

GABRO DE MARCOS DA COSTA, MUNICÍPIO DE MIGUEL PEREIRA (RJ): MAGMATISMO TOLEÍTICO A CÁLCIO ALCALINO NA FAIXA RIBEIRA

MARIA BUSTAMANTE JUNHO, JÚLIO CEZAR MENDES & ISABEL PEREIRA LUDKA

ABSTRACT THE GABBRO FROM MARCOS DA COSTA, MIGUEL PEREIRA TOWN (RJ): THOLEIITIC TO CALC-ALKALIC MAGMATISM AT RIBEIRA BELT Geological, petrographic, rock and mineral chemistry data of two gabbroic occurrences, from the mountain region of Rio de Janeiro State, are presented in this article. The larger one corresponds to a gabbroic lense of almost 3 Km² outcropping area. It is surrounded by granitic rocks and intrudes migmatitic gneisses of the Ribeira Belt. Small lenses of melanogabbro are enclosed in metasediments and occur 15 Km west far from the gabbro. The gabbro essentially contains plagioclase An₄₅₋₄₇, Opx (En₃₅₋₄₅), Cpx (diopsidic augite), porphyritic amphibole and biotite. Locally, quartzgabbro is found in the contact zone of gabbro and granitic rocks. The neighbouring granitic rocks are quartzdiorite, granodiorite and leucogranite. The gabbro shows tholeiitic signature and develops trends with the calc-alkalic granitic rocks in variation diagrams. The melanogabbro contains olivine (Fo₆₃) and plagioclase (An₉₇). These minerals react to form coronas of Opx (En₇₀) amphibole and spinel/amphibole symplectites around the olivine. The melanogabbro is interpreted as a cumulate rock enriched in Mg, Ca, Sr and incompatible elements. A cogenetic link and contemporaneous intrusion for the gabbro, quartzgabbro and quartzdiorite is suggested based on contact relationships and geochemical signature. Such intrusion may have been emplaced during or late the high grade regional metamorphism. A geochemical relation between the gabbro and the melanogabbro is not well established. Although they show similar REE patterns.

Keywords: Magmatic Differentiation, Mineral and Rock Chemistry, Ribeira Belt.

RESUMO Neste trabalho são apresentados dados geológicos, petrográficos, litogeoquímicos e de química mineral de duas ocorrências gabróicas, da região serrana do Estado do Rio de Janeiro. A maior delas corresponde a uma lente de gabbro, com cerca de 3 Km² aflorantes, envolvida por granitóides, intrusiva em gnaisses migmatíticos da Faixa Ribeira. Lentes menores de melanogabbro ocorrem encaixadas em metassedimentos cerca de 15 km a oeste do gabbro. O gabbro é composto basicamente por An₄₅₋₄₇, Opx (En₃₅₋₄₅), Cpx (augita diopsídica), anfibólio porfírico e biotita. Os granitóides envolventes são quartzodiorito, granodiorito e leucogranito. Localmente, no contato destes com o gabbro é encontrado quartzogabbro. O gabbro apresenta assinatura toleítica e nos diagramas de variação forma tendências com os granitóides cálcio-alcálicos. O melanogabbro é formado por olivina (Fo₆₃) e plagioclásio (An₉₇), que reagem formando coronas de Opx (En₇₀), anfibólio e simplectitos de anfibólio e espinélio. É provavelmente uma rocha cumulática, rica em Mg, Ca, Sr e elementos incompatíveis. As relações de contato e a assinatura geoquímica semelhante do gabbro, quartzogabbro e quartzodiorito sugerem cogeneticidade e contemporaneidade de intrusão, tardiamente ou durante o metamorfismo de alto grau, gerador dos migmatitos encaixantes. Uma provável relação de cogeneticidade entre o melanogabbro e o gabbro não ficou claramente demonstrada na maioria dos diagramas estudados. Entretanto, o comportamento dos ETR indica a possibilidade de que eles estejam geoquimicamente relacionados.

Palavras-chave: Diferenciação Magmática, Química Mineral e de Rocha, Faixa Ribeira

INTRODUÇÃO E GEOLOGIA REGIONAL Neste trabalho são apresentados dados geológicos, petrográficos, litogeoquímicos e de química mineral de duas ocorrências gabróicas. A maior delas corresponde a uma lente de gabbro, aflorando em cerca de 3 Km², envolvida por granitóides e gnaisses migmatíticos, localizada no distrito de Marcos da Costa, município de Miguel Pereira, carta topográfica IBGE (1:50.000) Miguel Pereira (Fig. 1). A outra ocorrência corresponde a lentes métricas a centimétricas de melanogabbro, encaixadas em metassedimentos, aflorantes em cortes da rodovia RJ-125 (Japeri - Miguel Pereira), no limite entre as cartas topográficas IBGE (1:50.000) Vassouras e Paracambi.

Os terrenos encaixantes dos gabros e granitóides aqui enfocados estão contidos na Faixa Ribeira e são constituídos por dois grupos principais de rochas: (a) biotita gnaiss bandado metatexitico e K-feldspato gnaiss diatexitico, contendo lentes concordantes de granitóides e gabbro; e (b) metassedimentos: sillimanita - biotita - feldspato xisto/ gnaiss, sillimanita - muscovita quartzito/xisto e gnaisses calciosilicáticos com lentes de melanogabbro.

No Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (escala 1:400.000), de Reis e Mansur (1995), estes dois grupos de rochas são descritos como unidade migmatítica Rio Negro e unidade metasedimentar Santo Eduardo, respectivamente. No Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro de Fonseca (1998) são designados como Complexo Rio Negro e Complexo Paraíba do Sul.

Segundo Almeida et al. (1998) o contato entre os metassedimentos e ortognaisses acima referidos corresponde ao limite entre dois terrenos da Faixa Ribeira, de evolução tectono-magmática distinta (*Limite Tectônico Central*): o terreno ocidental constituído por metassedimentos e o oriental por ortognaisses do Complexo Rio Negro. Os autores descrevem esta unidade como sendo formada por ortognaisses tonalíticos associados a dioritos finos, intrudidos por granitos e leucogranitos. Mencionam ainda a ocorrência de lentes métricas de gabros e outras rochas máficas nas vizinhanças deste contato regional. Dados recentes de Tupinambá et al. (1998) e Tupinambá (1999) caracterizaram a Unidade Rio Negro como um arco magmático brasileiro a partir de datações em gnaiss tonalítico (634 ± 16 Ma, U-Pb em zircões).

Ludka et al. (1997), Conceição et al. (1997) e Fonseca (1998), também apresentam dados de outros corpos gabróicos semelhantes aos aqui estudados na região central do Estado do Rio de Janeiro.

MELANOGABRO O melanogabbro é encontrado em lentes métricas a submétricas, concordantes com os metassedimentos que afloram a sudoeste de Miguel Pereira e se estendem até Marcos da Costa. As bordas destas lentes e as lentes menores são compostas de anfibólito de grão grosso.

Ao microscópio o melanogabbro apresenta textura granular hipidiomórfica, com índice de cor em torno de 85%, composto de plagioclásio (15%), olivina (5%), ortopiroxênio (20%), clinopiroxênio (10%) e anfibólio (50%). Apresenta duas paragéneses: olivina - plagioclásio - clinopiroxênio - ortopiroxênio primários e a mais nova anfibólio - ortopiroxênio - espinélio, de segunda geração. O plagioclásio perfaz cerca de 15% da rocha, é anortítico e muito rico em inclusões de anfibólio. Olivina forsterítica é frequentemente manteeda por camadas concêntricas de ortopiroxênio, anfibólio e simplectitos de anfibólio e espinélio, caracterizando coronas de reação olivina - plagioclásio de 2 a 8 mm. São observados dois tipos de anfibólio, ambos *subsolidus*: um deles possui pleocroismo variando de verde claro a verde escuro, estando associado às coronas de reação e outro mostra cores que variam de verde a marrom, substituindo piroxênios na matriz. O ortopiroxênio primário mostra-se muito substituído por anfibólio, biotita e lamelas de minerais opacos enquanto que aquele gerado pela reação de formação das coronas (ortopiroxênio *subsolidus*) é límpido. O clinopiroxênio também apresenta abundância de lamelas de óxidos e de anfibólio, evidenciando sua passagem para este último. A passagem do clinopiroxênio para anfibólio é progressivamente mais abundante para as bordas das lentes, de modo que a rocha é finalmente transformada em anfibólito com plagioclásio saussuritizado.

Texturas coroníticas semelhantes às aqui observadas foram descritas por Ludka (1991) e Wiedemann et al. (1992) em gabros e leucogabros noríticos do maciço de Jacutinga, sul do Espírito Santo, e em Amparo, região serrana do Rio de Janeiro. Na literatura tais coronas são interpretadas como decorrentes da reação entre olivina e plagioclásio, gerando camadas sucessivas de ortopiroxênio, anfibólio e anfibólio - espinélio em torno da olivina. Sua formação se dá em estado *subsolidus* na cristalização de um magma toleítico, sob condições de metamorfismo regional de alto grau (Grieve & Gittins, 1974; Lamoen, 1979). A instabilidade destas duas fases (olivina e plagioclásio) pode igualmente derivar do acesso de água no sistema e/ou da diminuição das condições reinantes de pressão e temperatura quando da cristalização do magma.

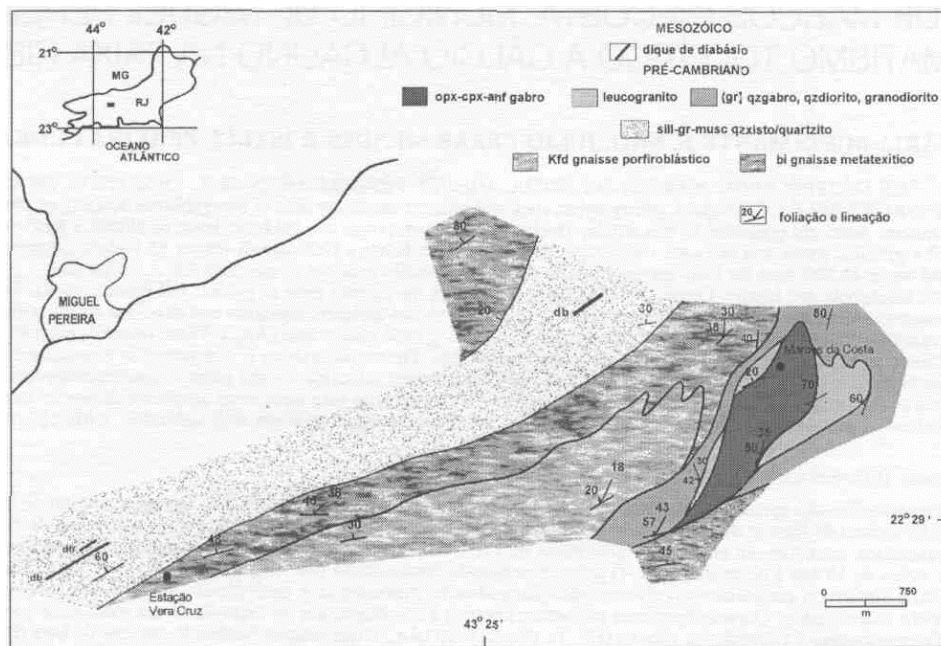


Figura 1 - Mapa geológico e de localização da área.

GABRO E GRANITÓIDES ASSOCIADOS Cerca de 15 Km a leste do melanogabro, nos arredores da localidade de Marcos da Costa, é encontrada uma grande lente concordante formada por gabro, com cerca de 3,5 Km de comprimento e 0,8 Km de espessura máxima, parcialmente envolvida por quartzogabro, quartzodiorito, granodiorito e leucogranito (Fig. 1). A lente de gabro com suas auréolas granitóides e outras lentes menores de quartzodiorito e granodiorito estão imersas em biotita gnaiss metatexitico e K-feldspato gnaiss diatexitico. Estes gnaisses apresentam contatos gradativos ao longo do *strike* regional e estão sotopostos a sillimanita - granada - muscovita quartzoxistos/quartzitos (Fig. 1). Todas as rochas deformadas mergulham para NW. Lineações para norte são observadas nos quartzitos/quartzoxistos e nos gnaisses migmatíticos.

O gabro compõe-se de andesina cálcica (62% em volume), ortopiroxênio (13%), clinopiroxênio (10%), anfibólio pleocróico de verde escuro a marrom claro (9%) e minerais opacos (6%). Biotita avermelhada, em algumas amostras, varia de 2 a 12%. Apesar do plagioclásio não possuir teor de anortita superior a 50% (Tab. 8), este litotipo será aqui designado como gabro por apresentar grandes quantidades de piroxênios (até 20% de Opx e 20% de Cpx). O anfibólio e a biotita ocorrem frequentemente em megacristais tardios poiquilíticos.

Embora ocorra como uma lente concordante à foliação principal regional, o gabro é estruturalmente isotrópico. Apresenta textura magmática subofítica e por vezes orientação de fluxo. Faz contatos bruscos com um leucogranito de granulação fina, localmente muito deformado. Em alguns destes contatos se observam passagens gradacionais de gabro para quartzogabro e quartzodiorito, este último, por vezes, apresentando textura protomilonítica. No interior da lente, na sua porção norte, ocorrem intercalações métricas do gabro com leucogranito e sillimanita - granada leucognaiss fino, ambos milonitizados, correspondendo possivelmente a *roof pendants*. O fato do gabro não apresentar deformações e ter forma lenticular concordante com os ortognaisses encaixantes sugere um intrusivismo sin a tarditectônico em relação à principal fase de deformação na área.

Quartzogabro, quartzodiorito, granodiorito e leucogranito envolvem parcialmente o corpo gabróico. O quartzogabro é bastante restrito e só ocorre em faixas decimétricas, no contato imediato do quartzodiorito com o gabro, tratando-se provavelmente de uma fácies híbrida de contato. O quartzodiorito é também encontrado como lentes isoladas ou formando enxames de enclaves nos gnaisses migmatíticos e no granodiorito. É equigranular, localmente deformado e composto por oligoclásio, quartzo, anfibólio, biotita e, subordinadamente, apatita, zircão e ilmenita. Granada almandina pode ser encontrada, associada a fraturas e dispersa na rocha. O quartzogabro apresenta orto e clinopiroxênio, anfibólio e raramente biotita. Granada é pouco frequente mas pode ocorrer. Composições

intermediárias entre quartzodiorito e quartzogabro também ocorrem. Fácies afaníticas (microgabro, microquartzogabro e micromelanogabro) foram encontradas nas bordas do corpo gabróico. Apresentam texturas magmáticas porfiríticas, com fenocristais de plagioclásio zonados, ortopiroxênio, clinopiroxênio e anfibólio, por vezes com bordas corroídas.

GEOQUÍMICA DE ROCHAS

Vinte e três amostras de melanogabro, gabro, quartzogabro, quartzodiorito e granodiorito (Tabelas 1, 2, e 3) foram analisadas para elementos maiores, traços e terras raras. As determinações foram feitas nos laboratórios do *Dipartimento di Scienza della Terra, Università degli Studi di Modena, Italia* e da GEOSOL, Belo Horizonte, MG.

Com relação à caracterização química do magmatismo, os melanogabros, gabros e a maioria dos quartzogabros e quartzodioritos correspondem a rochas metaluminosas (Fig. 2). Os melanogabros, os gabros e parte dos quartzogabros e quartzodioritos caem no campo toleítico do diagrama AFM (Fig. 3). Os restantes quartzogabros, quartzodioritos e o granodiorito tem posicionamento compatível com rochas de quimismo Ca-alcálico.

Os teores moderados a elevados de álcalis dos melanogabros e gabros fazem com que algumas amostras posicionem-se no campo alcalino no diagrama SiO_2 x $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Fig. 4). Os quartzogabros apresentam caráter subalcalino. No diagrama SiO_2 x K_2O (Fig. 5) as amostras caem preferencialmente nos campos de médio a alto K. Os teores altos de K se devem, provavelmente, à natureza do magma básico e à interação deste com os magmas granitóides. Os melanogabros possuem teores de SiO_2 entre 42 e 47,5%, compatíveis com rochas básicas a ultrabásicas. Quando comparados aos gabros noritos do corpo intrusivo de Jacutinga, sul do Estado do Espírito Santo (Ludka et al., 1997), mostram-se enriquecidos em K_2O , MgO e Ba e empobrecidos em Fe total, Al_2O_3 , TiO_2 e Sr.

Os conteúdos de sílica dos gabros variam de 43,8% a 55,6%. Entre os elementos compatíveis, Mg, Ca e Sr são empobrecidos em relação aos melanogabros, ao contrário do Ti. Os teores de elementos incompatíveis variam consideravelmente, mas de maneira geral, são mais elevados nos gabros. Essas características estão ilustradas nos diagramas de variação (Figs. 6 e 7), onde tanto o SiO_2 quanto o MgO são utilizados como índices de diferenciação (ID). Em função da variação composicional das rochas, o uso de mais de um ID possibilita maior clareza visual das relações interelementares, além de permitir uma discussão preliminar dos possíveis mecanismos responsáveis pela geração da sequência estudada.

Uma possível natureza cumulática para os melanogabros pode ser aventada a partir do comportamento destas rochas nos diagramas SiO_2 x TiO_2 , MgO e Fe_2O_3 e MgO x K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 e Rb (Figs. 6 e 7).

Tabela 1 - Composição química de melanogabro (mgb) e gabro (gb) da região de Miguel Pereira.

	MP12-1	MP12-2	MP12A	MP12A1	MP33-1	MP22A	MP22-4	MP32-4	MP22-1	MP17-1	MP30-1	MP22-6	MP28A1
	mgb	mgb *	mgb *	mgb *	mgb	gb	gb	gb	gb	gb *	gb *	gb *	gb *
SiO ₂	41,94	42,4	47	47,3	47,45	43,8	43,83	44,84	46,02	46,8	48,9	52,2	55,6
TiO ₂	1,1	1,4	0,54	0,5	1,35	4,27	4,36	3,98	3,54	4,2	3,6	2,7	1,9
Al ₂ O ₃	19,73	15,6	12,2	11,9	16,35	15,93	14,89	15,44	16,22	14	14,6	13,7	15,9
Fe ₂ O ₃	13,65	15,5	10,97	11,16	10,52	15,24	15,65	15,43	14,14	16,48	15,29	14,16	10,81
MnO	0,13	0,13	0,18	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,16	0,28	0,21	0,27	0,18
MgO	8,14	9,7	14,9	14,6	9,12	6,47	6,7	5,11	5,28	5,3	5	3,8	2,8
CaO	10,05	11,5	11,9	11,6	9,95	9,22	9,63	9,52	8,74	9,1	8,2	7,3	6,3
Na ₂ O	1,01	1,2	0,99	0,92	3,09	3,07	2,74	2,86	3,3	2,6	2,7	2,7	3,5
K ₂ O	2,28	1,2	0,29	0,38	1,05	0,5	0,43	0,7	0,72	0,59	1,1	1,7	2,4
P ₂ O ₅	0,01	0,05	0,05	0,05	0,09	0,28	10,26	0,69	0,74	0,76	0,34	1,4	0,42
LOI	1,97	1,32	0,86	1,28	0,88	1,05	1,34	1,25	1,14	0,01	0,55	0,01	0,32
Total	100,01	100	99,88	99,85	100,01	99,99	100	100	100	100,12	100,64	99,94	100,13
XMg	0,53	0,54	0,72	0,71	0,62	0,45	0,46	0,39	0,42	0,38	0,37	0,34	0,33
Rb	116	45	15	20	34	3	--	18	15	16	41	48	51
Ba	60	200	161	167	16	26	23	32	30	218	248	507	876
Sr	684	362	546	576	352	374	348	396	399	254	268	265	283
Zr	35	46	60	66	138	92	86	117	97	85	63	128	212
Y	9	3	5	7	25	16	16	25	23	18	12	40	30

* = análises feitas na Geosol, as demais feitas na Universidade de Modena, Itália.

Tabela 2 - Composição química de quartzogabro (qzgb), quartzodiorito (qzd) e granodiorito (gd) da região de Miguel Pereira.

	MP20-3	MP45	MP17A	MP21-2	MP20-2	MP14-4	MP15-8	MP21-4	MP26-1	MP15-6
	qzgb *	qzgb *	qzgb *	qzgb *	qzd	qzd *	qzd *	qzd	qzd *	gd *
SiO ₂	56,4	57,7	59	59,2	56,5	59,4	60,6	62,9	70,1	70,3
TiO ₂	1,2	1,2	1,7	1	1,44	1,1	1,2	0,97	0,51	0,39
Al ₂ O ₃	18,1	17,6	14,2	17,4	16,91	15,3	16	16,5	13,7	15,3
Fe ₂ O ₃	8,41	8,29	11,67	8,24	8,81	11,49	10,14	6,52	4,99	3
MnO	0,19	0,14	0,22	0,22	0,14	0,29	0,28	0,12	0,12	0,09
MgO	3,4	3,3	1,8	2,8	3,65	1	1,2	2,2	0,61	0,88
CaO	7,1	6,3	5,1	6,1	6,17	3,9	3,6	5	2,2	3
Na ₂ O	3	2,8	2,9	3,4	3,48	2,6	2,9	2,5	2,5	3
K ₂ O	1,8	2,1	2,6	1,2	2,02	4,2	3,5	2,5	4,5	3,4
P ₂ O ₅	0,2	0,19	0,68	0,26	0,52	0,32	0,41	0,21	0,19	0,12
LOI	0,02	0,23	0,1	0,12	0,36	0,09	0,04	0,27	0,32	0,2
Total	99,82	99,85	99,97	99,94	100	99,69	99,87	99,69	99,84	99,68
XMg	0,44	0,43	0,23	0,39	0,44	0,14	0,18	0,39	0,19	0,36
Rb	65	89	85	41	96	77	130	66	156	123
Ba	640	665	525	383	65	1245	523	1457	1520	1051
Sr	483	481	255	380	520	234	233	434	338	197
Zr	167	219	74	200	279	460	135	319	322	490
Y	24	28	35	18	31	26	7	17	53	113

* = análises feitas na Geosol, as demais feitas na Universidade de Modena, Itália.

Tabela 3 - Elementos terras raras das rochas da região de Miguel Pereira.

	MP12-2	MP12A	MP12A1	MP17-1	MP30-1	MP22-6	MP28A1	MP20-3	MP45	MP17A	MP21-2	MP15-8	MP21-4	MP26-1	MP15-6
	mgb *	mgb *	mgb *	gb*	gb*	gb*	gb*	qzgb*	qzgb*	qzgb *	qzgb*	qzd*	qzd *	qzd*	gd*
La	6,98	10,13	6,93	21,14	15,19	44,25	29,83	24,57	40,28	31,52	28,55	37,85	63,98	83,98	29,36
Ce	18,7	26,9	18,62	53,6	35,07	112,6	79	69,49	83,08	87,09	67,09	94,25	141,7	193,7	76,45
Nd	11,64	16,29	10,9	28,31	18,04	61,53	40,34	36,34	44,96	53,44	39,26	57,04	66,69	91,11	35,36
Sm	2,04	3,42	2,46	5,79	3,39	11,24	7,6	5,43	7,81	8,12	5,66	8,73	7,68	13,83	4,7
Eu	0,6	0,9	0,7	1,88	1,11	2,78	2,05	1,49	1,52	2,17	1,63	1,81	1,71	1,96	0,97
Gd	1,77	3,27	1,81	5,95	2,35	11,07	5,16	5,17	5,05	7,96	5,13	8,55	5,74	7,92	3,86
Dy	1,25	2,64	1,57	5,39	2,08	8,92	4,77	4,71	4,45	7,08	4,81	7,09	4,05	7,37	2,53
Ho	0,24	0,5	0,3	1,08	0,38	1,7	0,9	0,92	0,83	1,38	0,94	1,37	0,78	1,39	0,45
Er	0,58	1,17	0,77	2,88	0,87	4,17	2,17	2,33	1,94	3,53	2,41	3,48	2,01	3,35	0,92
Yb	0,34	0,82	0,5	2,09	0,66	3,03	1,59	1,74	1,37	2,76	1,89	2,74	1,5	2,26	0,6
Lu	0,05	0,12	0,07	0,26	0,09	0,37	0,19	0,21	0,17	0,36	0,24	0,38	0,19	0,26	0,13
Eu/Eu*	0,94	0,81	0,97	0,97	1,14	0,75	0,95	1,66	0,69	0,82	0,91	0,63	0,75	0,52	0,68
La/Yb	13,82	8,34	9,35	6,82	15,51	9,84	13,16	9,51	19,81	7,7	10,18	9,31	28,76	25,05	33

* = análises feitas na Geosol

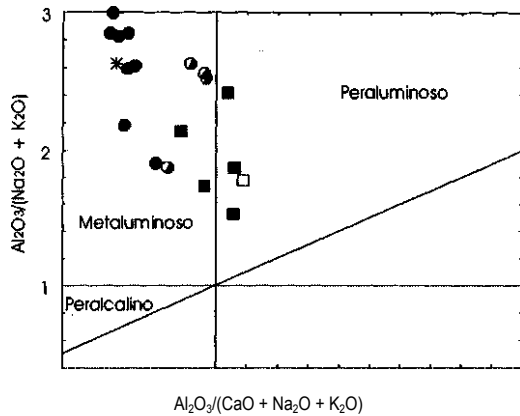


Figura 2 - Diagrama $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$ x $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$ (Manniar & Piccoli, 1989) para as rochas de Miguel Pereira. Símbolos: asterisco - melanogabro, círculo cheio - gabro, círculo meio cheio - quartzogabro, quadrado cheio - quartzodiorito, quadrado vazio - granodiorito.

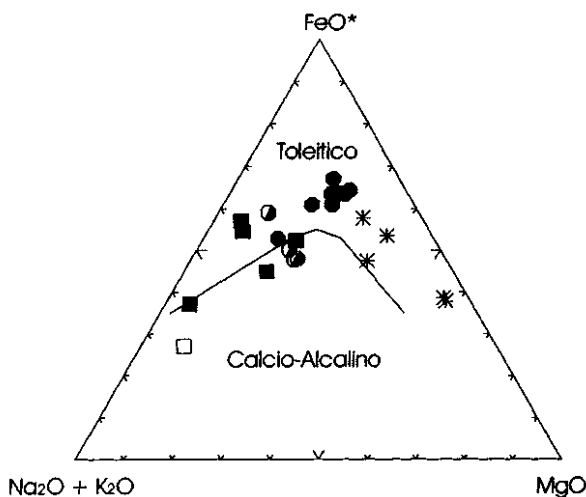


Figura 3 - Diagramas AFM (Irvine & Baragar, 1971) para as rochas de Miguel Pereira. Símbolos da Figura 2.

Neles as amostras posicionam-se isoladamente, não se alinhando com as rochas mais evoluídas. Os seus elevados teores de MgO e CaO, assim como o teor de anortita de seus plagioclásios (An_{97}) (Tab. 8) reforçam tal hipótese.

Os gabros e quartzogabros originam *trenas* com uma inflexão em torno de 55% SiO_2 e 3,5-4% de MgO nos seguintes diagramas: SiO_2 x K_2O , CaO , TiO_2 , Rb e Zr e MgO x CaO , Fe_2O_3 , K_2O e Zr . Por outro lado, nos gráficos SiO_2 x MgO e Fe_2O_3 e MgO x TiO_2 , e Rb eles mostram tendências retilíneas (Figs. 6 e 7). Cox et al. (1979) consideram que *trenas* retilíneas devem refletir processos de mistura magmática ou cristalização fracionada na qual as fases extraídas foram as mesmas durante a evolução da sequência. Quando há inflexões, a quebra da tendência reflete mudança ou extração de nova fase mineral. Com relação às rochas aqui estudadas, parece mais provável que ambos os processos tenham sido atuantes, em função do comportamento químico já discutido e do contexto geológico, onde se observa relação entre gabros, quartzogabros quartzodioritos e leucogranitos (Fig.1). O fracionamento diferenciado de fases minerais, tais como plagioclásio, ilmenita, piroxênios e talvez anfibólio, pode responder por alguns dos *trends* observados.

Na figura 8 encontram-se os padrões de abundância normalizados para condrito dos elementos terras raras das rochas estudadas. A título de comparação e melhor visualização, os gabros aparecem representados em conjunto com os melanogabros e com os quartzogabros/quartzodioritos. As curvas obtidas são semelhantes, sendo os conteúdos totais dos melanogabros mais baixos. Os padrões evidenciam um enriquecimento em ETRL e um fracionamento moderado para a maioria das amostras (Figura 8 e Tabela 3). Apenas uma amostra do melanogabro possui ligeira anomalia negativa de Eu. Para os gabros e

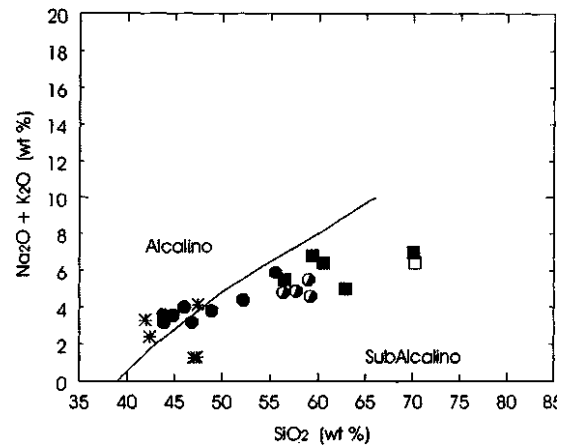


Figura 4 - Diagrama SiO_2 x $Na_2O + K_2O$ (Irvine & Baragar, 1971) para as rochas de Miguel Pereira. Símbolos da Figura 2.

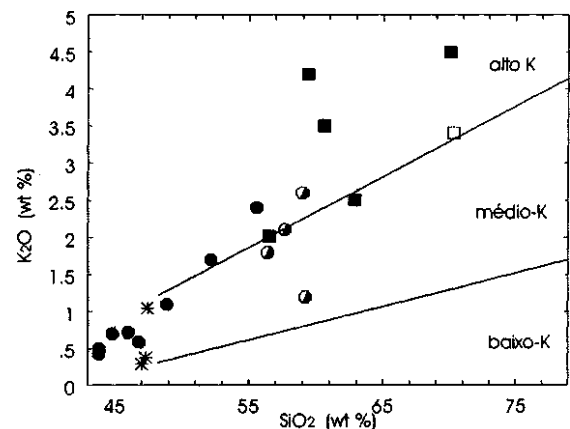


Figura 5 - Diagrama SiO_2 x K_2O (Le Maitre, 1989) para as rochas de Miguel Pereira. Símbolos da Figura 2.

Tabela 4 - Composição química dos ortopiroxênios e clinopiroxênios de melanogabro e gabro da região de Miguel Pereira.

	M12A-4	M12A-5	M12A-6	M22-1-4	M22-1-5	M22-5	M32-4-4	M32-4-5
	mgb	mgb	mgb	gb	gb	gb	gb	gb
SiO_2	53,24	52,02	53,07	51,34	51,04	51,39	51,38	51,76
TiO_2	0,27	0,23	0,12	0,14	0,47	0,7	0,25	0,13
Al_2O_3	1,85	1,98	0,85	1,36	1,25	0,89	1,28	1,24
FeO	7,08	5,88	5,55	12,94	13,06	15,84	12,68	12,53
Cr_2O_3	0,14	0,8	0,12	0,1	0	0,02	0,03	0
MnO	0,18	0,14	0,21	0,4	0,35	0,46	0,31	0,33
MgO	15,9	14,76	16,01	11,35	11,47	9,9	11,68	11,65
CaO	21,14	23,02	22,67	20,66	20,68	20,25	20,84	20,76
Na_2O	0,42	0,29	0,07	0,37	0,37	0,39	0,38	0,38
ToTal	100,22	99,12	98,67	98,57	98,69	99,21	98,83	98,78
Mg#	45,74	43,08	45,12	33,83	34,22	29,56	34,76	34,48

	M12A-1	M12A-2	M12A-3	M22-1-1	M22-1-2	M22-1-3	M32-4-1	M32-4-2
	mgb	mgb	mgb	gb	gb	gb	gb	gb
SiO_2	53,8	52,97	53,35	49,94	50,06	49,31	50,49	49,44
TiO_2	0,13	0,04	0,09	0,05	0,04	0,24	0,6	0,14
Al_2O_3	2,29	1,68	1,97	2	0,78	0,7	0,91	0,69
FeO	18,31	18,34	19,79	30,8	31,34	31,4	31,36	30,58
Cr_2O_3	0,08	0,12	0	0,02	0	0	0,02	0
MnO	0,33	0,43	0,43	0,84	0,87	0,87	0,81	0,71
MgO	25,03	24,85	24,49	14,11	15,54	15,28	15,52	15,4
CaO	0,75	0,61	0,3	1	0,81	1,2	0,56	1,15
Na_2O	0,06	0,04	0,01	0,41	0,01	0,02	0,03	0,02
Total	100,78	99,08	100,46	99,17	99,45	99,02	99,76	98,13
Mg#	69,52	70,09	68,39	43,47	46,28	46,1	45,89	46,41

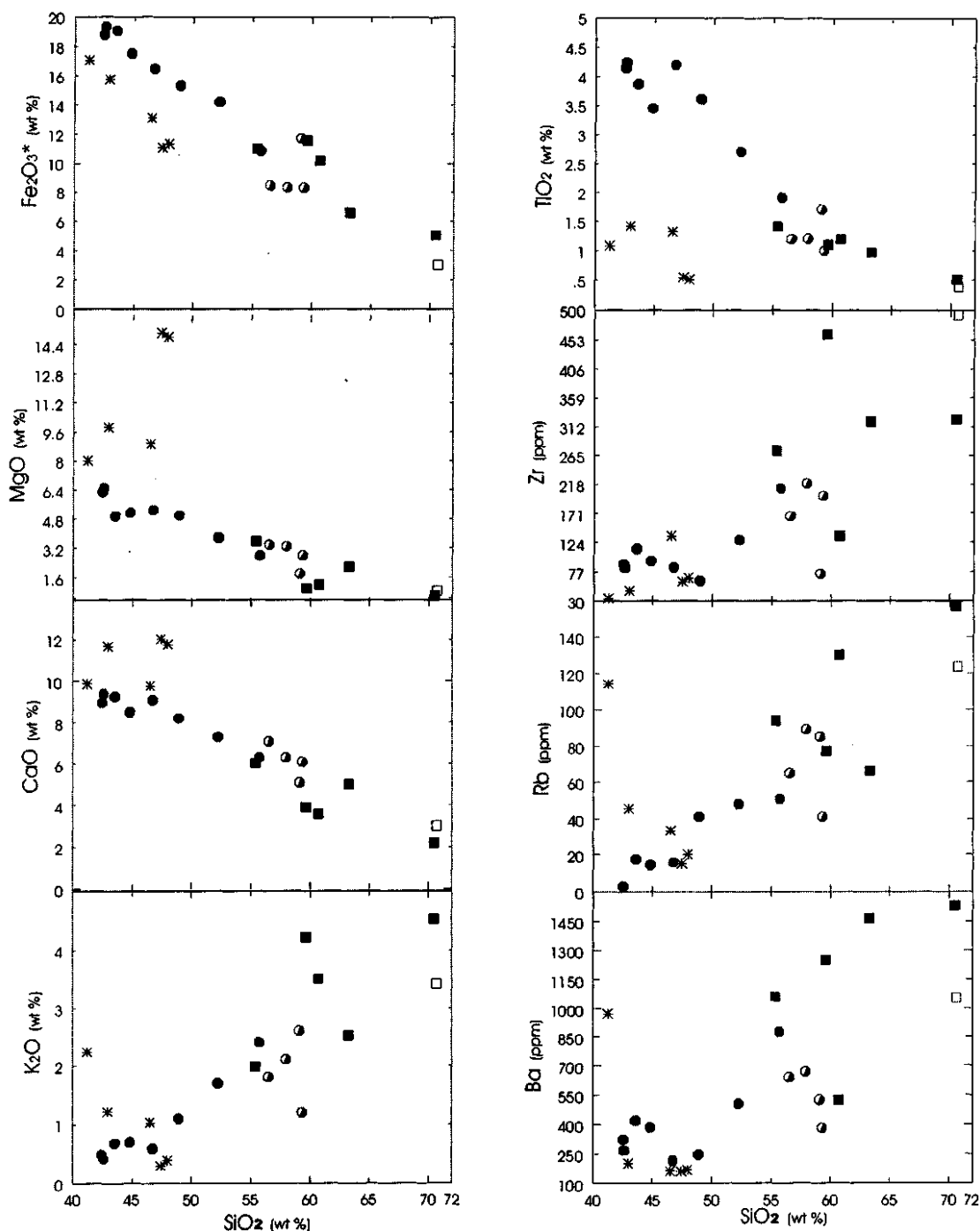


Figura 6 - Diagramas de variação (ID=SiO₂) para os litotipos de Miguel Pereira. Símbolos da Figura 2.

quartzogabros as anomalias negativas são progressivamente mais acentuadas em direção aos termos mais ácidos. As anomalias positivas encontradas (amostras MP20-3 e MP30-1) podem refletir acumulação de feldspatos.

Nos diagramas de elementos incompatíveis da figura 9 observa-se enriquecimento de Sr nos melanogabros e empobrecimento nos gabros e quartzogabros, o que pode ser devido ao alto conteúdo de Ca dos plagioclásios dos primeiros. Os demais elementos são menos abundantes nos melanogabros. Comparando-se os gabros com os quartzogabros e quartzodioritos observa-se padrões semelhantes, diferenciando somente nas anomalias de Ti, o que vem a confirmar a afinidade geoquímica da sequência.

Apesar dos teores diferentes de alguns elementos nos gabros e melanogabros (notadamente K, Sr, Ba, Ti e Y), visualizados nos diagramas de elementos incompatíveis, a similaridade dos padrões de ETR apresentados por eles pode sugerir uma relação de cogeneticidade. Por sua vez, o comportamento dos quartzogabros e quartzodioritos indica uma evolução associada ao gabro de Marcos da Costa.

QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOMETERIA As análises minerais foram efetuadas no Laboratório de Micro-sonda da Universidade de Modena, Itália. O equipamento usado foi uma ARL-SEMQ e as condições de operação foram: potencial de aceleração de 15Kv, corrente da amostra 30 nA e tempo de contagem variando de 5 a 15 segundos. As fases analisadas foram: ortopiroxênio, clinopiroxênio, anfíbólio, olivina e plagioclásio dos melanogabros e gabros e granada dos quartzodioritos (Tabs. 4 a 8).

No melanogabro a olivina apresenta composição média $\text{Fo}_{63}\text{Fa}_{36.5}\text{Te}_{0.5}$ (Hyalosiderita) (Tab. 6) e o plagioclásio tem composições muito cálcicas, em torno de $\text{An}_{97}\text{Ab}_3$ (Tab. 8). Estes teores sugerem um caráter cumulático para estas rochas. O ortopiroxênio apresenta composição em torno de $\text{En}_{70}\text{Fs}_{30}$ (enstatita) e o clinopiroxênio posiciona-se no limite dos campos da augita e diopsídio (Fig. 10).

Quanto ao teor de TiO_2 , o anfíbólio do melanogabro forma dois tipos ligeiramente diversos: mais baixo (em torno de 0,3%) nos anfíbolios interescudados com espínélio das coronas, de cor verde, e mais alto (em torno de 1%), nos anfíbolios melhor desenvolvidos da

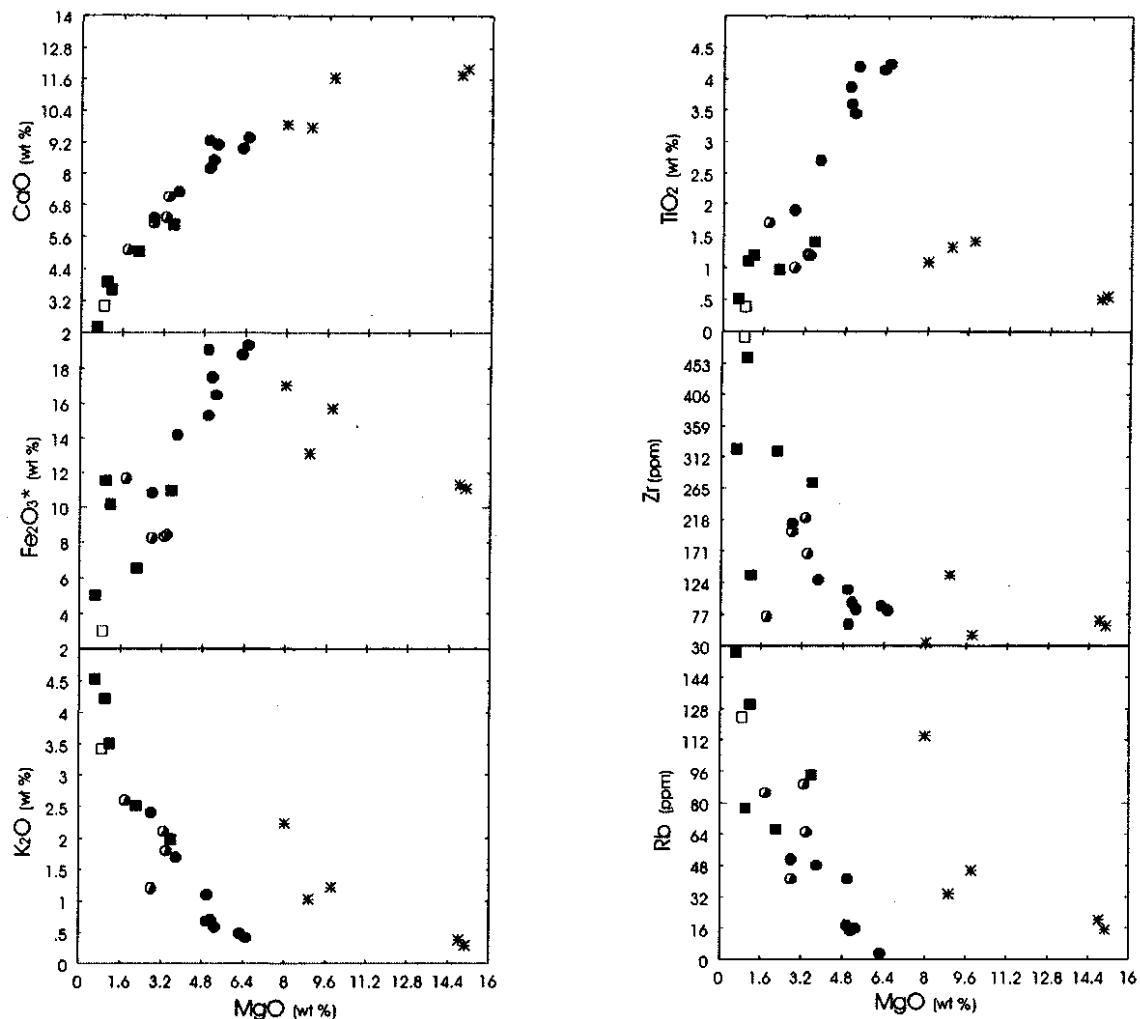


Figura 7 - Diagramas de variação (ID=MgO) para os litotipos de Miguel Pereira. Símbolos da Figura 2.

Tabela 5 - Composição química de anfibólios de melanogabro e gabro da região de Miguel Pereira.

	M12A7	M12A8	M12A9	M12A10	MP12A11	M12A12	M32-4-6	M32-4-7	M32-4-8	M32-4-9	M22-5-1	M22-5-2	M22-5-3	M22-5-4	M22-5-5
	mgb	mgb	mgb	mgb	mgb	mgb	gb	gb	gb	gb	gb	gb	gb	gb	gb
SiO ₂	41,24	43,55	42,09	41,7	43,1	45,18	43,32	44,31	44,17	44,73	43,01	43,11	43,37	43,63	43,14
TiO ₂	0,63	1,33	0,5	1,09	0,67	0,73	1,8	1,69	1,65	1,77	1,92	1,95	1,73	1,8	1,94
Al ₂ O ₃	14,45	11,17	12,8	14,12	13,63	10,84	10,89	10,43	9,67	10,71	9,87	9,6	9,12	8,89	9,27
FeO	10,39	10	9,53	9,84	9,53	9,03	18,04	17,96	17,65	18,23	21,53	21,35	21,21	20,96	21,49
MnO	0,17	0,19	0,16	0,17	1,03	0,11	0,14	0,19	0,17	0,26	0,39	0,3	0,13	0,4	0,27
MgO	12,89	12,71	12,3	13,09	14,11	15,45	9,74	10,3	10,54	10,3	7,84	8,02	8,04	8,09	7,97
CaO	11,04	10,94	10,62	11,19	11,69	10,7	10,63	11,63	10,6	11,17	9,87	9,85	9,85	8,8	9,22
Na ₂ O	2,09	1,66	1,69	1,96	1,98	1,7	1,34	1,26	1,32	1,28	1,58	1,59	1,66	1,52	1,64
K ₂ O	0,62	0,52	0,65	0,55	0,32	0,32	1,29	1,15	1,03	1,21	1,18	1,13	1,09	1,07	1,13
Total	93,52	92,07	90,34	93,71	96,06	94,06	97,19	98,92	96,8	99,66	97,19	96,9	96,2	95,16	96,07
Mg#	68,85	69,37	69,7	70,33	69,4	75,3	49,03	50,54	51,55	50,98	39,35	40,1	40,32	40,75	39,79

matriz da rocha, de cor marrom. Ambos os tipos pertencem ao grupo cálcico e são magnésio-hornblendas, hornblendas tschermakíticas e tschermakitas (Fig. 11). São anfibólios muito aluminosos, atingindo 14% de Al₂O₃. O alto teor de Al₂O₃ destes minerais está, provavelmente, relacionado às reações de formação das coronas sob pressões elevadas.

No gabro o ortopiroxênio apresenta composições variando entre Fs₅₅ e Fs₆₅ (ferrossilita) e o clinopiroxênio é augita diopsídica tendendo a augita nedembergítica. O plagioclásio é andesina, com composições variando no intervalo An₃₀ a An₄₇ (Tab. 8). Os anfibólios também são aluminosos e mais ricos em TiO₂ (em torno de 1,7%) do que os dos melanogabros. São classificados como magnésio hornblendas, Fe-hornblendas e hornblendas tschermakíticas (Fig. 11).

A granada dos quartzodioritos é constituída predominantemente de almandina (cerca de 61%), grossularita (24%) e espessartita (10%) (Tab. 7).

Foram utilizados pares Opx-Cpx para o cálculo de temperaturas de equilíbrio para essas fases. A partir do geotermômetro de Wells (1977), foram obtidas temperaturas médias de 935°C a 1010°C para os gabros e temperaturas médias de 1100°C para os melanogabros. Valores desta ordem indicam a cristalização dessas fases a partir do líquido.

Tomando-se o par granada-hornblenda dos quartzodioritos foi calculada temperatura média de 707°C, pelo termômetro de Graham & Powell (1984). A partir do geobarômetro de Schmidt (1992), baseado no teor de Al dos anfibólios, foi calculada uma pressão de 7,8 ± 0,6 Kb para estas rochas. Estas condições de temperatura e pressão provavelmente são relacionadas a reações de reequilíbrio em condições metamórficas.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES As relações de campo e os resultados geoquímicos do gabro e suas auréolas granitóides, da localidade de Marcos da Costa, Rio de Janeiro, suge-

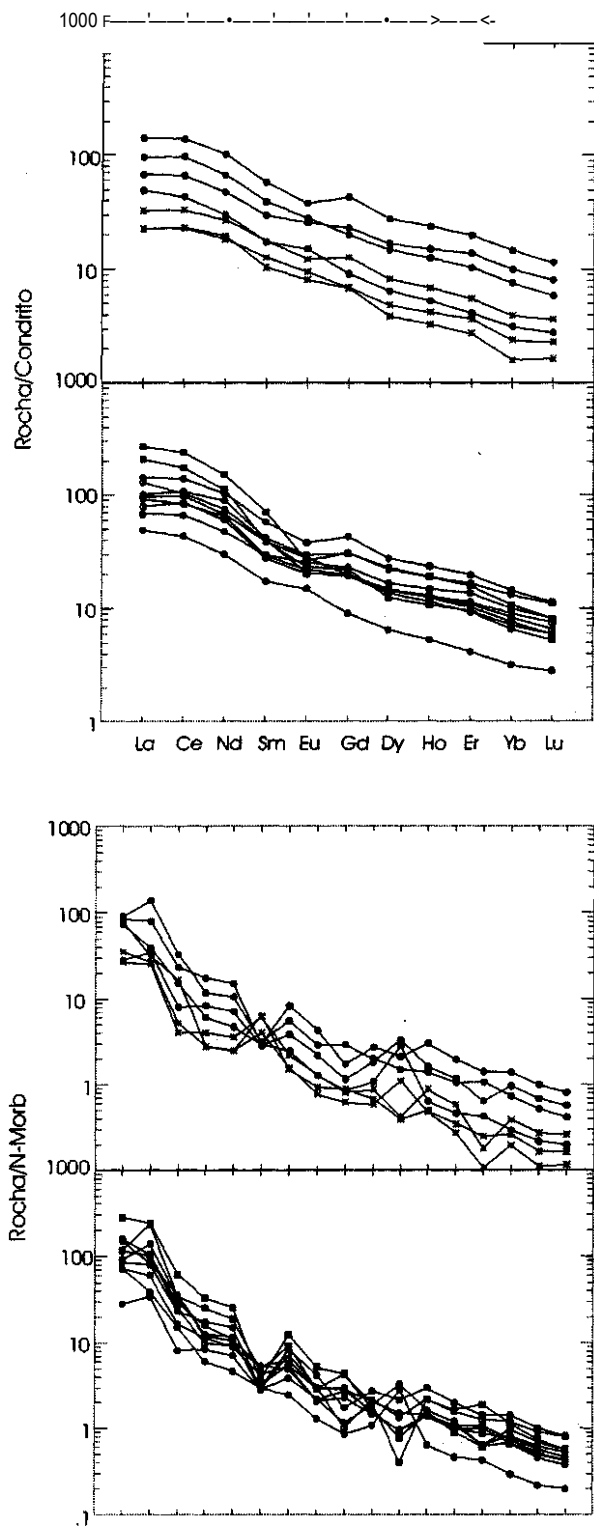


Figura 9 - Diagrama multielementar (Sun & McDonough, 1989) para rochas de Miguel Pereira. Símbolos da Figura 2.

rem contemporaneidade de intrusão e possível cogeneticidade entre eles. O fato do quartzogabro e quartzodiorito serem encontrados no contato do gabro com o leucogranito e como enclaves no interior dos gnaisses migmatíticos, do granodiorito e do leucogranito sugere que eles podem ter sido produzidos pelo encontro do magma gabroico com magmas ácidos crustais. A anatexia das rochas encaixantes, localmente incrementada pelo calor do magma básico, originou tais líquidos ácidos. Na interação entre estes magmas teria sido formada fase híbrida (quartzogabro) e ocorrido processos de diferenciação por cristalização fracionada.

No diagrama AFM (Fig. 3) o diferente posicionamento do quartzogabro, com algumas amostras no campo toleítico e outras no

Figura 11 - Diagrama de classificação de anfíbólios cálcicos para as rochas

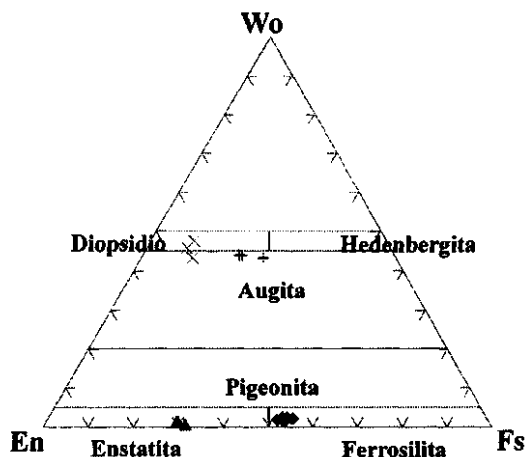
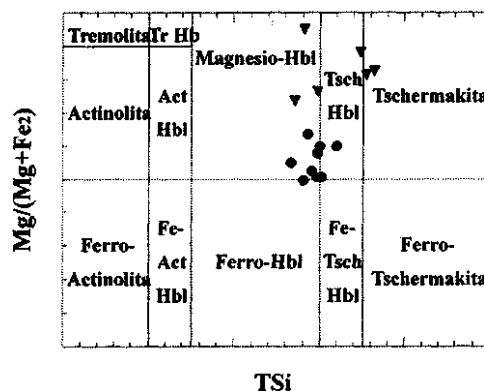


Figura 10 - Diagrama de classificação para os piroxênios das rochas de Miguel Pereira. Símbolos: (X): clinopiroxênio do melanogabro, (+): clinopiroxênio do gabro, triângulo cheio - ortopiroxênio do melanogabro, losango - ortopiroxênio do gabro.



de Miguel Pereira. Símbolos: triângulo - anfíbólio do melanogabro, círculo - anfíbólio do gabro.

campo Ca-alcálico, provavelmente reflete os processos de mistura não homogênea dos magmas acima abordados. A afinidade geoquímica observada entre as rochas mais evoluídas e o gabro fica evidente nos diagramas de variação apresentados.

No diagrama de terras raras e diagramas de elementos incompatíveis o gabro e as rochas intermediárias exibem padrões muito semelhantes, com anomalia negativa de Eu mais pronunciada e dispersão de ETRP nos termos mais ácidos. Esta última característica pode estar relacionada à presença variável da granada no quartzodiorito. A ausência de anomalias positivas de Eu nas rochas menos evoluídas (principalmente o melanogabro) pode estar associada ao estado de oxidação do magma quando da sua cristalização, uma vez que o Eu na estrutura do plagioclásio encontra-se principalmente no seu estado reduzido. A combinação da extração de diferentes fases minerais deve também ter influenciado tal fenômeno, uma vez que anomalias positivas geradas por extração de alguns minerais podem vir a anular anomalias negativas decorrentes da separação do plagioclásio.

Com base nos estudos efetuados, a seguinte sequência evolutiva para as rochas de Miguel Pereira pode ser proposta:

- intrusão de magma básico na crosta inferior, durante metamorfismo regional de alto grau (fácies anfibolito), contemporânea à fusão parcial dos litotipos de composição apropriada à anatexia;
- encontro do magma básico com líquidos granitóides formados pelos processos anatéticos e pela contribuição do calor do magma básico;
- formação de fase híbrida (quartzogabro e provavelmente quartzodiorito) nas bordas da lente gabroica, no contato do gabro com as rochas granitóides;
- ocorrência de processos AFC durante a evolução da sequência.

O melanogabro, por sua vez, é provavelmente uma rocha cumulativa, haja vista seus teores de MgO e CaO e a composição dos seus minerais: plagioclásio, olivina e Opx. Levando-se em conta esta hipótese, sua ocorrência em lentes nos metassedimentos poderia resultar de uma colocação tectônica, por talhas de empurrão. A relação de

Tabela 6 - Composição química de olivinas de melanogabro da região de Miguel Pereira.

	M12A-13	M12A-14	M12A-15	M12A-16	M12A-17
	mgb	mgb	mgb	mgb	mgb
SiO ₂	35,79	37,5	37,47	36,91	36,46
TiO ₂	0,03	0	0,04	0	0
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,03	0,63	0,01
FeO	31,63	31,51	31,68	31,25	31,18
MnO	0,33	0,39	0,4	0,37	0,42
MgO	28,23	31	32,06	29,41	28,8
CaO	0,02	0	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0	0,04	0,01	0,01	0,02
NiO	0,07	0,17	0,17	0,11	0,01
Total	96,12	100,65	101,87	98,71	96,92
Mg/Mg+Fe	0,61	0,64	0,64	0,63	0,62
Fe/Mg+Fe	0,39	0,36	0,36	0,37	0,38
Forsterita	61,15	63,39	64,04	62,37	61,89
Fayalita	38,45	36,16	35,51	37,19	37,6
Tefroita	0,41	0,45	0,45	0,45	0,51

Tabela 7 - Composição química de granadas de quartzodiorito da região de Miguel Pereira.

	M14-4-1	M14-4-2	M14-4-3
	qzd	qzd	qzd
SiO ₂	37,51	37,07	37,5
TiO ₂	0,07	0,09	0,06
Al ₂ O ₃	21,24	21,13	21,37
Cr ₂ O ₃	0,02	0,09	0
FeO	27,75	27,79	27,86
MnO	4,7	4,62	4,76
MgO	0,67	0,63	0,63
CaO	9,25	8,99	9,2
Na ₂ O	0,04	0,04	0,02
Total	101,25	100,45	101,42
Piropo	2,01	1,55	1,6
Almandina	61,01	61,98	61,41
Grossularita	24,93	24,48	25,09
Sperssatita	10,59	10,53	10,75
Uvarovita	0,07	0,29	0
Andradita	1,18	0,91	0,96
Schorlomita	0,22	0,26	0,19

Tabela 8 - Composição química de plagioclásios de melanogabro e gabro da região de Miguel Pereira.

	M12A-18	M12A-19	M12A-20	M12A-21	M12A-22	M32-4-10	M32-4-11	M32-4-12	M22-5-6	M22-5-7	M22-5-8
	mgb	mgb	mgb	mgb	mgb	gb	gb	gb	gb	gb	gb
SiO ₂	43,35	45,33	42,97	45,46	43,39	56,43	55,4	55,02	58,64	61,34	60,06
Al ₂ O ₃	35,64	35,76	35,44	36,41	36,14	27,66	27,72	29,1	26,38	23,43	25,2
FeO	0,08	0,13	0,13	0,16	0,18	0,2	0,49	0,15	0,11	0,24	0,15
CaO	18,69	20,16	19,88	19,04	18,67	9,02	9,65	9,76	7,58	5,2	6,63
Na ₂ O	0,4	0,2	0,2	0,31	0,27	6,37	5,87	5,71	7,4	8,38	7,86
K ₂ O	0,02	0,02	--	0,01	0,01	0,32	0,3	0,26	0,29	0,48	0,4
Total	98,2	101,64	98,69	101,46	98,69	100,06	99,62	100,05	100,54	99,15	100,48
Na	95,85	97,6	97,57	96,46	96,68	42,76	45,52	47,5	35,3	24,57	30,86
Ab	3,71	1,75	1,78	2,84	2,53	54,65	50,1	50,28	62,36	71,65	66,21
Or	0,12	0,12	0,12	0,06	0,06	1,81	1,69	1,51	1,61	2,7	2,22

cogeneticidade com o gabro não ficou claramente demonstrada na maioria dos diagramas estudados. Entretanto, o comportamento dos ETR indica a possibilidade de que eles estejam geoquimicamente relacionados. Em vista disto, somente a aquisição de um maior número de análises, incluindo dados isotópicos, poderá elucidar o problema.

Agradecimentos Ao Prof. Dr. Giorgio Rivalenti, e sua equipe, os geólogos Adelaide Barbieri, Maurício Mazzucchelli e Simona Bigi,

do Dipartimento de Scienza della Terra, Modena, Itália, pela orientação e apoio nos trabalhos de análises químicas de rochas e minerais. Ao Prof. Dr. Rudolph Trouw pela participação nos trabalhos de campo e pelas análises de rocha total da Geosol. À Capes pela bolsa de Pós-doutorado concedida a Profa. Junho (processo n° 1560/95-25). Dois revisores anônimos contribuíram significativamente para a versão final do manuscrito.

Referências

- Almeida J.C.H., Tupinambá M., Heilbron M., Trouw R. 1998. Geometric and kinematic analysis at the Central Tectonic Boundary of the Ribeira Belt, southeastern Brazil. In: SBG, Cong. Brás. Geol., XL, Anais: 32.
- Boyton W. V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. In: P. Henderson (ed.) *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, 63-114.
- Conceição F.R., Tupinambá M., Teixeira W., Valeriano C.M., Heilbron M., Kawashita K. 1997. Proterozoic and cretaceous gabbroic rocks from Serra dos Órgãos region, southeastern Brazil. In: South American Symposium on isotopic geology. *Extended Abstract*, p. 82-84.
- Cox K.G., Bell J.D., Pankurst R.J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. Unwin Hyman Ltd., London, 450p.
- Fonseca M.J.G. 1998. *Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000*. DNPM-RJ, 141 p.
- Graham C.M. & Powell R. 1984. A garnet - hornblende geothermometer: calibration, testing and application to the Pelona Schist, Southern California. *Journal of Metamorphic Geology*, 2:13-31.
- Grieve R.A.F. & Gittins J. 1974. Composition and formation of coronas in the Hadlington Gabbro, Ontario, Canada. *Can. J. Earth Sci.*, 12:289-299.
- Irvine T.N. & Baragar W.R. 1971. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8:523-548.
- Lamoen H. V. 1979. Coronas in olivine gabbros and iron ores from Susimai and Riittamaa, Finland. *Contr. Min. Petrol.* 58:259-268.
- Lê Maitre R.W. 1989. *A classification of igneous rocks and a glossary of terms*. Blackwell, Oxford, 193 p.
- Ludka I. P. 1991. O corpo metagabroico de Jacutinga: exemplo de coronas de reação olivina-plagioclásio no sul do estado do Espírito Santo. In: SBG, Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo, Ato, p.147-148.
- Ludka I.P., Wiedenmann C. M., Lammerer B., Sölnner F. 1997. Enriquecimento em elementos incompatíveis em rochas básicas da porção central do Cinturão Móvel Costeiro e regiões adjacentes. In: SBGq, Cong. Brás. Geoquímica, 6, Salvador-BA, Anais, 2:639-642.
- Maniari P. D. & Piccoli P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101:635-643.
- Reis A. P. & Mansur K.L. 1995. *Sinopse geológica do Estado do Rio de Janeiro*. DRM - Secretaria do Estado de Meio Ambiente - Governo do Estado do Rio de Janeiro, 60p.
- Schmidt M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contr. Mineral. Petrol.*, 110:304-310.
- Sun S. & McDonough W.F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins*. Geol. Soc. Sp. Pub., 42:313-345.
- Tupinambá M. 1999. *Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro*. Inst. Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 221 p.
- Tupinambá M., Teixeira W., Heilbron M., Basei M.A.S. 1998. U/Pb zircon age and lithogeochemistry of the Rio Negro Complex tonalitic gneiss: evidence of 630 Ma magmatic arc at the Costeiro Domain of the Ribeira Belt. In: SBG, Cong. Brás. Geol., XL, Anais, p.51.
- Wells P.R.A. 1977. Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contr. Mineral. Petrol.*, 62:129-139.
- Wiedenmann C., Ludka I., Mendes J.C. 1992. Análises por microsonda eletrônica em coronas de metagabro - noritos do Espírito Santo. In: SBG, Cong. Brás. Geol., 37, *Boletim de Resumos Expandidos*, p.45-46.
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. Chapman & Hall, 466 p.

Manuscrito A-1094

Recebido em 10 de maio de 1999

Revisão dos autores em 28 de dezembro de 1999

Revisão aceita em 01 de janeiro de 2000