

## Geoquímica do Gabro Coronítico de Amparo, RJ

Isabel Pereira Ludka & Cristina Maria Wiedemann

*Departamento de Geologia - I. Geociências / UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ilha do Fundão, 21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil*

*ludka@geologia.ufrj.br*

*campos@geologia.ufrj.br*

### Resumo

Neste trabalho é apresentada a caracterização química, assim como alguns aspectos petrológicos das rochas do corpo gabróico de Amparo. Foram analisadas 10 amostras dos gabros para elementos maiores, menores e alguns traços, na tentativa de se cobrir todo espectro composicional e granulométrico. Elementos terras-raras também foram analisados para 3 amostras. Os resultados refletem a variação da mineralogia. Os teores de elementos maiores correspondem a um magma toleítico sub-alcálico, com a classificação química de acordo com a classificação modal, ou seja, um basalto (gabro) picrítico, um olivina toleítico. Em relação aos elementos menores, traços e ETR, diversas anomalias são observadas, como o enriquecimento em ETRL, Ba e Sr, fenômeno comum a outras rochas básicas e ultrabásicas ocorrentes nessa porção do Cinturão Ribeira.

**Palavras-chave:** gabro, Cinturão Ribeira, geoquímica

### Abstract

The aim of this paper is to present geochemical data and some petrological aspects of the Amparo gabbroic (hyperite) body, located approximately 30 km east of the town, Nova Friburgo, Rio de Janeiro State. Ten samples of these basic rocks were analysed for major, minor and trace elements, and three of these for REE. The data obtained reflect the limited mineralogical range. The contents of the major elements indicate a sub-alkalic tholeiitic magma, as shown by modal analysis, which classified these rocks as an olivine gabbro. Geochemical analysis of the minor, trace and rare-earth elements shows abnormal incompatible enrichment, such as the high LREE, Ba and Sr contents. Similar results for other basic and ultrabasic intrusions are common in this portion of the Ribeira Mobile Belt.

**Key words:** gabbro, Ribeira Mobile Belt, geochemistry

## 1 Introdução

O Gabro de Amparo está localizado a leste da cidade de Nova Friburgo, próximo ao distrito de Amparo, no Estado do Rio de Janeiro. O mapa de localização, assim como a descrição petrográfica, química de minerais e dados de geotermometria estão publicados em Ludka & Wiedemann (1997). Foram escolhidas e preparadas 10 amostras ao todo para análise por fluorescência de raios-x, para elementos maiores, menores e traços, e separadas 3 amostras representativas para elementos terras-raras, conforme dados da tabela 1

## 2 Metodologia das análises químicas de rochas

A partir dos trabalhos de campo e das descrições petrográficas foi possível uma avaliação dos critérios a serem adotados para uma amostragem geoquímica representativa dos maciços estudados. Foram preparadas 10 amostras para análise por fluorescência de raios-x, onde se procedeu a quarteamento, pesagem, determinação da água de umidade e estrutural (perda ao fogo), nova pesagem e mistura com tetraborato de lítio para fusão de pastilha.

Quantidades representativas de cada amostra foram fragmentadas em britadores de mandíbulas de dois tamanhos diferentes, para atingir a granulometria adequada; foram então quarteadas até aproximadamente 100 gr e limpas com jatos de ar comprimido; em seguida foram pulverizadas a cerca de 50 milimícrons em moinho de anéis de tungstênio. O pó obtido foi separado em três porções, para análise do Fe<sup>2+</sup> por via úmida, fluorescência de raios-X e banco de amostragem.

Para as análises por fluorescência de raios-X foi utilizada uma fluorescência sequencial da Siemens, do Instituto de Geologia Geral e Aplicada da Universidade de Munique, Alemanha. Para preparação das pastilhas fundidas foi pesado 2,5 gr de cada amostra, adicionado de 5 gramas de tetraborato de lítio para fusão em forno de indução, por cerca de 3 minutos a mais de 1200°C. Foram analisados elementos maiores e menores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P), e alguns elementos traços (Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, Nb, Ni, Zn, Rb, Sr, V, Y e Zr), com os seguintes cristais: LIF 100-110, PET e TIAP. Contador de fluxo e cintilômetro, filtro de Al 200 µm foram escolhidos de acordo com os parâmetros do aparelho necessários para analisar cada um dos elementos

com tubo de molibdênio. Duas amostras de referência foram utilizadas para as recalibrações e monitoramento. A escolha dos programas de correção, cálculo de curvas de calibração de acordo com padrões internacionais de rocha foi feita pela presente autora em conjunto com a técnica do laboratório sob a coordenação do Prof. Dr. Klaus Weber-Diefenbach, da Universidade de Munique, Alemanha, onde as análises foram realizadas.

Para a separação do Fe total obtido nas análises de fluorescência em  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , foram realizadas análises de  $Fe^{2+}$  por titração em 4 amostras, repetidas e comparadas

	A-1	A-2	A-6.1	A-6.2	A-8	A-8.1	A-8B	A-8C	A-10	A-10A
SiO <sub>2</sub>	44.07	41.59	42.83	42.06	43.4	43.45	43.56	41.85	42.92	41.46
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.23	0.17	0.12	0.24	0.22	0.16	0.13	0.19	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.18	12.36	20.82	19.09	18.01	16.02	23.6	17.51	22.72	15.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.71	2.11	2.61	2.45	2.49	2.33	2.78	2.42	2.7	2.29
FeO	5.6	12.43	6.72	8.54	8.09	9.9	4.9	8.81	5.76	10.29
MnO	0.11	0.2	0.11	0.13	0.14	0.17	0.09	0.13	0.11	0.15
MgO	10.28	22.47	13.62	16.07	14.73	17.82	9.35	19.11	10.62	20.73
CaO	12.82	8.16	10.77	9.69	10.66	9.13	12.42	8.95	12.04	8.16
Na <sub>2</sub> O	0.95	1.05	0.95	0.99	1.06	1.12	0.93	1.04	0.9	1.11
K <sub>2</sub> O	0.09	0.09	0.07	0.06	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
LOI	1.17	1.62	1.34	1.25	1.1	1.32	0.74	1.17	0.81	1.26
<b>TOTAL</b>	<b>99.26</b>	<b>100.36</b>	<b>100.04</b>	<b>100.48</b>	<b>100.05</b>	<b>101.6</b>	<b>98.65</b>	<b>101.23</b>	<b>98.9</b>	<b>101.72</b>
Ba	31	34	23	15	16	49	59	51	61	29
Rb	0.52	0.43	1.35	0.22	0.28	0.18	1.1	0.78	0.26	0.9
Sr	286	158	247	228	246	217	366	204	305	186
Zr	20	32	18	14	22	28	13	20	22	23
Y	5	5	3	3	4	4	4	3	4	4
Cr	190	237	175	49	70	69	35	68	63	81
Ni	92	147	108	109	112	123	94	164	94	136
V	61	55	31	21	58	53	27	22	30	23
Cu	32	54	42	44	34	36	28	63	36	47
Zn	37	71	40	44	54	64	30	48	36	52
La	2.91			3.17					6.62	
Ce	7.4			7.31					14.51	
Nd	4.54			3.2					6.01	
Sm	1.1			0.8					1.12	
Eu	0.34			0.24					0.29	
Gd	0.81			0.48					0.69	
Dy	0.61			0.34					0.5	
Ho	0.12			0.06					0.1	
Er	0.33			0.14					0.25	
Yb	0.22			0.12					0.2	
Lu	0.058			0.05					0.05	
<b>TOTAL</b>	<b>18.44</b>			<b>15.91</b>					<b>30.34</b>	

Tabela 1 Análises químicas de elementos maiores, menores, traços e elementos terras raras para as rochas do gabro de Amparo

sempre a uma amostra branca. As amostras restantes foram calculadas por métodos matemáticos comparativos, utilizando-se a razão de  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  contra o Fe total conhecido para cada grupo de rochas semelhantes. Posteriormente foi feito o tratamento dos dados obtidos, com o reprocessamento dos resultados das análises de FRX para correção da perda ao fogo e do ferro. Foram preparadas 3 amostras em via-úmida para análise dos elementos terras- raras em plasma (ICP) na mesma universidade, para a ocorrência de Amparo. Os dados geoquímicos obtidos foram então processados pelo programa MINPET, onde foram calculados diversos índices e construídos os gráficos petrológicos.

Os resultados obtidos foram plotados nos diversos diagramas propostos na literatura para classificação e comparação com rochas conhecidas, baseados em elementos maiores, menores e traços. A maioria desses diagramas são concebidos para rochas vulcânicas, devendo ser interpretados com o devido cuidado para as rochas plutônicas. A possibilidade das rochas gabróicas de Amparo se tratarem de cumulados é bastante viável. Logo, a sua colocação nos diagramas conhecidos deve sempre levar em conta esse fator, ou seja, a química pode não refletir a composição do magma original. O diagrama ternário AFM (Irvine & Baragar, 1971) mostra o caráter toleítico dessas rochas gabróicas (Fig. 1).

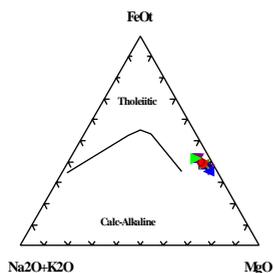


Figura 1 - Diagrama ternário A-F-M de Irvine & Baragar (1971) para as rochas de Amparo. Símbolos -

- (X): A-6.2;
- triângulo invertido cheio:** A-10;
- triângulo invertido vazio:** A-10a;
- triângulo esquerdo azul:** A-8c;
- triângulo direito verde:** A-8b; **círculo cheio:** A-8.1;
- círculo vazio:** A-8;
- losango:** A-2;
- quadrado:** A-1;
- quadrado meio cheio:** A- 6.1

Os diagramas baseados em total de álcalis X sílica são utilizados para classificação química preliminar. Diversos autores têm definido campos nesse diagrama binário, o que vem sendo aperfeiçoado através dos tempos, conforme aumenta a quantidade e a qualidade dos dados disponíveis na literatura.

Nos diagramas de Cox *et al.* (1979) de classificação de rochas vulcânicas adaptado por Wilson (1989) para rochas plutônicas, as amostras caem fora dos campos conhecidos, ficando na faixa das rochas ultrabásicas em relação ao conteúdo de sílica (Fig. 2).

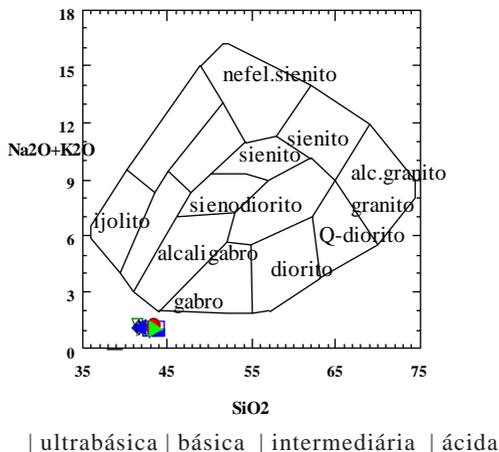


Figura 2 Diagrama Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O X SiO<sub>2</sub> de Cox *et al.* (1979), adaptado por Wilson (1989) para rochas plutônicas. Limites de basicidade detalhados na linha inferior. Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**: A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**: A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**: A-8.1; **círculo vazio**: A-8; **losango**: A-2; **quadrado**: A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

Nos campos propostos por Middlemost (1985) para o mesmo diagrama todas as rochas são classificadas como picritos (Fig. 3):

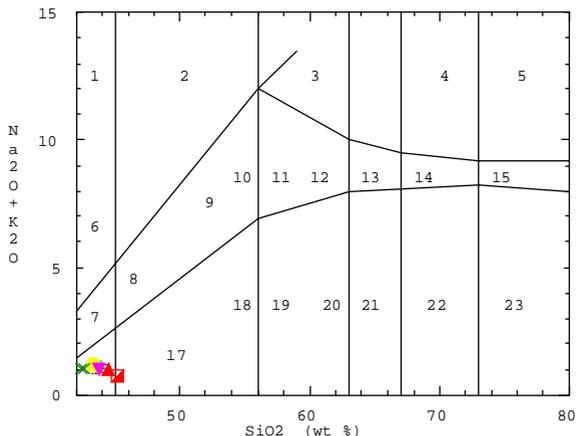


Figura 3 Diagrama Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O X SiO<sub>2</sub> de Middlemost (1985). Campos: 1- nefelinito; 2- fonolito; 3- álcali-traquito; 4- pantelerito; 5- comendito; 6- basanito; 7- álcali-picrito; 8- álcali-olivina basalto; 9- traquibasalto; 10- traquiandesito-basalto; 11- traquiandesito; 12- traquito; 13- traquidacito; 14- traquiriolito; 15- álcali-riolito; 16- picrito; 17- basalto toleítico; 18- basalto andesítico; 19- andesito; 20- andesito dacito; 21- dacito; 22- riolito dacito; 23- riolito. Símbolos: (X): A-6.2; (+): A-6.1; **losango**: A-2; **quadrado meio cheio**: A-1; **triângulo vazio**: A-8; **círculo cheio**: A-8.1; **círculo vazio**: A-8b; **triângulo invertido vazio**: A-8c; **triângulo invertido cheio**: A-10a

Usando as mesmas variáveis (álcalis X sílica), Le Maitre (1989) sugere outra divisão para os campos, classificando as amostras genericamente como microbasaltos (Fig. 4).

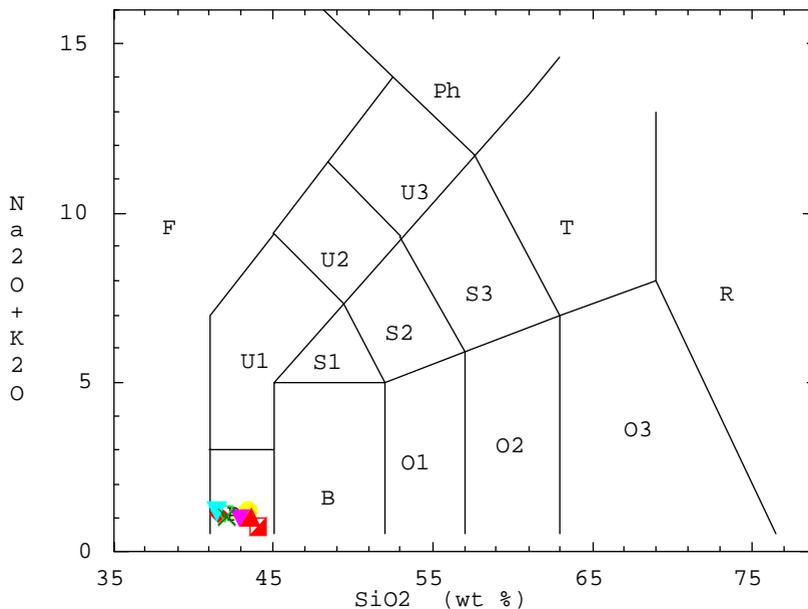


Figura 4 Diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  X  $\text{SiO}_2$  de Le Maitre (1989) de classificação química de rochas. Campos: **F**: foidito; **Pc**: picrobasalto; **B**: basalto; **O1**: andesito basáltico; **O2**: andesito; **O3**: dacito; **S1**: traquibasalto; **S2**: traquiandesito basáltico; **S3**: traquiandesito; **T**: traquito; **R**: riolito; **U1**: tefrito; **U2**: fonotefrito; **U3**: tefrifonolito; **Ph**: fonolito. Símbolos: (X): A-6.2; (+): A-6.1; losango: A-2; quadrado meio cheio: A-1; triângulo vazio: A-8; círculo cheio: A-8.1; círculo vazio: A-8b; triângulo invertido vazio: A-8c; triângulo invertido cheio: A-10; triângulo cheio: A-10a

No diagrama mais discriminativo para rochas básicas de Le Maitre (1989) (fig. 5), as amostras continuam plotando no campo do picrobasalto, com as 4 amostras que possuem teor de  $\text{MgO}$  maior que 18%, se classificando como picritos. É notável a proximidade com o campo dos komatiitos.

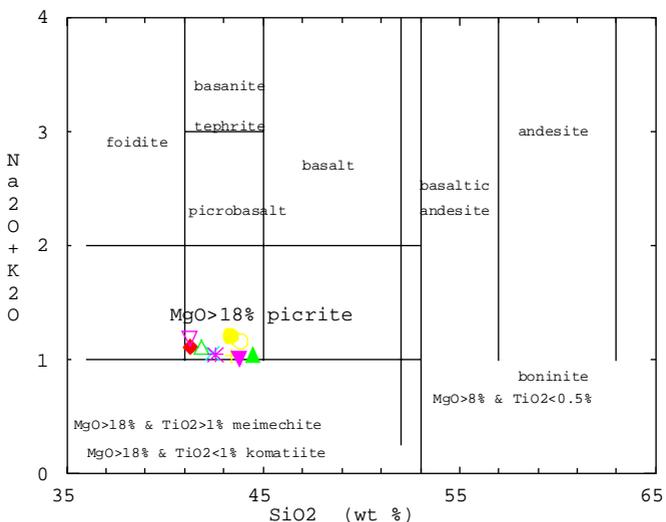


Figura 5 Diagrama Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O X SiO<sub>2</sub> de Le Maitre (1989) de classificação química de rochas básicas. Símbolos: (X): A-6.2; (+):A-6.1; losango:A-2; quadrado meio cheio: A-1; triângulo vazio:A-8; círculo cheio:A-8.1; círculo vazio:A-8b; triângulo invertido vazio:A-8c; triângulo invertido cheio:A-10; triângulo cheio:A-10a

O baixo teor em álcalis fica evidenciado nos campos definidos por Irvine & Baragar (1971) sob as mesmas variáveis álcalis X sílica (Fig. 6).

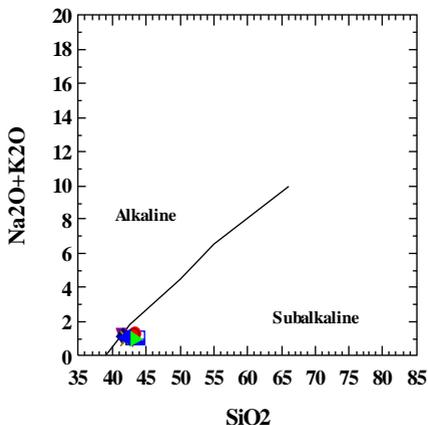


Figura 6 Diagrama Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O X SiO<sub>2</sub> de Irvine & Baragar (1971). Símbolos- (X): A-6.2; triângulo invertido cheio:A-10; triângulo invertido vazio: A-10a; triângulo esquerdo azul:A-8c; triângulo direito verde: A-8b; círculo cheio:A-8.1; círculo vazio:A-8; losango:A-2; quadrado:A-1; quadrado meio cheio: A- 6.1.

No diagrama K<sub>2</sub>O X SiO<sub>2</sub> de Middlemost (1975) para classificação da alcalinidade de basaltos, as amostras caem no campo dos basaltos sub-alcalinos de baixo potássio (Fig. 7)

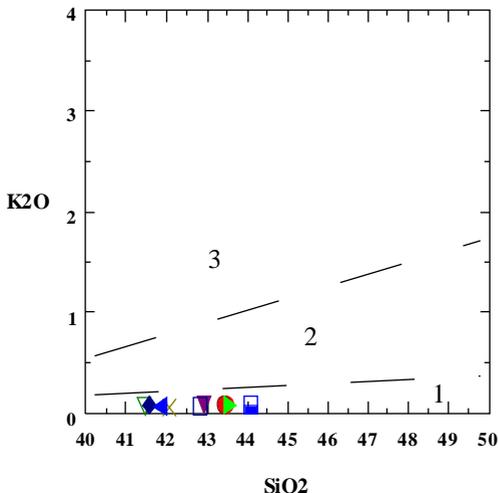


Figura 7 Diagrama K<sub>2</sub>O X SiO<sub>2</sub> de Middlemost, 1975 para classificação da alcalinidade de basaltos. Campos: 1- basaltos sub-alcalinos de baixo potássio; 2- basaltos sub-alcalinos; 3- basaltos alcalinos. Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

Tal resultado é confirmado com base também em outros indicadores, como elementos traços, utilizados por alguns autores. Um diagrama baseado em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> X Zr de Winchester & Floyd (1976) mostra o mesmo resultado ( Fig. 8):

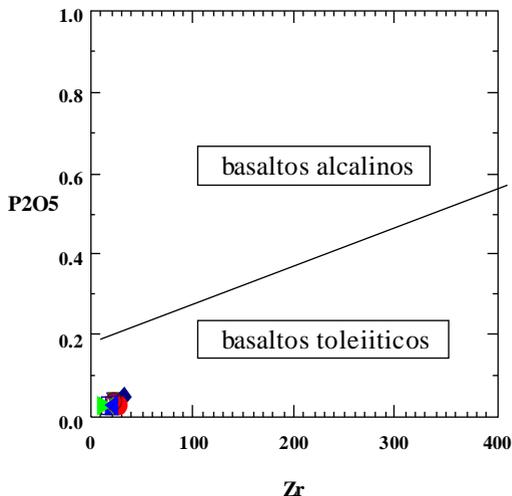


Figura 8 Diagrama P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> X Zr de Winchester & Floyd (1976) separando os campos dos basaltos alcalinos e toleíticos. (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

Usando outros elementos discriminantes (Cr X Ti) o diagrama de Pearce (1975) classifica as rochas como toleitos de baixo potássio (Fig. 9).

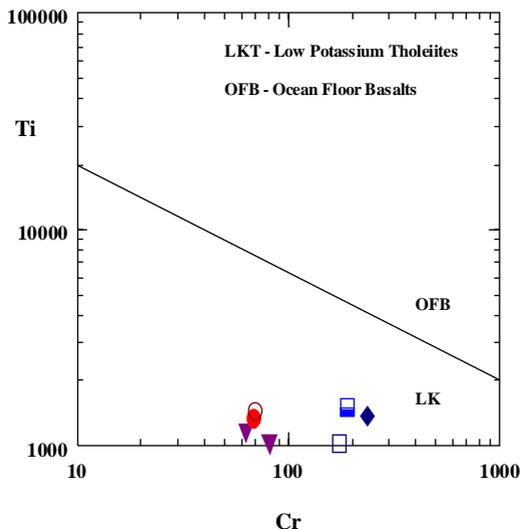


Figura 9 Diagrama LogCr X LogTi de Pearce (1975) para discriminação de basaltos. Símbolos-(X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

Os diagramas binários de variação (Harker,1909) mostram o comportamento dos elementos nas diversas amostras. Foi usado o teor de MgO como elemento guia, no lugar da sílica, que varia menos e mostra dispersão de valores (Fig. 10a e 10b). O conteúdo de magnésio está diretamente ligado ao teor de minerais máficos nas amostras. O ordenamento das amostras assim obtido não reflete a ordem das amostras observada em relação ao X<sub>Mg</sub> encontrado para seus minerais (amostras com minerais mais magnesianos não são necessariamente as com maior teor de Mg na análise de rocha total, pois a proporção dos minerais é diferente). Pode-se observar nos elementos formadores do plagioclásio a correlação negativa com o magnésio, a não ser o sódio, que possui teores muito baixos, quase iguais. O Sr também deve estar relacionado ao plagioclásio, pois mostra comportamento inverso semelhante. O FeO e o MnO são positivos, e o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> negativo. Zn e Ni são positivos, pois acompanham os minerais máficos. Os demais elementos não mostraram nenhuma correlação, formando nuvens nos diagramas.

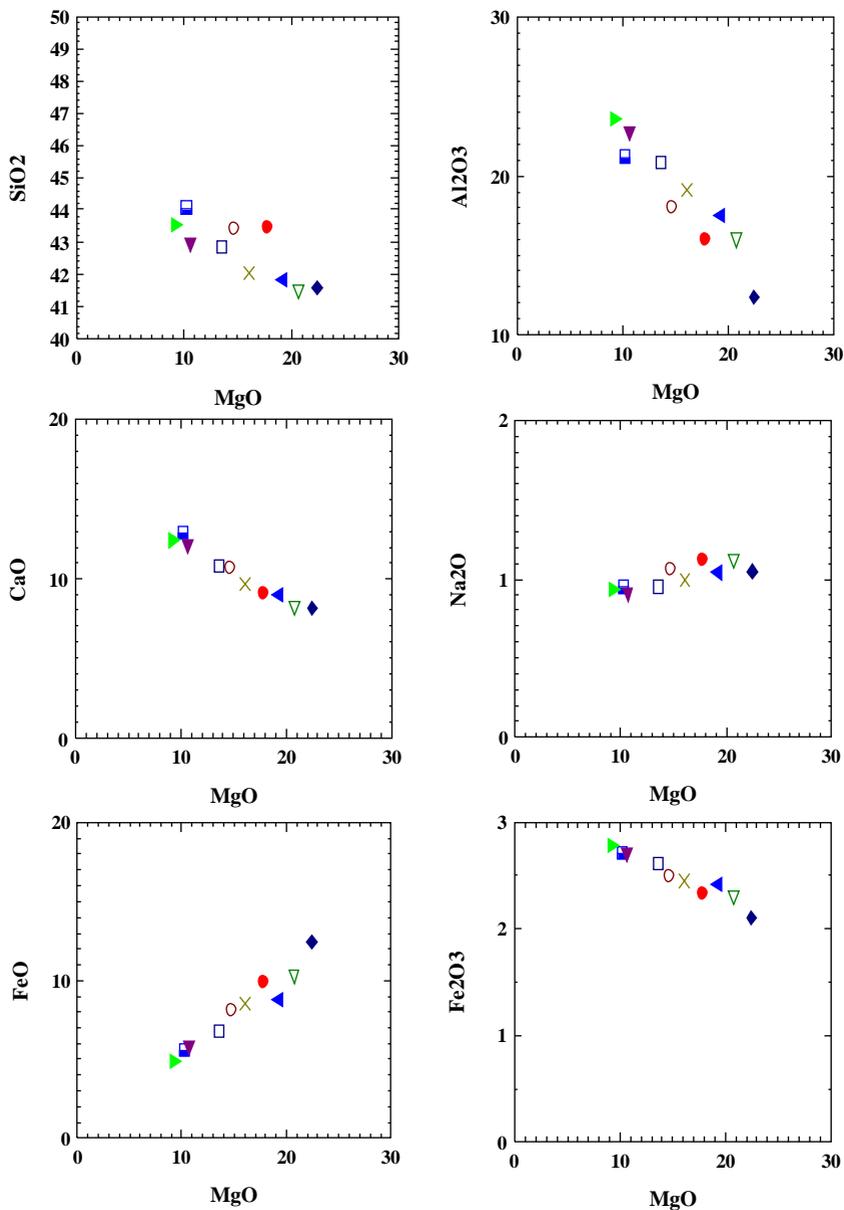


Figura 10a Diagramas binários de variação dos óxidos e elementos X MgO. Símbolos- (X): A-6.2; triângulo invertido cheio:A-10; triângulo invertido vazio: A-10a; triângulo esquerdo azul:A-8c; triângulo direito verde: A-8b; círculo cheio:A-8.1; círculo vazio:A-8; losango:A-2; quadrado:A-1; quadrado meio cheio: A- 6.1.

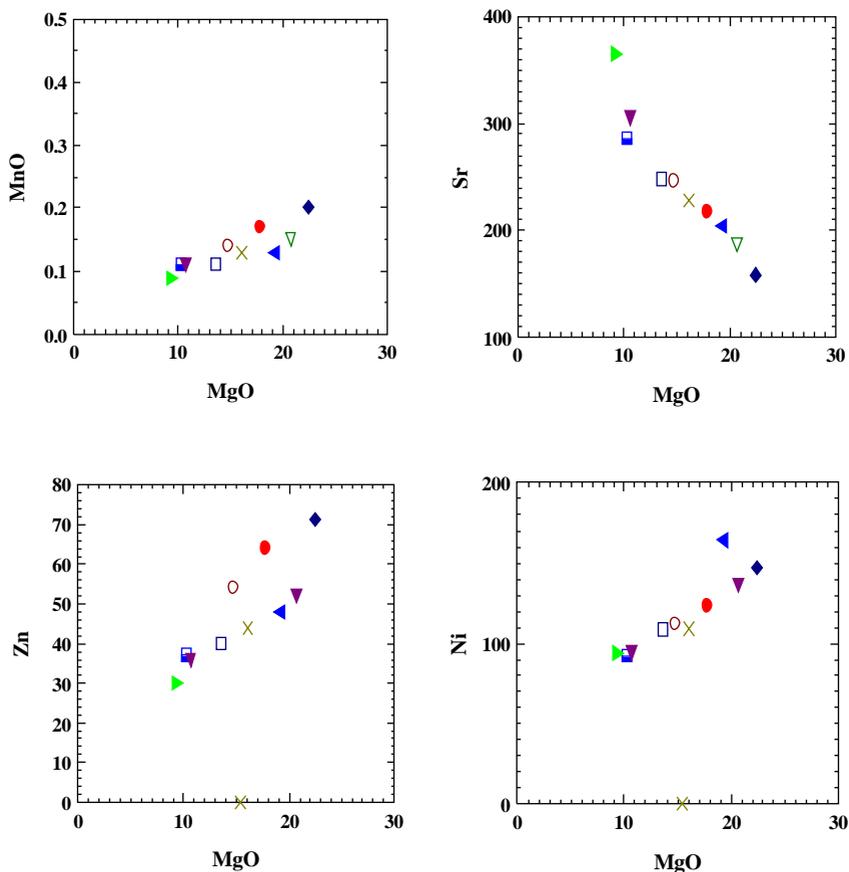


Figura 10 b Diagramas binários de variação dos óxidos e elementos X MgO. Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

No diagrama multicatiónico R1 X R2 original proposto por De La Roche *et al.* (1980), todas as amostras caem no campo dos piroxenitos. Contruído com base nos mesmos parâmetros, utilizou-se para ilustrar o posicionamento das amostras em relação a esses índices o diagrama tectono-magmático proposto por Batchelor & Bowden (1985). Nenhuma amostra plota nos campos delimitados (Fig. 11): caem todas acima do

campo 1 (fracionados do manto), do outro lado da linha de saturação de sílica, sendo, portanto, sub-saturadas nesse elemento. Esse gráfico é concebido para classificação de rochas granitóides, não sendo adequado para rochas básicas. Os altos teores dos elementos R2 (Ca, Mg e Al) nas rochas levam à distorção observada.

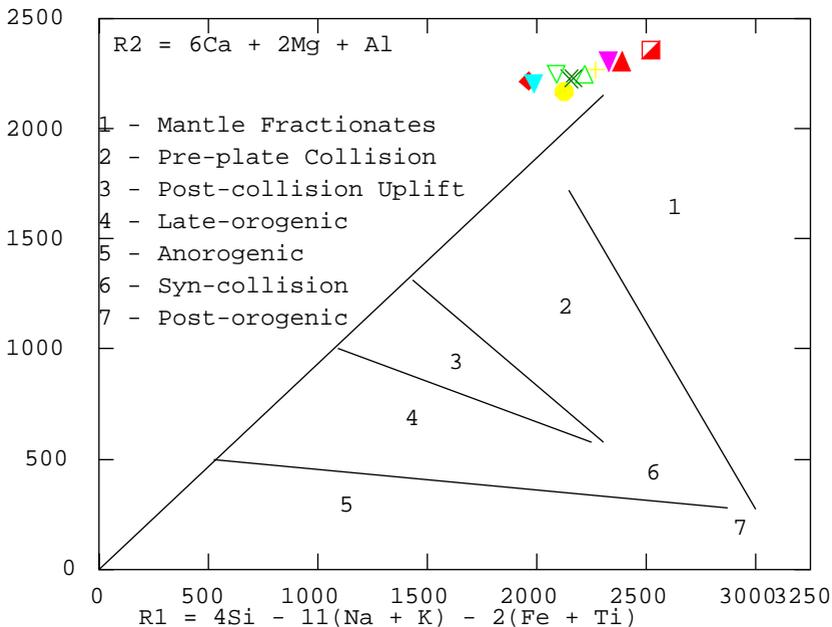


Figura 11 Diagrama multicatiônico R1 X R2 tectono-magmático proposto por Batchelor & Bowden (1985). Símbolos: (X): A-6.2; (+):A-6.1; losango:A-2; quadrado meio cheio: A-1; triângulo vazio:A-8; círculo cheio:A-8.1; círculo vazio:A-8b; triângulo invertido vazio:A-8c; triângulo invertido cheio:A-10; triângulo cheio:A-10a

Para melhor visualização da química das rochas, em especial o índice de saturação em sílica, procedeu-se ao cálculo da composição normativa. Os minerais normativos CIPW foram calculados segundo Cox *et al.*(1979). Os resultados refletem a mineralogia observada: anortita e olivina são os principais constituintes, sendo que em 3 amostras há presença de nefelina. O caráter de sub-saturação em sílica fica evidente (Tab.2).

AMOSTRA	A-1	A-2	A-6.1	A-6.2	A-8	A-8.1	A-8b	A-8c	A-10	A-10a
Q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Or	0.54	0.53	0.42	0.36	0.54	0.53	0.54	0.47	0.50	0.47
Ab	8.19	3.17	8.13	8.43	9.0	9.44	8.03	6.60	7.75	5.27
Na	54.24	28.50	52.97	47.78	44.53	38.27	61.16	42.80	58.74	28.16
Lc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ne	0	3.06	0	0	0	0	0	1.18	0	2.21
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ns	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Di (wo)	4.37	4.76	0.43	0.22	3.63	2.82	0.68	0.60	0.81	0.80
Di (en)	3.06	3.20	0.30	0.15	2.49	1.91	0.48	0.42	0.57	0.55
Di (fs)	0.93	1.20	0.09	0.05	0.85	0.69	0.14	0.12	0.18	0.18
Hy (en)	6.72	0	4.53	0.77	3.12	2.09	8.44	0	5.57	0
Hy (fs)	2.05	0	1.34	0.26	1.07	0.76	2.32	0	1.73	0
OI (fo)	11.49	36.79	20.76	27.70	22.12	28.30	10.60	33.13	14.65	35.72
OI (fa)	3.86	15.21	6.79	10.41	8.38	11.35	3.30	10.86	5.01	12.92
Mt	4.01	3.04	3.83	3.58	3.65	3.37	4.12	3.51	3.99	3.31
He	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Il	0.48	0.43	0.33	0.23	0.46	0.42	0.31	0.25	0.37	0.32
Ap	0.07	0.11	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09

Tabela 2 Norma CIPW (Cox *et al.*, 1979) para as rochas de Amparo

Thompson (1984) propôs um esquema de classificação de basaltos baseado nos minerais normativos Ne-Di-OI-Hy-Q. São 3 triângulos equiláteros justapostos: Ne-OI-Di para os basaltos e rochas afins sub-saturados em sílica, OI-Di-Hy para as rochas saturadas em sílica e Di-OI-Q para as supersaturadas. As rochas de Amparo plotam no triângulo das rochas saturadas, próximo à região do picrito. Apenas as 3 amostras que contém nefelina normativa caem no triângulo dos subsaturados, no campo do alcali-olivina basalto (Fig. 12).

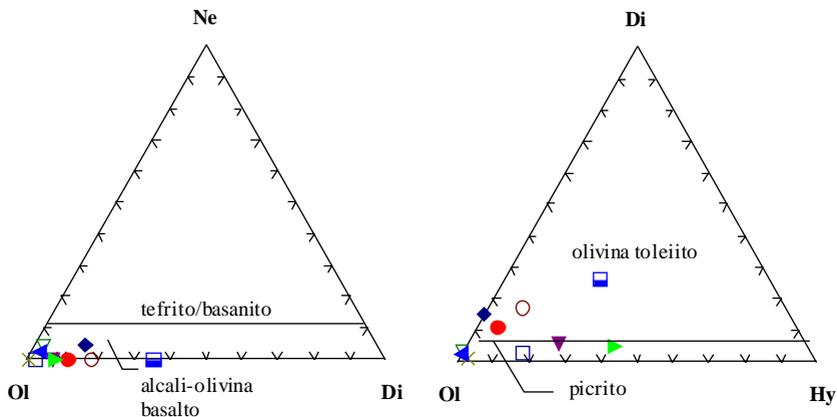


Figura 12 Diagramas ternários Ne-Di-Ol-Hy-Q de Thompson (1984). O triângulo da esquerda é justaposto ao da direita pelos vértices. Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

O posicionamento tectônico dessas rochas é duvidoso, visto que relações de contato com as rochas encaixantes não foram encontradas. Porém, a ausência de deformação nessas rochas leva a crer em um posicionamento tardi- a pós-tectônico, semelhante às outras ocorrências toleíticas do Estado do Espírito Santo, como Jacutinga (Ludka, 1991) e Lagoa Preta (Vieira *et al.*, 1993). Alguns autores propõem correlações entre ambientes tectono-magmáticos e a composição química das rochas. Vários desses diagramas foram explorados na tentativa de uma classificação para as rochas de Amparo.

No diagrama ternário Nb- Zr-Y, Meschede (1986) propõe campos discriminatórios de basaltos MORB e toleitos continentais. As amostras plotam principalmente no campo C, correspondente a toleitos continentais, com 2 amostras no limite dos campos C e D, basaltos de arco vulcânico (Fig. 13).

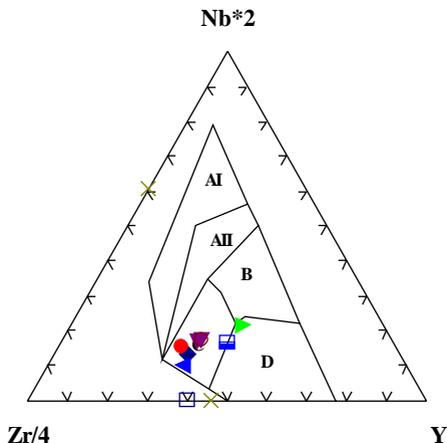


Figura 13 Diagrama Y-Zr/4- Nb/2 de Meschede (1986). Campos: AI-AII:basaltos alcalinos continentais; AII-C: toleitos continentais; B: P-MORB; D: N-MORB; C-D: basaltos de arco vulcanico. Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

No diagrama de Pearce (1982), que separa os ambientes para basaltos, os pontos caem nos campos de MORB ou basaltos de arco vulcânico novamente ( Fig. 14)

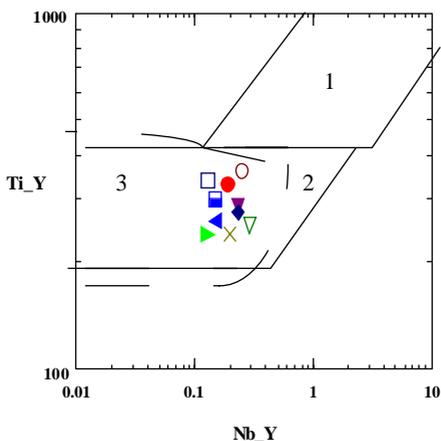


Figura 14 Diagrama binário Ti/y X Nb/Y de Pearce (1982). Campos: 1-basaltos intra-placa; 2- MORB; 3- basaltos de arco vulcanico. Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

Tais resultados têm de ser analisados com cuidado: a maioria dos diagramas foi concebida para rochas vulcânicas, e o fator acumulação de cristais parece ser importante nessas rochas plutônicas. Além disso, algumas anomalias geoquímicas ficam evidentes quando se constroem diagramas multielementares, principalmente para os elementos incompatíveis Ti, Zr, Y e Nb, utilizados nos diagramas.

Normalizando-se os resultados para o condrito, observa-se uma acentuada anomalia negativa de Rb e P, e um enriquecimento em Ba, Sr, e ETRL, com o K e os ETRP em torno de 1. Comparados a valores do manto primitivo as anomalias de P e Rb já não são tão grandes, e elementos como Rb, Nb, Ti e ETRP são em torno de 1 ou negativos. Os valores de Ba e Sr são os maiores, seguidos dos ETRL e (Fig. 15).

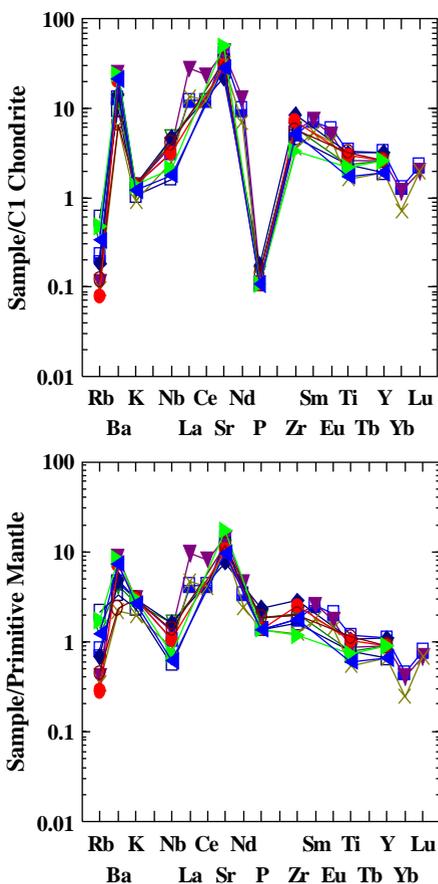


Figura 15 Diagrama multielementar de normalização amostra X C1 condrito e manto primitivo (Sun & McDonough, 1989). Símbolos- (X): A-6.2; **triângulo invertido cheio**:A-10; **triângulo invertido vazio**: A-10a; **triângulo esquerdo azul**:A-8c; **triângulo direito verde**: A-8b; **círculo cheio**:A-8.1; **círculo vazio**:A-8; **losango**:A-2; **quadrado**:A-1; **quadrado meio cheio**: A- 6.1.

Ao se considerar os valores dos basaltos mesoceânicos normais (N-MORB) e enriquecidos (E-MORB), o bário é cerca de 10 vezes o valor de N-MORB e o Sr é um pouco maior. Em relação aos basaltos enriquecidos apenas o Sr é maior que 1, com o Ba e o La em torno de 1, e os outros elementos menores que 1, principalmente Rb, K, Nb, Ti e ETRP (Fig. 16).

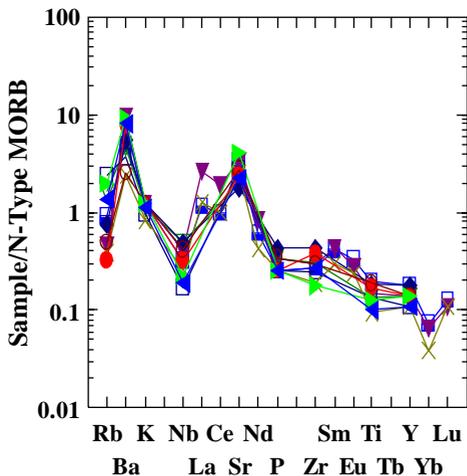
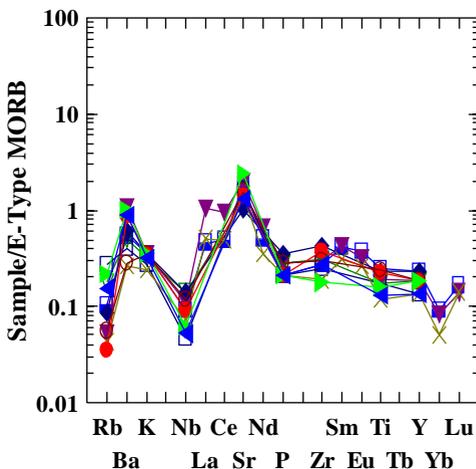


Figura 16 Diagrama multielementar de normalização amostra X N-MORB e E-MORB (Sun & McDonough, 1989). Símbolos- (X): A-6.2; triângulo invertido cheio: A-10; triângulo invertido vazio: A-10a; triângulo esquerdo azul: A-8c; triângulo direito verde: A-8b; círculo cheio: A-8.1; círculo vazio: A-8; losango: A-2; quadrado meio cheio: A-1; quadrado: A- 6.1.



Em relação aos elementos terras-raras pode-se observar um forte fracionamento. Os elementos terras-raras leves (ETRL) são bastante enriquecidos em relação ao condrito, e há um leve aumento do Lu em relação aos outros elementos terras-raras pesadas (ETRP). Apesar do alto conteúdo de plagioclásio nas rochas, não há nenhuma anomalia de Eu. Quando normalizadas em relação a basaltos MORB, observa-se que o fracionamento continua grande para essas rochas, sendo a depleção em ETRP bastante acentuada, pois basaltos MORB são os mais enriquecidos nesses elementos. Este fracionamento vai se abatendo quando normalizados em relação a basaltos enriquecidos (E-MORB), mostrando ainda uma depleção para os ETRP. Finalmente a proporção entre os ETRL e ETRP se aproximam dos valores de OIB, embora depletados nos valores absolutos, como se pode observar no diagrama correspondente (Fig. 17).

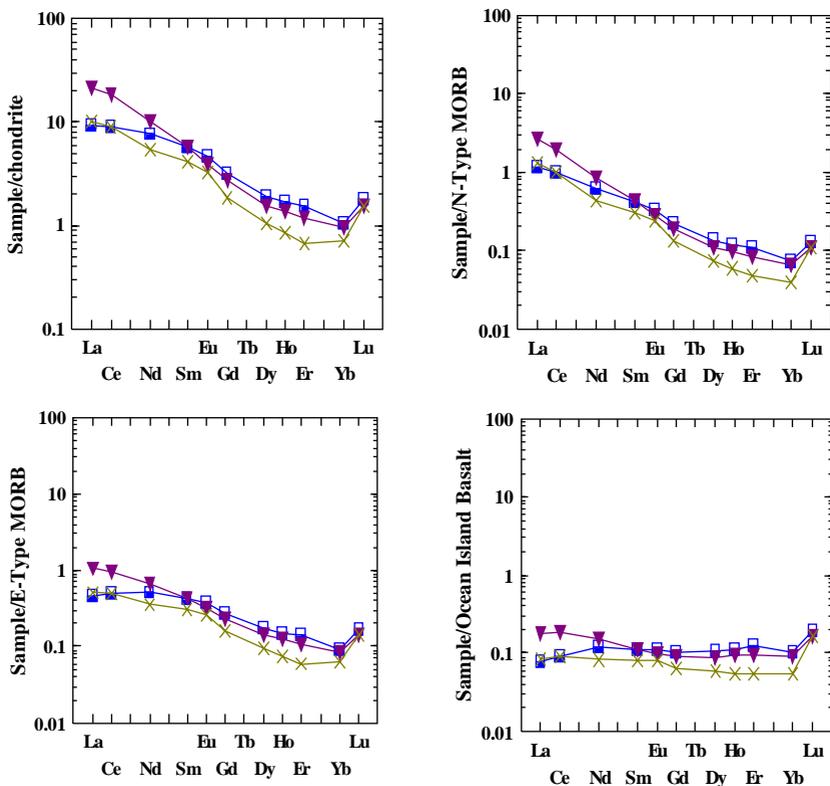


Figura 17 Diagramas de normalização para ETR. (Amostras X condrito (condrito recomendado, Boynton, 1984), basaltos N-MORB, E-MORB e OIB (Sun & McDonough, 1989)). Símbolos- (X): A-6.2; triângulo invertido cheio:A-10; quadrado meio cheio:A-1.

### 3 Conclusões

As informações obtidas no campo, arcabouço indispensável para qualquer trabalho de detalhamento geológico, se restringiram à observação das variações modais e granulométricas bloco a bloco, sem contatos ou gradações visíveis. A uniformidade qualitativa dos minerais neste pequeno corpo não evidencia aspectos de *layering*, mas a variação quantitativa leva a supor algum processo de separação mineral. A possibilidade de estar exposta atualmente somente uma camada relativamente homogênea de uma intrusão gabróica estratificada (*layered intrusion*) é levantada a partir da petrografia e química de minerais (Ludka & Wiedemann, 1997). A geoquímica das rochas mostra variação relacionada com a proporção dos minerais. A variação críptica observada em minerais, que reflete evolução do magma, fica mascarada pela variação modal. Os teores de elementos maiores correspondem a um magma toleítico sub-alcalino, com a classificação química de acordo com a classificação modal, ou seja, um basalto (gabro) picrítico, um olivina toleítico. A maioria dos diagramas que relacionam composição química com ambientes tectônicos não se mostrou adequada para essas rochas: os elementos maiores utilizados variam muito, caso do cálcio, alumínio, ferro e magnésio, fazendo surgir nuvens de pontos que correspondem a vários campos, variação contraditória com as características homogêneas da rocha. Em relação aos elementos menores, diversas anomalias são observadas. Tais anomalias também podem refletir a seleção mineralógica das rochas cumuladas, porém a repetição do fenômeno em rochas de composição diferente em outros corpos gabróicos estudados leva a concluir que o fenômeno é mais abrangente. Essas peculiaridades químicas não permitem adequação aos parâmetros utilizados nos diagramas propostos, mascarando os resultados. O enriquecimento em ETRL, Ba e Sr são anomalias importantes, comuns a outras rochas básicas e ultrabásicas da região.

#### 4 Referências

- Batchelor, R.A. & Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameter. *Chemical Geology*, 48: 43-55.
- Bizzi, L.A.; Smith, C.B.; de Wit, M. J.; Macdonald, I & Armstrong, R. A. 1994. Isotope characteristics of the lithospheric mantle underlying the São Francisco Craton Margin, Brazil. *In: INTERNAT. SYMP. OF THE UPPER MANTLE (ISUM)*, Invited Lectures, São Paulo, 1994, p. 227-255.
- Bizzi, L. A.; Smith, C.B.; de Wit, M. J.; MacDonald, I. & Armstrong, R. A. 1995. Compositional heterogeneity of the lithospheric mantle underlying the SW São Francisco craton margin, Brazil. *An. Acad. Bras. Ci.*, 67 (2): 145-162
- Boynton, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. *In: HENDERSON, P.(ed.) Rare earth element geochemistry*. Elsevier, 1984, p. 63-114.
- Braun, O. P. G. & Cavalcante, J.C. 1980. Geologia das Folhas Cantagalo, Quarteis e Cordeiro - Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro - DRM/UFRJ- Relatório final
- Carlson, R.W. 1994. Isotopic inferences on the chemical structure of the upper mantle. *In: INTERNAT. SYMP. OF THE UPPER MANTLE (ISUM)*, Invited Lectures, 1994, São Paulo, p. 99-116.
- Campos Neto, M.C. & Figueiredo, M.C.H. 1995. The Rio Doce orogeny, southeastern Brazil. *Jour. of Sout. Amer. Earth Sci.*, 8(2): 143-162
- Chaves, A.O. & Correia Neves. 1994. Diques máficos pré-cambrianos da região de Ribeirão das Neves- MG. *In: CONG. BRAS. GEOL.*, 38, SBG, Camboriú, SC. *Boletim de Resumos Expandidos*. v.3, p. 133-136.
- Cox, K. G. 1994. Sources of basaltic magmas. *In: INTERNAT. SYMP. OF THE UPPER MANTLE (ISUM)*, Invited Lectures, 1994, São Paulo, p. 83-98.
- Cox, K. G.; Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. 1979. *The Interpretation of igneous rocks*. George Allen & Unwin, London. 450p.
- Cullers, R. L. & Graf, J.L. 1984. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominantly basic and ultrabasic rocks. *In: HENDERSON, P. (ed.) Rare earth element geochemistry*. Elsevier, 1984, p. 317-342.
- De La Roche, H.; Leterrier, J.; Grandclaude, P. & Marchal, M. 1980.

- A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29: 183-210.
- Demarchi, G.; Comin-Chiaramonti, P.; de Vito, P.; Sinigoi, S. & Castillo, C.A.M. 1988. Lherzolito-Dunite xenoliths from eastern Paraguay: petrological constraints to mantle metassomatism. In: PICCIRILO & MELFI (eds.). The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects. IAG-USP Press, p. 207-227.
- Dutra, C. V. 1984. Método para determinação de traços e sub-traços de Terras Raras em rochas por espectrometria de plasma (ICP) - Aplicação em petrogênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, *Anais*, Rio de Janeiro, SBG.
- Figueiredo, M. C. H. & Campos Neto, M. 1993. Geochemistry of the Rio Doce magmatic arc, southeastern Brazil. *An. Ac. Bras. Cienc.*, 65(1): 63-81
- Geiger, A. 1993. Die Geologie des Steinbruchreviers von Cachoeiro de Itapemirim, (südliches Espírito Santo, Brasilien). *Münchener Geol. Hefte*, 11 .
- Grossi Saad, J. H. G.; Pinto, C. P.; Serpa, J.C.; Dutra, J.E.b.; Hettich, M. & Andrade, N.E. 1980. Folhas Anta, Duas Barras, Teresópolis e Nova Friburgo - Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro - DRM/Geosol.
- Haas, G. J. L. M. De. 1992. *Source, evolution and age of the coronitic gabbros from the Arendal-Neulag area, Bamble, southeast Norway*. PhD thesis, University of Utrecht. 129 p.
- Harker, A. 1909. *The natural history of igneous rocks*. Macmillan Publishing, Co. Inc., N.Y. 384 p.
- Hart, S.R. 1984. A large-scale isotope anomaly in the southern hemisphere mantle. *Nature*, 309: 753-757.
- Hart, C.R. 1870. *Geology and physical geography of Brazil*. Cia. Ed. Nacional, São Paulo.
- Humphris, S.E. 1984. The mobility of the rare earth elements in the crust. In: HENDERSON, P. (ed.) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, p. 317-342.
- Irvine, T. N. 1982. Terminology for layered intrusions. *Jour. Petrol.*, 23(2): 127-162
- Irvine, T.N. & BARAGAR, W. R. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523-548.
- Ludka, I. P. & Wiedemann, C. M. 1997. O gabro coronítico de Amparo, RJ- petrografia, química mineral e geotermometria. *Anuário do Instituto de Geociências*, 20: 143- 162.

- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56: 207-218
- Menzies, M. & Murthy, V.R. 1980. Mantle metassomatism as a precursor to the genesis of alkaline magmas - isotopic evidence. *Am. Jour. Sci.*, V.280-A: 622-638
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274: 321-355.
- Middlemost, E. A. K. 1975. The basalt clan. *Earth Sci. Rev.*, 11: 337-364
- Middlemost, E. A. K. 1985. *Magmas and magmatic rocks*. Longman Group limited, Essex.
- Monteiro, R.L. & Gomes, C.B. 1988. Características petrográficas e químicas de uma intrusão básica localizada no município de Tanquinho, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, PA. *Anais*, SBG. v.3, p. 1311-1325.
- Pearce, J. A. 1975. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus. *Tectonophysics*, 25 : 41-67.
- Pearce, J. A. 1982. Trace Element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: THORPE, R.S. (ed.). *Andesites*. Wiley, Chichester, p. 525-548.
- Pearce, J. A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C. J. & Norry, M.J. (eds.). *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich., p. 230 -249
- Pearce, J.A. & Cann, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analyses. *Earth Planet. Sci. Letters*, 19: 290-300
- Pearce, J. A. & Norry, J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contr. Mineral. Petrol.*, 69: 33-47
- Pearce, T. H.; Gorman, B.E. & Birkett, T.C. 1977. The relationship between major elements chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 36: 121-132
- Peate, D. W.; Hawkesworth, C. J. & Mantovani, M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bull. Volcanol.*, 55: 119-139.
- Projeto Radambrasil. 1983. Folhas SF 23/24. Rio de Janeiro, Vitória. Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral- Rio de Janeiro. 775 p.

- Reynolds Jr., R.C. & Frederickson, A. F. 1962. Corona development in Norwegian hyperites and its bearing on the metamorphic facies concept. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 73: 59-72
- Silva, A. M.; Kuymjian, R. M. & Chemale Jr., F. 1992. Enxame de diques básicos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, *Anais*, 1992, SBG, São Paulo, Brasil, v. 1, p. 505-506.
- Starmer, I. C. 1969. Basic plutonic intrusions of the Risør-Söndeled area, South Norway: The original lithologies and their metamorphism. *Norsk. Geol. Tidsskr.*, 40: 403- 431
- Sun, S.S & McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: MAGMATISM IN THE OCEAN BASINS. Geological Society, Colorado, USA, *Special publication*, 1989 (42): 313-345.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford. 312 p.
- Thompson, R. N. 1984. Dispatches from the basalt front. 1-Experiments. *Proc. Geol. Ass.*, 95: 249-262.
- Topitsch, W.M. 1993. Geoquímica e petrologia dos ultramafitos e mafitos da Serra de Jacobina/Bahia: komatiitos, basaltos de alto Mg e toleítos numa bacia oceânica intracontinental. In: SIMPÓSIO DO CRÁTON DO S.FRANCISCO, 2, *Anais*, 1993, SBG, Salvador, Bahia, p.109-111.
- Vieira, V. S. & Horn, H. 1994. Novos aspectos da geologia, petrografia e litoquímica do Maciço de Lagoa Preta, Minas Gerais, ES, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, SBG, Camboriú, SC, *Boletim de Resumos Expandidos*, v.3, p. 91-93.
- Wager, L. R. & Brown, G. M. 1968. *Layered igneous rocks*. London, Oliver & Boyd Ltd. 588 p.
- Weaver, B.L. 1991. The origin of island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 104: 381-397.
- Wernick, E.; Hormann, P. K. & Ferreira, C. J. 1992. Viscosidade e evolução de magmas granitoides cálcio-alcálicos: uma abordagem através de ETR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, SBG, São Paulo, *Anais*, v1, p.348-349.
- Wiedemann, C.M. 1993. The evolution of the early paleozoic, late- to post-collisional magmatic arc. *Anais Academia Bras. Ciências*, 65(1):163-181.
- Wiedemann, C.M.; Ludka, I. & Mendes, J.C. 1992. Análises por microsonda eletrônica em coronas de metagabro-noritos do Espírito Santo. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, SBG, São Paulo, *Anais*, v1, São Paulo - Brasil. *Boletim Resumo Expandidos*, p. 45-46.
- Wiedemann, C.M.; Mendes, J.C. & Ludka, I.P. 1995. Contamination of mantle magmas by crustal contributions - evidence from the Brasiliano mobile belt in the states of Rio de Janeiro and Espírito Santo, Brazil. *Anais Academia Bras. Ciências*, 67 (2): 279-292.
- Wiedemann, C.M.; Lammerer, B.; Mendes, J.C. & Ludka, I.P. 1995. The evolution of the Brasiliano/Panafrican Mobile Belt along the central part of the Brazilian coast (Espírito Santo). In: CENTENIAL GEOCONGRESS, South Africa. *Extended Abstracts*.
- Wilson, A. D. 1955. A new method for the determination of ferrous iron in rocks and minerals. *Bull. Geol. Survey Great Britain*, 9: 56-58
- Wilson, M. 1989. *Igneous petrogenesis*. Unwin Hyman, London.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A. 1976. Chemical magma type discrimination; application to altered and metamorphosed basic igneous rocks *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28: 459-469.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A.. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.
- Zindler, A. & Hart, S.R. 1986. Chemical geodynamics. *Ann. Rev. Earth and Planet. Sci. Letters*, 14: 493-571.