvem as relações SiO₂-Zr/TiO₂ e Zr/TiO₂-Ce. Desse modo, pode-se definir, com base nas figuras 2 e 3, que as litologias analisadas pertencem, em sua maior parte, ao grupo dos andesitos basálticos (SiO₂ entre 52 e 56%) de afinidade subalcalina e, subordinadamente, a um grupo de rochas de composição mais alcalina.

As proporções relativas de elementos menos móveis (Zr, Ti, Hf, Th e Ta) das rochas metabásicas do Grupo Grão-Pará (Figs. 4 e 5) sugerem um ambiente de arco magmático para a origem destas rochas.

GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS MAIORES Os elementos TiO₂, FeO, P₂O₅ e V (Fig. 6) mostram comportamentos similares, com teores pouco variáveis, tendendo a decrescer à medida que aumenta o conteúdo de SiO₂ das amostras. Miyashiro (1975) observou que Ti e V são caracte-

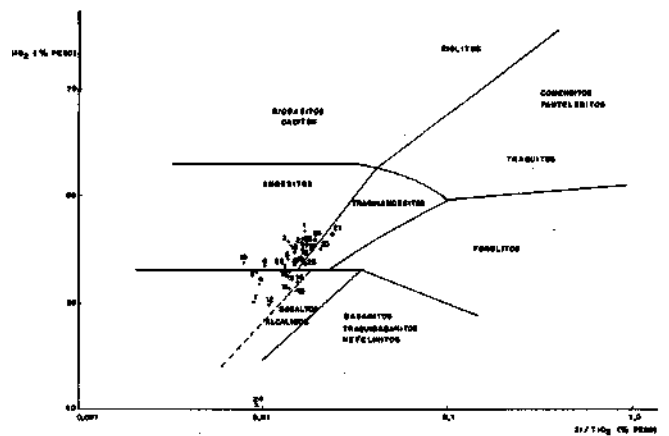


Figura 2 - Diagrama SiO₂ - Zr/TiO₂ de Winchester & Floyd (1977) mostrando a delimitação dos campos de rochas vulcânicas comuns. Simbologia: Corpos N4 (.), Corpo N-8 (x), Corpo S-11 (+) e Corpo N-5 (▲)
Figure 2 - SiO₂-Zr/TiO₂ diagram (after Winchester & Floyd 1977) for volcanic rocks. Symbology: Bodies N4 (.), Body N-8 (x), Body S-11 (+), and Body N-5 (▲)

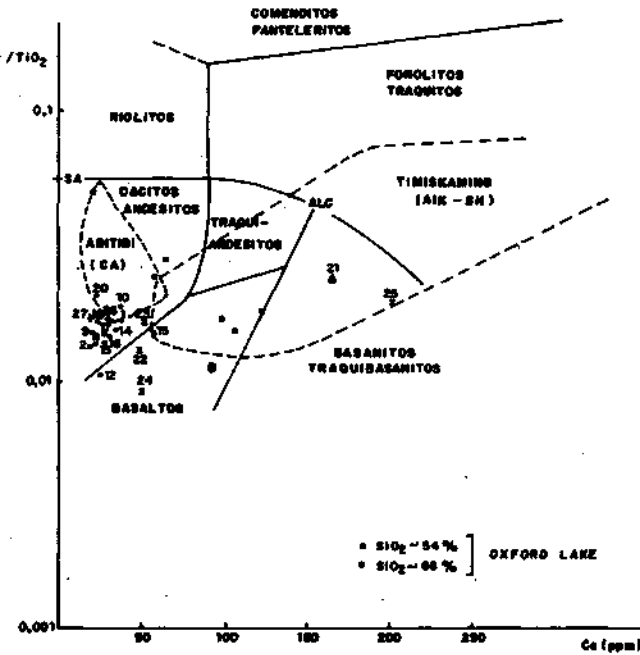


Figura 3 - Diagrama Zr/TiO₂-Ce mostrando a delimitação dos campos de rochas vulcânicas comuns, segundo Winchester & Floyd (1977): SA são rochas vulcânicas subalcalinas de composição intermediária a fêlsica; B são basaltos subalcalinos ou alcalinos e ALC são rochas vulcânicas alcalinas. As relações Zr/TiO₂-Ce das rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará são comparadas com rochas vulcânicas arqueanas canadenses: vulcânicas cálcio-alcalinas do SW do Abitibi Belt (CA) e vulcânicas alcalinas-shoshoníticas de Timiskaming (ALK-SH) e de Oxford Lake. Os campos tracejados e os pontos de Oxford Lake foram compilados de Ujike (1985). Simbologia: Corpos N4 (.), Corpo N-8 (x), Corpo S-11 (+) e Corpo N-5 (▲)

Figure 3 - Zr/TiO₂-Ce diagram for volcanic rocks (after Winchester & Floyd, 1977). Key to symbols: SA for subalkaline intermediate to felsic volcanic rocks; B for subalkaline or alkaline basalts; ALC for alkaline. Compared with Canadian Archean volcanic rocks: Abitibi Belt calco-alkaline volcanics (CA), Timiskaming alkaline-shoshonitic volcanics (ALK-SH) and Oxford Lake (open and full squares). Symbology: Bodies N4 (.), Body N-8 (x), Body S-11 (+), Body N-5 (▲)

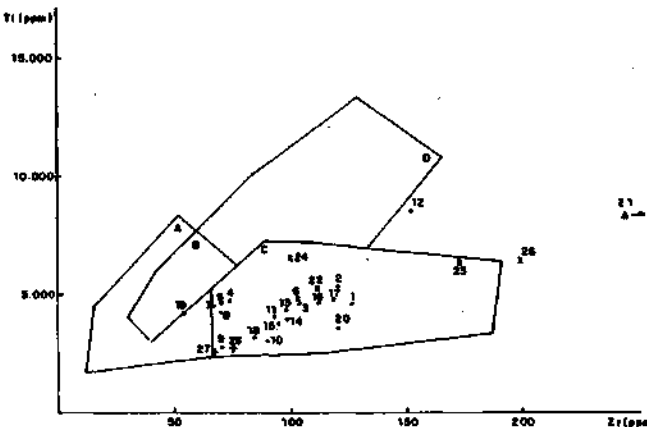


Figura 4 - Diagrama discriminante Ti-Zr de Pearce & Conn (1973) indicando os campos dos toleitos de baixo K (A e B), basaltos cálcio-alcalinos (B e C) e basaltos de fundo oceânico (B e D). Simbologia: Corpos N4 (.), Corpo N-8 (x), Corpo S-11 (+) e Corpo N-5 (▲)

Figure 4 - Ti-Zr Diagram (after Pearce & Cann 1973) showing the fields of low K tholeiites (A and B), calco-alkaline basalts (B and C) and ocean floor basalts (B and D). Symbology: Bodies N4 (.), Body N-8 (x), Body S-11 (+), Body N-5 (▲)

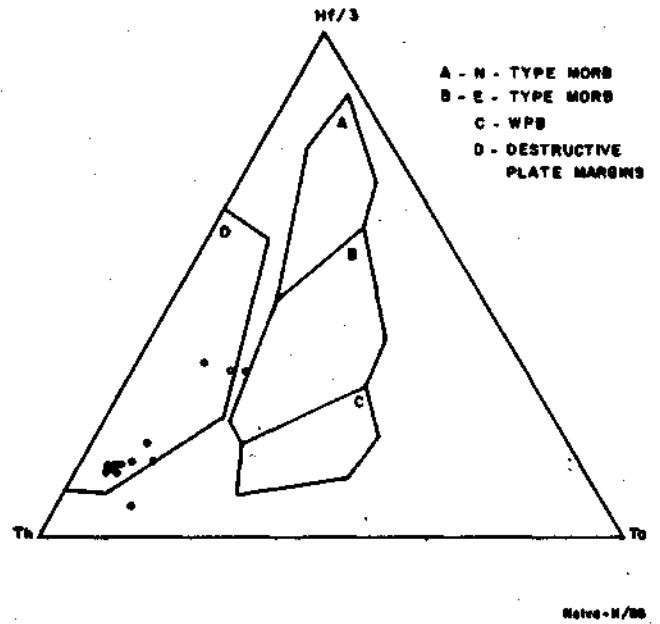


Figura 5 - Diagrama Hf/3 -Th-Ta para as rochas basálticas do Grupo Grão-Pará. Os campos foram obtidos de Wood et al. (1979) e as análises químicas são de Gibbs et al. (1986) Figure 5 - Hf/3 - Th - Ta diagram (after Wood et al 1986) for Grão-Pará basaltic rocks. The chemical analysis are from Gibbs et al (1986)

teristicamente concentrados na magnetite, juntamente com o Fe, e mostram comportamentos similares ao do FeO_i na cristalização fracionária das séries toleíticas (aumento de FeO com o avanço do fracionamento) e cálcio-alcalinas (decréscimo de FeO_i com o avanço do fracionamento). Portanto, os trends delineados pelos pontos correspondentes a TiO₂, FeO e V na figura 6 são típicos de magmas cálcio-alcalinos. O trend do P₂O₅ do corpo N4 é semelhante ao encontrado por Gill (1981) para os andesitos orogênicos das séries cálcio-alcalinas, onde o conteúdo de P₂O₅ geralmente permanece constante ou diminui, com o aumento da silica; o inverso é válido para as séries toleíticas.

Todas as rochas vulcânicas extravasadas em margens de placas convergentes têm distintamente baixo teor de TiO₂ (Pearce & Cann 1973). Este fato vem fortalecer, mais uma vez, a idéia de um ambiente de arco para as rochas vulcânicas dos corpos N4 e N8, em razão dos baixos teores de TiO₂ encontrados para estas rochas (Tab. 1).

Na química de elementos maiores de um arco magmático, a distinção fundamental entre as séries toleítica, cálcio-alcalina e shoshonítica é o aumento progressivo, nesta ordem, do conteúdo de álcalis. Como o K é o principal indicador desse aumento (Jakes & White 1972, Hughes 1982, Ewart 1982), é utilizado como elemento discriminante entre as diferentes séries magmáticas.

Embora haja possibilidade de alguns derrames dos corpos N4 e N8 terem sofrido adição de K durante a alteração, os teores invariavelmente altos deste elemento em todas as amostras analisadas sugerem um magma originalmente rico em K para esses corpos. A utilização do diagrama de Peccerillo & Taylor (1976) revela que as amostras são distribuídas pelos campos das séries cálcio-alcalina, cálcio-alcalina alto K e principalmente shoshonítica (Fig. 7).

GEOQUÍMICA DOS ELEMENTOS TRAÇOS Uma comparação dos teores de elementos traços das amostras estudadas com aqueles apresentados por vários autores (Jakes & White 1972, Morrison 1980, Pearce 1982, Ujike 1985) para

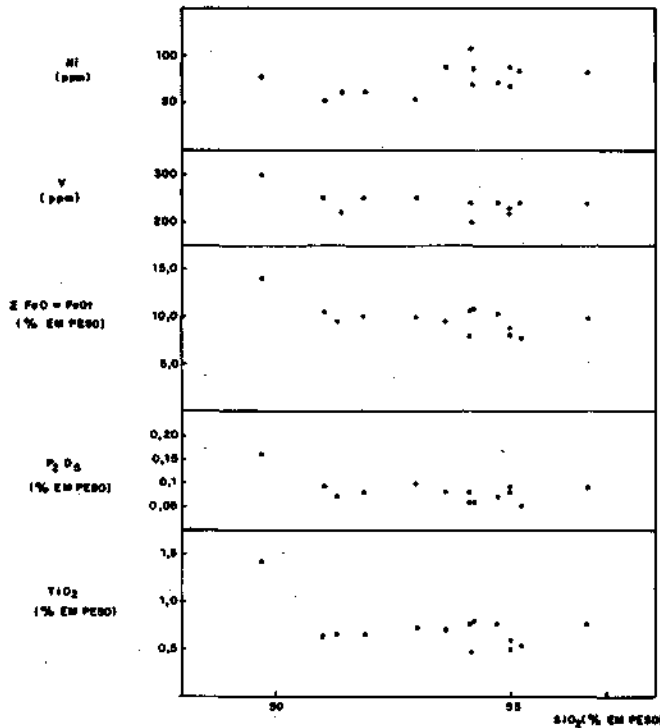


Figura 6 - Variação de alguns elementos maiores e traços em relação ao teor de SiO₂ nas rochas vulcânicas do Corpo N4

Figure 6 - Variation of some major and trace elements with SiO₂ in N4 volcanic rocks

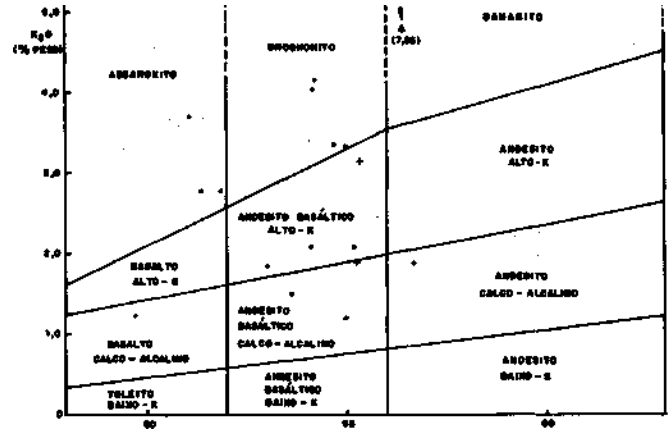


Figura 7 - Diagrama relacionando K₂O-SiO₂ para as rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará. A separação dos campos é baseada em Peccerillo & Taylor (1976). Simbologia: Corpo S-11 (+) e Corpo N4E (.)

Figure 7 - K₂O-SiO₂ diagram (after Peccerillo & Taylor 1976) for Grão-Pará volcanic rocks. Symbology: Body S-11 (+), Body N4E (.)

as diferentes séries magmáticas permite reconhecer nas rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará afinidades cálcio-alcálica, cálcio-alcálica "transicional", alcálica e principalmente shoshonítica (Tab. 2).

O conteúdo dos elementos traços Rb (50 - 140 ppm) e Ba (520 - 3040 ppm) define um intervalo de valores que, embora mostrem alguma dispersão devido à alteração hidrotermal, são típicos da série shoshonítica. Portanto, os altos teores de Ba e Rb, associados aos baixos teores de Zr e Nb (8 - 10 ppm), foram considerados aqui como conteúdos diagnósticos para a caracterização de uma série shoshonítica para a maior parte das rochas vulcânicas encontradas nos corpos N4 e N8.

Tabela 2 - Quadro composicional comparativo entre as diversas séries de arco magmático e suas possíveis correlações com as rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará. Os teores dos elementos foram compilados de Jakes & White (1972), Morrison (1980), Pearce (1982) e Ujike (1985)

Table 2 - Comparison between the various magmatic arc series and the Grão-Pará volcanic rocks. The data for the elements were compiled from Jakes & White (1972), Morrison (1980), Pearce (1982) and Ujike (1985)

ELEMENTOS MAIORES (% PESO) E TRAÇOS (ppm)	SÉRIES MAGMÁTICAS DE MARGEM DE PLACAS CONVERGENTES				
	TOLEÍTICA	CÁLCIO-ALCALINA	SHOSHONÍTICAS		ALCALINA*
	INTERVALO DE SiO ₂ 52 - 58%	INTERVALO DE SiO ₂ 50 - 58%	INTERVALO DE SiO ₂ 48 - 53% 53 - 57%		INTERVALO DE SiO ₂ 51 - 57%
K ₂ O	0,44 - 0,43	1,07 - 1,27	2,74 (1,52 - 4,65) 3,66 (2,40 - 6,05)		1,37 - 10,11
TiO ₂	0,80 - 1,25	0,76 - 1,05	0,83 (0,18 - 1,55) 0,93 (0,68 - 1,84)		0,63 - 1,05
P ₂ O ₅	0,11 - 0,44	0,20 - 0,21	0,44 (0,22 - 0,74) 0,60 (0,01 - 1,44)		0,23 - 1,14
Rb	5,0 - 6,0	10 - 30	59 (24 - 187) 63 (14 - 109)		72 - 302
Ba	75 - 100	115 - 270	683 (380 - 992) 567 (370 - 1011)		1500 - 5200
Sr	200 - 220	330 - 385	943 (520 - 2010) 956 (485 - 1473)		740 - 1780
Ni	30 - 20	25 - 18	50 (4 - 340) 53 (9 - 145)		7 - 26
V	270 - 175	255 - 175	290 (185 - 670) 218 (105 - 300)		145 - 369
Cr	50 - 15	40 - 25	156 (2 - 608) 141 (13 - 440)		< 5 - 85
Zr	70	100 - 110	67 (26 - 277) 121 (81 - 180)		180 - 499
Nb	1,7*	2,7*	8,4*		-
Y	17*	20 - 21	16 (11 - 41) 18 (15 - 26)		17 - 41
Ce	6,94*	19 - 24	28 ↔ 35		168 - 329
La/Yb	1,0	3,5 - 6,2	6,6 ↔ 15		-
Yb	1,4 - 2,4	2,7 - 1,9	2,1 ↔ 1,2		2,12 - 3,26
La	1,1 - 2,4	9,6 - 11,9	14 ↔ 18		89 - 137
CORRELAÇÃO APROXIMADA DAS AMOSTRAS DO GRUPO GRÃO-PARÁ			(1)* (2), (3), (4), (5), (6), (7) (12)* (8), (9), (10), (11), (13), (14) (19)* (15), (16), (17), (18), (22), (23) (20)* (24), (26), 27)		(21), 25)

*: Dados compilados de Ujike (1985) para as rochas vulcânicas Timiskaming da área de Crystal Lake, Ontário; teores de TiO₂ = 1,2%, Cr = 392 ppm e Ni = 163 ppm foram reportados por Capdevila et al. (1982), in Ujike (1985)

*: Teor só para a composição basáltica

o: Amostras admitidas, em princípio, como transicionais entre os campos cálcio-alcálico e shoshonítico, pois apresentaram teores, dos elementos considerados como mais diagnósticos (Rb, Ba e K₂O), comuns a ambas séries

A figura 3 mostra que os pontos analíticos referentes às rochas vulcânicas de afinidade alcalina do Grupo Grão-Pará caem dentro do campo composicional das rochas vulcânicas Timiskaming, enquanto o restante das análises são projetadas no campo das rochas subalcalinas. As rochas vulcânicas intermediárias de Oxford Lake, projetadas no campo delimitado pelas vulcânicas Timiskaming, são consideradas andesíticas de alto K a shoshoníticas, com base principalmente na relação $K_2O - SiO_2$ e nos padrões de distribuição das terras raras (Brooks *et al.* 1982). Portanto, pelas relações observadas na figura 3, as rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará, na área de estudo, podem estar indicando a presença de uma suíte vulcânica composta por rochas de natureza shoshonítica-alcalina semelhante à de Oxford Lake.

O padrão enriquecido em terras raras leves, mostrado pela figura 8, é característico de rochas vulcânicas mais evoluídas associadas a eventos orogênicos. A similaridade no enriquecimento das terras raras leves, comumente observada nas séries cálcio-alcalina, shoshonítica e alcalina, contribui para a freqüente superposição dos seus padrões de distribuição, dificultando, desta forma, um diagnóstico preciso entre elas (Jakes & Gill 1970, Morrison 1980, Ujike 1985). A difícil separação entre as séries cálcio-alcalina e shoshonítica reside na fraca correlação existente entre o K_2O e a razão La/Yb nos arcos magmáticos (Jakes & Gill 1970).

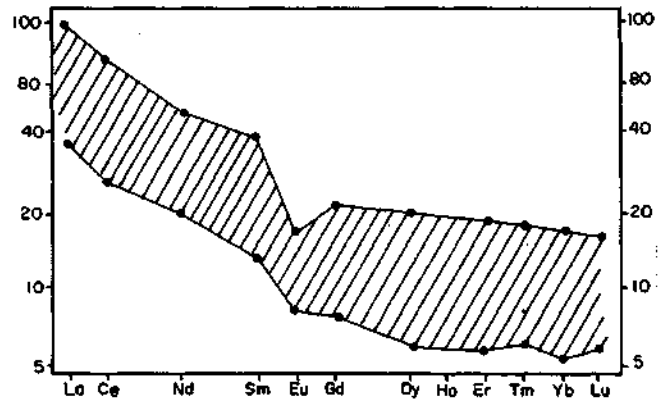


Figura 8 - Intervalo de padrões de REE normalizados a condritos para as rochas basálticas do Grupo Grão-Pará
Figure 8 - REE (normalized to chondrites) distribution patterns for Grão-Pará basaltic rocks

As características predominantes das rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará e das séries magmáticas de margem de placas convergentes foram resumidas e agrupadas na tabela 3.

Tabela 3 - Quadro comparativo das características principais das rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará (Corpos N4 e N8) e das séries magmáticas de margem de placas convergentes. As diversas informações envolvendo as séries de arco magmático foram obtidas de Jakes & Gill (1970), Jakes & White (1971, 1972), Morrison (1980), Bailey (1981), Pearce (1982) e Ujike (1985)

Table 3 - Comparison between the principal Grão-Pará volcanic rocks (Bodies N4 and N8) and the magmatic series of destructive plates. The data for the elements were compiled from Jakes & Gill (1970), Jakes & White (1971, 1972), Morrison (1980), Bailey (1981), Pearce (1982), and Ujike (1985)

CARACTERÍSTICAS GERAIS	SÉRIES MAGMÁTICAS DE MARGEM DE PLACAS CONVERGENTES				
	CORPOS N-4 E N-8	TOLEÍTICA	CÁLCIO-ALCALINA	SHOSHONÍTICA	ALCALINA
Fenocristais	• Presença comum de fenocristais de plagioclásio e, às vezes, de augita.	• Mineralogia dos fenocristais é similar entre as duas séries, mas as rochas cálcio-alcalinas apresentam maior quantidade		• Presença de fenocristais de olivina, clinopiroxênio e plagioclásio	
Elementos diagnósticos	• Alto K_2O • $K_2O/Na_2O < 1$ • $Na_2O + K_2O > 5\%$ • Rb (geralmente > 50 ppm) • Ba (geralmente > 500 ppm freqüentemente > 1000 ppm)	• Baixo K ($\sim 0,44\%$) • Rb 3 - 10 ppm • Sr 100 - 200 ppm • Ba 50 - 150 ppm	• K 1,0 - 1,3% • Rb 30 ppm • Sr 380 ppm • Ba 270 ppm	• Alto K_2O • $K_2O/Na_2O \geq 1$ • Rb (geralmente > 50 ppm) • Sr e Ba (geralmente > 500 ppm, às vezes > 1000 ppm)	• Baixo Nb e TiO_2 • Alto $Na_2O + K_2O$ e elementos incompatíveis • Diferem das rochas alcalinas intraplacas por mostrarem anomalias negativas de Nb, Ta e Ti nos diagramas normalizantes - Morb.
Varição de alguns elementos com SiO_2	• Empobrecimento em FeO e P • Ni mantém-se constante até 56% de SiO_2 (Fig. 6)	• Empobrecimento em Ni • Enriquecimento em FeO e P	• Empobrecimento em FeO e P • Ni mantém-se constante em toda a série	• Empobrecimento em FeO e P • Ni mantém-se constante até 56% de SiO_2 , mas decresce para valores $> 56\%$ de SiO_2	
Padrões de distribuição das REE	• Padrões enriquecidos em LREE • La/Yb = 3,3 - 12,0	• Padrão horizontal das REE • La/Yb = 1,0	• Padrões enriquecidos em LREE (fracionado) com superposição entre as diversas séries • La/Yb variável		
Proporções relativas entre as rochas	• Predominam os andesitos basálticos	• Predominam os basaltos	• Predominam andesitos e andesitos basálticos	• Predominam os basaltos e andesitos basálticos	
Estágio de evolução e localização no arco	• Provavelmente localizado em arco maturo	• Estágio inicial de evolução do arco • Próxima a fossa oceânica	• Estágio intermediário de evolução • Distante da fossa em relação à série toleítica	• Estágios finais de evolução do arco - alta maturidade • Mais distante da fossa oceânica, em comparação com as outras séries • Retardada de arcos magmáticos	

PETROGÊNESE Entre os vários modelos petrogenéticos que têm sido propostos para explicar as características químicas das rochas shoshoníticas, destacam-se os seguintes:

- fusão parcial de um manto enriquecido em elementos "LIL" (large-ion-lithophile) por Dostal *et al* (1977), com composições variando de espinélio lherzolito (Carr & Fardy 1983) a granada ou espinélio peridotito (Dostal & Zerbi 1978, Manetti *et al* 1979);
- fusão de rochas do manto, com enriquecimento em elementos litófilos, decorrente da assimilação de rochas crustais. Esta assimilação pode ser explicada pelas altas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,7054 - 0,7100) das rochas shoshoníticas (Tsvetkov 1984).

De acordo com Meirelles (1986), os padrões de terras raras das rochas de afinidade shoshonítica do Grupo Grão-Pará são condizentes com o modelo petrogenético proposto por Manetti *et al.* (1979), que sugerem uma região fonte do manto enriquecida em elementos "LIL". A possibilidade de um enriquecimento adicional destes elementos por contaminação crustal também é viável, uma vez que Gibbs *et al* (1986) obtiveram uma razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7057 para as rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará.

AMBIENTE GEOTECTÔNICO Em termos geotectônicos, as rochas vulcânicas do Grupo Grão-Pará não estão bem definidas. Medeiros Neto & Villas (1985), adotando o modelo proposto por Hutchinson (1979), acreditam que o Grupo Grão-Pará e as Sequências Buritirama e Salobo-Pojuca sejam representantes de diferentes fácies de uma única sequência vulcanossedimentar. Ferreira Filho (1985) define um ambiente de arco de ilhas para as rochas metabásicas do Prospecto Bahia, e, por meio de critérios petrográficos e geo-

químicos, correlaciona estas rochas com aquelas do Grupo Grão-Pará.

As evidências geoquímicas apresentadas neste trabalho sugerem que as rochas basálticas do Grupo Grão-Pará representam um magmatismo predominantemente shoshonítico, que possivelmente ascendeu até a superfície por um sistema de rifles formado em ambiente de crosta continental, ligado geneticamente a uma orogênese vizinha.

O modelo geotectônico proposto neste trabalho difere daquele apresentado por Wirth (1986) e Gibbs *et al* (1986), principalmente no que diz respeito à origem do mecanismo de rifting. Como este mecanismo se relaciona ao processo de subducção (Meirelles 1986, Dardenne *et al* 1988), o modelo proposto não favorece uma comparação com basaltos do tipo Karoo e Bacia do Paraná como sugerem tais autores, pois os baixos teores de Ti, Nb e Zr (elementos considerados relativamente imóveis) das rochas basálticas "Grão-Pará" não estão de acordo com os (altos) teores encontrados para esses mesmos elementos nos basaltos daquelas províncias.

Segundo os autores, o ambiente geotectônico do Grupo Grão-Pará se assemelha em muitos aspectos com a evolução do mar do Japão (Windley 1984).

Agradecimentos Os autores agradecem aos funcionários do laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília (UnB) pelas determinações analíticas, bem como às companhias de mineração DOCEGEO e Vale do Rio Doce pelo apoio dado ao projeto. Este trabalho foi realizado com o auxílio do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) (Processo N° 405267-84), CAPES e Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, J.C. 1981. Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites. *Chem. Geol.*, **32**:139-154.
- BARBOSA, O.; ANDRADE RAMOS, J.R.; GOMES, F.A.; HEMBOLD, R. 1986. *Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do Projeto Araguaia*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 95 p. (Monografia 19).
- BEISIEGEL, V.R.; BERNARDELLI, A.L.; DRUMMOND, N.F.; RUFF, A.W.; TREMAINE, J.W. 1973. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geoc.*, **3**(4):215-242.
- BROOKS, C.; LUDDEN, J.; PIGEON, Y.; HUBREGTSE, J.J.M.W. 1982. Volcanism of shoshonite to high-K andesite affinity in an Archean arc environment, Oxford Lake, Manitoba. *Can. J. Earth Sci.*, **19**:55-67.
- CARR, P.P. & FARDY, J.J. 1983. REE geochemistry of Late Permian shoshonitic lavas from the Sydney Basin, New South Wales, Australia. *Chem. Geol.*, **43**:187-201.
- DARDENNE, M.A.; FERREIRA, CR, P; MEIRELLES, M.R. 1988. The role of shoshonitic and calc-alkaline suites in tectonic evolution of the Carajás District, Brazil. *South Am. Earth Sci.*, **1**(4):363-372.
- DICKINSON, W.R.; RICHARD, M.J.; COULSON, F.I.; SMITH, J.G.; LAWRENCE, R.L. 1968. Late Cenozoic shoshonitic lavas in North-Western Vite Levu, Fiji. *Nature*, **219**:148.
- DOSTAL, J.; ZENTILLI, M.; CAELLES, J.C.; CLARK, A.H. 1977. Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes (26° - 28° S). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **63**:113-128.
- DOSTAL, J. & ZERBI, M. 1978. Geochemistry of the Savalan volcano (Northwestern Iran). *Chem. Geol.*, **22**:31-42.
- EWART, A. 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. In: THORPE, R.S. ed. *Andesites: orogenic andesites and related rock*. New York, Wiley & Sons. p. 25-95.
- FARIAS, N.F.; SANTOS, A.B.S.; BIAGINI, D.O.; VIEIRA, E.A.P.; MARTINS, L.P.B.; SAUERESSIG, R. 1984. Jazidas de Cu e Zn da Área Pojuca, Serra dos Carajás - PA. In: CONOR. BRAS. GEOL., **33**. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 8, p. 3658-3668.
- FERREIRA, C.F., P. 1985. *Geologia e mineralizações sulfetadas do Prospecto Bahia, Província Mineral de Carajás*. Brasília. 112 p. (Dissertação de Mestrado, IG/UnB). (Inédito).
- FERREIRA, C.F., P & DANNI, J.C.M. 1985. Petrologia e mineralizações sulfetadas do Prospecto Bahia - Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., **2**. Belém, 1982. *Anais...* Belém, SBG. v. 3, p. 34-47.
- GIBBS, A.K.; WIRTH, K.R.; HIRATA, W.K.; ÓLSZEWSKI, W.J. 1986. Age and composition of the Grão-Pará group volcanics, Serra dos Carajás. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**(2):201-211.
- GILL, J.B. 1970. Geochemistry of Viti Levu, Fiji, and its evolution as an island arc. *Contr. Mineral. Petrol.*, **27**:179-203.
- GILL, J.B. 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin, Springer-Verlag. 390 p.
- HIRATA, W.K.; RIGON, J.C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A.A.C.; MEIRELES, E.M. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., **1**. Belém, 1982. *Anais...* Belém, SBG. p. 100-108.
- HUGHES, C.J. 1982. *Igneous petrology*. New York, Elsevier. 551 p.
- HUTCHINSON, R.W. 1979. *Report on DOCEGEO Copper Projects MM1, Salobo and regional geological relationship, Pará, Brazil*. Belém, DOCEGEO. 17 p. (Rel. Int.).
- JAKES, P. & GILL, J. 1970. Rare earth elements and the island arc tholeiitic series. *Earth Planet. Sci. Letters*, **9**:17-28.
- JAKES, P. & WHITE, A.J.R. 1971. Composition of island arcs and continental growth. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **12**:224-230.
- JAKES, P. & WHITE, A.J.R. 1972. Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **83**:29-40.
- JOPLIN, G.A.; KISS, E.; WARE, N.G.; WIDDOWSON, J.R. 1972. Some chemical data on members of the shoshonite association. *Mineral. Mag.*, **38**:936-945.
- MACKENZIE, D.E. & CHAPPEL, B.W. 1972. Shoshonitic and calc-alkaline lavas from the highlands of Papua New Guinea. *Contr. Mineral. Petrol.*, **35**:50-62.
- MANETTI, P.; PECCERILLO, A.; POLI, G. 1979. REE distribution in Upper Cretaceous calc-alkaline and shoshonitic volcanic rocks from Eastern Srednogie (Bulgaria). *Chem. Geol.*, **26**:51-63.
- MEDEIROS, F.A., NETO & VILLAS, R.N.N. 1985. Geologia da jazida de Cu-Zn do Corpo 4E-Pojuca, Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., **2**. Belém, 1985. *Anais...* Belém, SBG. v. 3, p. 97-112.
- MEIRELES, E.M.; HIRATA, W.K.; AMARAL, A.F.; MEDEIROS, C.A., P; GATO, W.C. 1984. Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral dos Carajás, Estado do Pará. In: CONOR. BRAS. GEOL., **33**. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 5, p. 2164-2174.
- MEIRELLES, M.R. 1986. *Geoquímica e petrologia dos jaspilitos e rochas vulcânicas associadas, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás - PA*. Brasília. 150 p. (Dissertação de Mestrado, IG/UnB). (Inédito).
- MIYASHIRO, A. 1975. Volcanic rock series and tectonic setting. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, p. 251-269.
- MORRISON, G.W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, **13**:97-108.

- PEARCE, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: THORPE, R.S. ed. *Andesites: erogenic andesites and related rocks*. New York, Wiley & Sons. p. 525-548.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**:290-300.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contr. Miner. Petrol.*, **58**:63-81.
- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S.; GUIMARÃES, G. 1974. Geologia. In: LEVANTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS. *Projeto Rodam: Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins*. Rio de Janeiro, MME-DNPM. v. 4, 143 p.
- TSVETKOV, A.A. 1984. Subalkaline basaltic magmatism in active zones of transition from ocean to continent. *Inter. Geol. Rev.*, **26**:889-906.
- UJIKÉ, O. 1985. Geochemistry of Archean alkalic volcanic rocks from the Crystal Lake area east of Kirkland Lake, Ontario, Canada. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **73**:333-344.
- VENTURELLI, G.; THORPE, R.S.; DAL PIAZ, G.V.; DEL MORO, A.; POTTS, P.J. 1984. Petrogenesis of calc-alkaline, shoshonitic and associated ultrapotassic Oligocene volcanic rocks from the Northwestern Alps, Italy. *Contr. Miner. Petrol.*, **86**:209-220.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, **20**:325-343.
- WINDLEY, B.F. 1984. *The evolving continents*. New York, Wiley & Sons. 339 p.
- WIRTH, K.R. 1986. *The geology and geochemistry of the Grão-Pará Group, Serra dos Carajás, Pará, Brazil*. Cornell. 284 p. (M. Sc. Thesis, University of Cornell, Ithaca).
- WIRTH, K.R.; GIBBS, A.K.; OLSZEWSKI, W.J., Jr. 1986. U-Pb ages of zircons from the Grão-Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**(2): 195-200.
- WOOD, D.A.; JORON, J.L.; TREUIL, M. 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic setting. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **45**:326-336.

MANUSCRITO A623

Recebido em 4 de outubro de 1989

Revisão do autor em 27 de julho de 1990

Revisão aceita em 31 de julho de 1990