

MINERALIZAÇÃO DE Fe-Ti-V ASSOCIADA AO GABRO MARCOS DA COSTA (MIGUEL PEREIRA), ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Ronaldo Mello Pereira¹, Marcelo Salomão¹, Reiner Neumann², Paulo Guimarães³, Enrico Pedroso¹

1 - Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DGAp-FGEL/UERJ).

Rua São Francisco Xavier, 524 / 2017A, 20550-900. ronaldo.mellouerj@gmail.com / salomao.mss@gmail.com

2 - Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI). Av. Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-908. rneumann@cetem.gov.br

3 - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ).

Rua Marechal Deodoro, 351 - Centro, Niterói - RJ, 24030-060. pvguimaraes@drm.rj.gov.br

Recebido em 4 de junho de 2017; aceito em 26 de fevereiro de 2018

Resumo: O Gabro Marcos da Costa, localizado em Miguel Pereira, é mais um dos registros de rochas gabroides encontrados no estado do Rio de Janeiro. O corpo tem formato lenticular, 2,7 km² de área aflorante, é estruturalmente isotrópico e sem presença visível de texturas primárias como a orientação por fluxo ou cumuláticas. Amostras do gabro foram submetidas a análises químicas e medidas de susceptibilidade magnética (SM). Possui caráter toleítico, com trend de enriquecimento em Fe. A ambientação tectônica é do tipo intraplaca e possível geração a partir de magma basáltico de alto-Ti (>3% TiO₂). Os teores em TiO₂ e V em rocha total são equiparáveis aos encontrados em gabros que encerram mineralizações em Fe-Ti-V. Ilmenita e magnetita, geralmente vanadinífera, são os principais minerais opacos e encontram-se disseminadas na rocha. A composição química da magnetita determinada em MEV-EDS varia de: 90,23% a 98,77% de FeO, 0,07% a 0,42% de TiO₂ e 0,59% a 2,13% de V₂O₅. Os valores de SM medidos em afloramentos estão entre -0,44 x10⁻⁴ a 89,4 x10⁻⁴ SI-emu. Em afloramento, por meio dessas medidas de SM, percebe-se a presença de níveis e bandas centimétricas aonde a concentração de minerais ferromagnéticos chega a até 22% em peso e interpretadas como estratificação magmática. As maiores concentrações de minerais ferromagnéticos ocorrem na parte setentrional do corpo aqui considerada como a porção basal da câmara magmática.

Palavras Chave: mineralização de Fe-Ti-V, gabro, Rio de Janeiro, magnetita vanadinífera

Abstract: Fe-Ti-V MINERALIZATION ASSOCIATED WITH GABRO MARCOS DA COSTA (MIGUEL PEREIRA), RIO DE JANEIRO STATE. Marcos da Costa Gabbro, located in Miguel Pereira city, is one of the records of gabbroid rocks found in the state of Rio de Janeiro. The body is lenticular shape, with 2.7 km² outcrops, structurally isotropic and without visible presence of primary flow or cumulate textures. Gabbro samples were submitted to chemical analyses and magnetic susceptibility measurements (MS). Its character is tholeiitic, with trend of enrichment in Fe. The tectonic ambience is intraplate type, with possible generation from basalt with high-Ti (> 3% TiO₂). The TiO₂ and V contents are comparable to those found in gabbros containing Fe-Ti-V mineralizations. Ilmenite and magnetite, usually vanadiniferous, are scattered in the rock. The magnetite contents determined in SEM-EDS vary from: 90.23% to 98.77% of FeO, 0.07% to 0.42% of TiO₂ and 0.59% to 2.13% of V₂O₅. MS values range from -0.44 x10⁻⁴ to 89.4 x10⁻⁴ SI-emu. Levels and centimeter bands with high MS exhibit ferromagnetic mineral concentrations of up to 22% of total weight and were interpreted as magmatic layering. The highest concentrations of ferromagnetic minerals occur in the northern part of the body here regarded as the basal portion of the magma chamber.

Keywords: Fe-Ti-V mineralization, gabbro, Rio de Janeiro, vanadiferous magnetite

1. INTRODUÇÃO

O Gabro Marcos da Costa localiza-se no Município de Miguel Pereira e corresponde a um dos principais registros de rochas gabroides encontradas no Estado do Rio de Janeiro, somando-se ao gabro de Amparo em Nova Friburgo e aos corpos de Gleba Ribeiro em Papucaia / Guapimirim, Lídice em Rio Claro, ao norito de Conceição de Macabu, localizado no município homônimo, dentre outros. De modo geral, os estudos desenvolvidos em alguns desses corpos só tiveram cunho petrológico como, por exemplo, nos corpos de Marcos da Costa (Junho *et al.*, 1999), Amparo (Ludka & Wiedmann, 1997) e Cambuci (Mendes *et al.*, 2011).

Com a descoberta de titanomagnetita vanadinífera, com teores de até 2,07% V₂O₅, na composição mineralógica do Gabro de Lídice (Pereira *et al.*, 2016) abriu-se a perspectiva da presença de mineralizações de Fe-Ti-V associadas aos demais corpos gabroides encontrados em território fluminense. Desta forma, o presente trabalho, seguindo o mesmo viés econômico, objetiva apontar

para o potencial econômico do Gabro Marcos da Costa para Fe-Ti-V e, para tal, reportam-se os resultados dos estudos efetuados envolvendo medidas de susceptibilidade magnética, análises mineralógicas, químicas e microquímicas que permitiram destacar a presença desses elementos associados a esse corpo.

2. MÉTODOS ANALÍTICOS

A metodologia aplicada envolveu medidas de susceptibilidade magnética, análises litogeoquímicas e de química mineral em MEV-EDS.

Medidas de susceptibilidades magnéticas (SM) foram efetuadas com equipamentos da marca EXPLORANIUM, modelos Kappameter KT-9 e KT-10. Elas foram obtidas tanto em campo, diretamente nos afloramentos rochosos que se encontram localmente expostos, quanto em laboratório em amostras de mão. O equipamento KT-10 foi utilizado também para estimar a concentração de material ferromagnético na rocha, obtida através de medições diretas nas amostras e posterior processamento dos dados por meio de curva de calibração do equipamento.

10.18285/geonomos.v25i2.1080

Amostras de rocha foram analisadas quimicamente no Activation Laboratories (ActLabs) do Canadá, para a determinação conjunta de elementos maiores, menores, traços e ETR, por meio do método *Major Elements Fusion ICP (WRA) / Trace Elements Fusion ICP/MS*. As amostras foram misturadas a um fluxo de metaborato de lítio e tetraborato de lítio e posteriormente fundidas em forno de indução a temperaturas de 5.700 a 9.700°C. A fusão assegura que os elementos presentes, incluindo os ETR, em óxidos e demais minerais refratários sejam posteriormente colocados em solução. A solução é ionizada para ser analisada por indução acoplada em um nebulizador de fluxo de argônio, localizado em uma tocha de plasma. A perda ao fogo foi de 0,40%.

Amostras de rochas britadas em britador de mandíbula e pulverizadas em moinho de disco em fração areia fina (0,05 mm a 0,3 mm) foram, posteriormente, submetidas a separações magnéticas por meio de imã de mão. A liberação dos constituintes ferromagnéticos não foi total, estimando-se um percentual de impurezas agregadas (ilmenita, feldspato e clino / ortopiroxênios) de cerca de 20%. Esse material foi então pesado para que se pudesse estimar a porcentagem em peso da fração ferromagnética em relação ao peso total da amostra de rocha. Alguns fragmentos atraídos ao imã de mão também foram montados em seções polidas para serem, posteriormente, analisados microquimicamente em MEV-EDS. Nesse procedimento o equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura da marca FEI Quanta 400, operado em alto vácuo e tensão de aceleração de elétrons de 20 kV e *spot size* 5. As composições químicas dos minerais e suas inclusões foram medidas com um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax 800 acoplado, com detector de energia dispersiva SDD (silicon drift detector) Bruker XFlash 5010. As análises foram realizadas no modo semiquantitativo com padrões internos, auto-calibração a partir da radiação de fundo (Bremstrahlung), rotina de correção de dados PhiRhoZ (Pouchou & Pichoir 1991) e deconvolução por parâmetros fundamentais, pelo software Bruker Nano Analysis Esprit 1.9. Calibração espectral foi efetuada com padrão do cobre (99,995%) antes de cada sessão de análise. Esses estudos foram desenvolvidos no laboratório de Microscopia Eletrônica do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

3. COMPARTIMENTAÇÃO GEOTECTÔNICA E GEOLOGIA DA ÁREA

O território do Estado do Rio de Janeiro está integralmente contido no segmento central da Faixa Ribeira (Figura 1) e é constituído por quatro terrenos

tectono-estratigráficos empilhados em direção ao Cráton do São Francisco durante os eventos orogênicos ocorridos entre 605 e 520 /480 Ma: *Klippe* Paraíba do Sul, Terreno Oriental, Terreno Ocidental e Terreno Cabo Frio (Heilbron et al., 2000, 2004). Dois desses terrenos (Ocidental e Oriental), formados por gnaisses aluminosos (com e sem sillimanita) e rochas ortogranulíticas, foram considerados como correspondentes a terrenos khondalíticos e, por isso, foram denominados de Terreno Khondalítico Ocidental e Terreno Khondalítico Oriental (Pereira et al., 2016).



Figura 1. Localização da área estudada em relação ao quadro geotectônico (simplificado) da região Sudeste Brasileira. MC = Gabro Marcos da Costa (adaptado de Heilbron et al., 2004).

A região de Miguel Pereira está incluída no Terreno Khondalítico Ocidental e, de acordo com Junho et al. (1999), nela afloram rochas metatexiticas (biotita gnaiss bandado), diatexiticas (K-feldspato gnaiss) que englobam lentes concordantes de rochas granitoides e gabros. Rochas metassedimentares, representadas por sillimanita-biotita-feldspato gnaiss, sillimanita-moscovita quartzito/xisto e gnaisses calciossilicáticos, com lentes de melanogabros, também afloram na região. As unidades litoestratigráficas presentes estão dispostas segundo a direção NE-SW, em concordância com a orientação geral da Faixa Ribeira.

Para Almeida et al. (1998) o contato entre as rochas metassedimentares e os ortognaisses corresponde a uma zona de junção (CTB = *Central Tectonic Boundary*) entre dois terrenos da Faixa Ribeira, de evolução tectono-magmática distinta: o terreno Ocidental constituído por litotipos metassedimentares e o Oriental por ortognaisses do Complexo Rio Negro. Ainda de acordo com Almeida et al. (1998), lentes métricas de gabros e outras rochas máficas ocorrem nas vizinhanças deste contato regional.

Dispostos em mapa, os corpos gabroides e ultrabásicos encontrados na região sudeste do Brasil demonstram, de fato, uma distribuição de acordo com dois grandes alinhamentos paralelos entre si e que, possivelmente, correspondem aos limites (suturas) entre os diversos terrenos acrescionários que foram amalgamados para formarem a Faixa Ribeira. O principal *trend* de distribuição dos corpos máficos no Estado do Rio de Janeiro corresponde ao CTB. Ele ultrapassa em muito as fronteiras estaduais alinhando, por exemplo, os maciços encontrados em Caraguatuba, SP (Gabro Bairro do Marisco), em Rio Claro (Gabro de Lídice) e Miguel Pereira (Gabro Marcos da Costa), estes localizados em território fluminense, e o corpo situado nas proximidades de Venda Nova do Imigrante, ES (Gabro Venda Nova). Nesse mesmo alinhamento também se encontram alguns corpos ultrabásicos, sendo o de Areal, o mais conhecido do Estado do Rio de Janeiro (Figura 2).

3.1. Gabro Marcos da Costa

Diversos corpos de rochas gabroides, representadas por melanogabros, gabro e quartzogabro, afloram na região de Miguel Pereira. O maior corpo encontra-se na localidade de Marcos da Costa e corresponde a um tipo estruturalmente isotrópico, com textura magmática subofítica e, por

vezes, com de cristais de plagioclásio e piroxênios orientados originando textura de fluxo (Junho *et al.*, 1999). Ele foi descrito como uma grande lente com formato sigmoide, concordante com a foliação regional, tem aproximadamente 3,5 km de comprimento, 0,8 km de largura máxima e por volta de 3 km² de área aflorante (Junho *et al.*, 1999). A partir do mapa apresentado por esses autores (Figura 3) a área de exposição do corpo foi recalculada e o valor encontrado passou de 3 km² para cerca de 1,8 km².

Para uma melhor delimitação do corpo foram efetuados novos levantamentos geológicos na área, associada à análise e interpretação de imagem de satélite e do mapa aeromagnetométrico da Amplitude do Sinal Analítico disponível que cobre o Estado do Rio de Janeiro, no qual a anomalia geofísica gerada pelo Gabro Marcos da Costa encontra-se bem destacada. Dessa forma, apresenta-se a partir dessa integração geológico-geofísica um posicionamento e um contorno para esse corpo mais próximo da realidade (Figura 4). Com tal, a área de exposição do Gabro Marcos da Costa foi ampliada para 2,7 km², agora sim, aproximando-se da estimativa inicial efetuada por Junho *et al.* (1999).

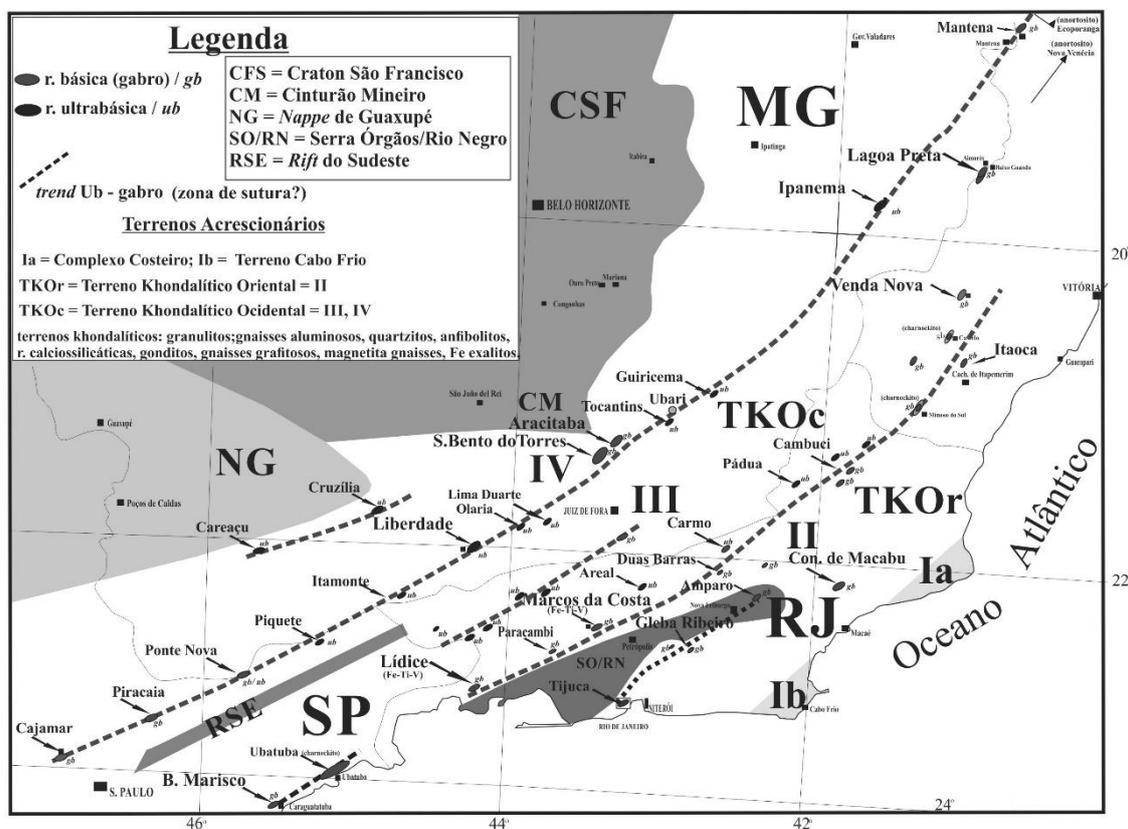


Figura 2. Mapa esquemático com os terrenos khondalíticos da região Sudeste do Brasil e os trends de distribuição de alguns corpos básicos (gabros e noritos) e ultrabásicos aí encontrados (adaptado de Pereira *et al.*, 2016).

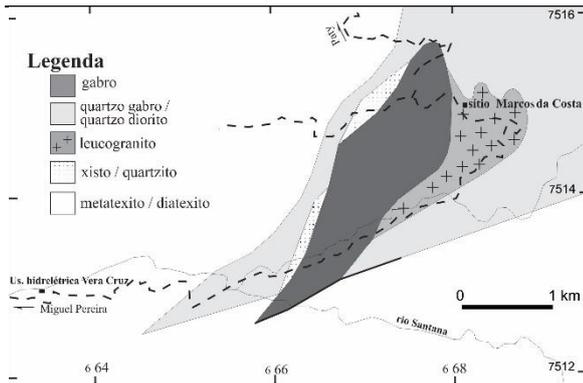


Figura 3. Mapa Geológico esquemático da região de Miguel Pereira, RJ (Junho et al., 1999).

O Gabro Marcos da Costa é composto de 62%, andesina cálcica (An45-47), 13%, de ortopiroxênio (En35-45), 10% de clinopiroxênio (augita diopsídica), 9% de anfibólio e minerais opacos. A biotita (até 12%) foi, particularmente, observada nas rochas que constituem as bordas do maciço. Os minerais opacos são representados por óxidos de Fe (magnetita) e Ti (ilmenita) e, as suas concentrações, em peso, podem variar entre 3% e 22% (Tabela 1).

As rochas que constituem o Gabro Marcos da Costa são tão intensamente magnéticas que permitem que tal propriedade possa ser percebida, tanto em escala de afloramento quanto em amostras de mão, utilizando-se simplesmente de um ímã de mão. A concentração de minerais ferromagnéticos não se dá de forma homogênea ao longo de todo o corpo gabroide e essa heterogeneidade pode ser constatada pela variação entre as medidas de SM (Tabela 2) que apresentam valores mais baixos (e.g.,

pontos MC-02; MC-06) na parte sul e maiores (e.g., pontos MC-07A; MC-08A) na parte norte do corpo. Nessa porção setentrional do maciço, e em escala de afloramento, a susceptibilidade magnética também varia bruscamente alternando-se em valores altos e baixos, permitindo que se delineasse a presença de faixas / níveis centimétricos dotados de um magnetismo mais forte.

Tabela 1. Teores de magnetita em amostras do Gabro Marcos da Costa: comparação entre as % em peso e as determinadas com o uso do equipamento KT-10.

Ponto	magnetita	
	% peso	% KT-10
MC-01	3,2	3,0
MC-02	14,5	20,0
MC-06	6,5	7,0
MC-07A	17,0	19,0
MC-08A	18,0	22,0

4. LITOGEOQUÍMICA

Além dos dados químicos apresentadas por Junho et al. (1999), foram efetuadas análises químicas complementares, abrangendo os elementos maiores, menores e traços, incluindo os elementos terras raras, em oito amostras de rocha. Os dados geoquímicos do Gabro Marcos da Costa, obtidos nesse trabalho, indicam teores de SiO₂ variando entre 45,44% e 53,73%, de Al₂O₃ entre 13,76% e 15,99%, de TiO₂ entre 1,75% e 4,44%, de FeOt entre 12,25% e 16,45% e de P₂O₅ entre de 0,34% e 1,19% (Tabela 3).

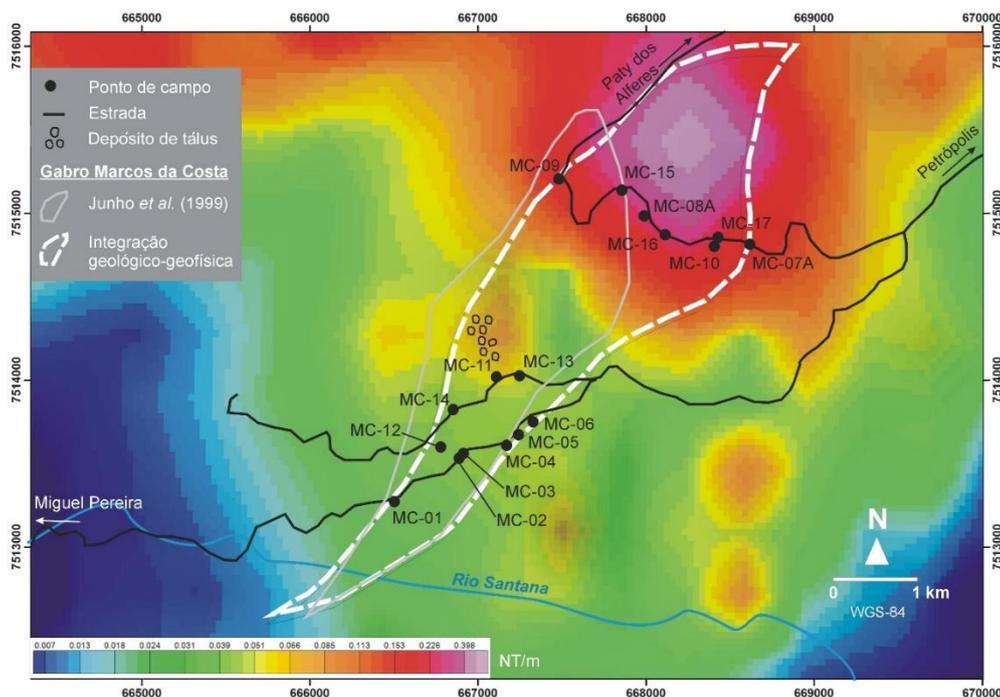


Figura 4. Mapa aeromagnetométrico da Amplitude do Sinal Analítico com a delimitação do Gabro Marcos da Costa.

dos ETRs pesados em relação aos leves. São identificados três grupos de amostras com valores de ETRs leves: o primeiro, formado pelas amostras MC-11B e MC-17; o segundo, pela amostra MC-06; e o terceiro grupo, pelos menores valores e correspondem às amostras localizadas nas bordas do corpo gabroide (MC-01, MC-07A e MC-14). As amostras mais enriquecidas em magnetita (amostras MC-07A e MC-08A) exibem teores dos ETR aproximadamente 20 vezes inferiores aos obtidos na amostra menos mineralizada (MC-06B).

Comparativamente à abundância média em cromo (300 ppm), níquel (160 ppm) e vanádio (200 ppm) esperados para as rochas básicas (Andrews-Jones, 1968), os conteúdos de Cr (30 ppm a 50 ppm) e Ni (< 20 ppm) mostraram-se baixos em todas as amostras analisadas (Tabela 5), enquanto o V, em algumas das amostras com maior conteúdo em magnetita, apresenta um enriquecimento de 2 a 2,5 vezes (450 ppm e 551 ppm) em relação ao padrão estabelecido.

A magnetita ocorre em cristais anedrais e subedrais disseminados na rocha apresentando inclusões e exsoluções de ilmenita (Figuras 10 e 11).

Determinações efetuadas em MEV-EDS permitiram verificar que a magnetita possui teores de FeOt variando de 90,23% a 98,77%, de TiO₂ entre 0,07% e 0,42% e de V₂O₅ entre 0,59% e 2,13% (Tabela 6). Os valores de cromo são baixos, entre 0,08% e 0,22% e o níquel não foi detectado.

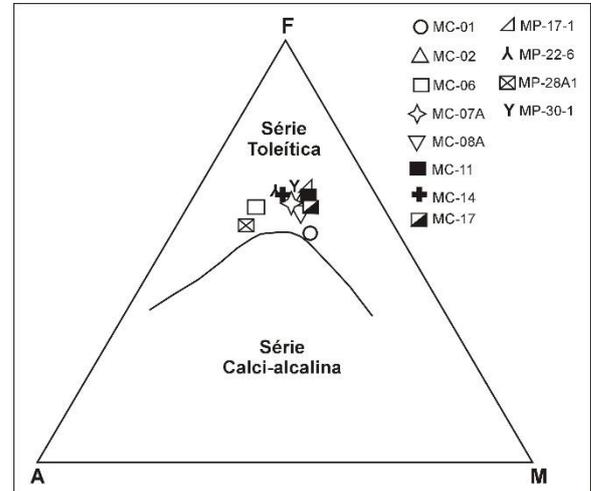


Figura 7. Diagrama SiO₂ x FeOt/MgO (Miyashiro, 1974) para classificação das rochas estudadas. Amostras MP referem-se a Junho et al. (1999).

Tabela 4. Elementos terras raras em ppm do Gabro Marcos da Costa. Pontos MC (este trabalho); Amostras MP referem-se a Junho et al. (1999).

Ponto	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Total
MC-01	15,2	34,6	19,6	4,7	1,41	4,7	4,4	0,8	2,3	2,0	0,31	90,02
MC-02	15,7	35,8	21,6	5,3	2,21	5,4	4,7	0,9	2,5	2,3	0,35	96,76
MC-06	37,4	95,0	54,9	12,4	3,11	11,2	9,2	1,7	4,7	3,8	0,58	233,99
MC-07A	18,8	41,8	25,8	6,3	2,33	6,1	5,4	1,0	2,7	2,3	0,36	112,89
MC-08A	19,5	45,5	26,8	6,2	2,07	6,2	5,1	1,0	2,6	2,2	0,33	117,50
MC-11	84,7	176	76,5	15,9	15,9	13,1	9,4	1,7	4,3	3,8	0,56	401,86
MC-14	15,1	34,1	19,3	4,5	4,5	4,6	4,1	0,8	2,2	2,0	0,29	91,49
MC-17	108	222	94,1	18,4	18,4	14,8	10,4	1,7	4,5	3,7	0,54	496,54
MP-17-1	21,14	53,6	28,31	5,79	1,88	5,95	5,39	1,08	2,88	2,09	0,26	128,37
MP-22-6	44,25	112,6	61,53	11,24	2,78	11,07	8,92	1,7	4,17	3,03	0,37	261,66
MP-28A1	29,83	79,0	40,34	7,6	2,05	5,16	4,77	0,9	2,17	1,59	0,19	173,60
MP-30-1	15,19	35,07	18,04	3,39	1,11	2,35	2,08	0,38	0,87	0,66	0,09	79,23

Tabela 5. Elementos-traço (em ppm) do Gabro Marcos da Costa.

Ponto	Cs	Rb	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	V	Zn	Th	U	Ta	Nb	Pb	Sr	if	Zr	Y
MC-01	2,1	40,	222	39	30	20	< 20	271	110	1,1	1,3	1,3	11	8	330	2,40	86	21
MC-02	0,5	13	309	46	50	20	< 20	505	130	1,1	0,3	1,1	10	5	355	2,40	96	22
MC-06	4,9	95	509	28	20	10	< 20	157	140	2,6	5,7	1,7	12	16	325	5,60	306	45
MC-07A	0,5	13	333	38	20	20	< 20	551	130	1,0	0,2	1,2	12	6	369	2,40	91	24
MC-08A	1,7	36	547	44	30	20	< 20	450	160	2,2	0,5	1,0	10	17	367	4,60	191	26
MC-11	1,2	18	258	47	< 20	30	< 20	529	120	25,4	3,6	0,7	8	10	332	3,80	176	42
MC-14	0,5	9	255	50	< 20	30	< 20	480	100	1,0	0,3	0,5	6	5	358	1,60	59	21
MC-17	1,5	27	173	43	< 20	30	< 20	557	100	36,3	5,5	0,5	6	11	318	2,80	115	45

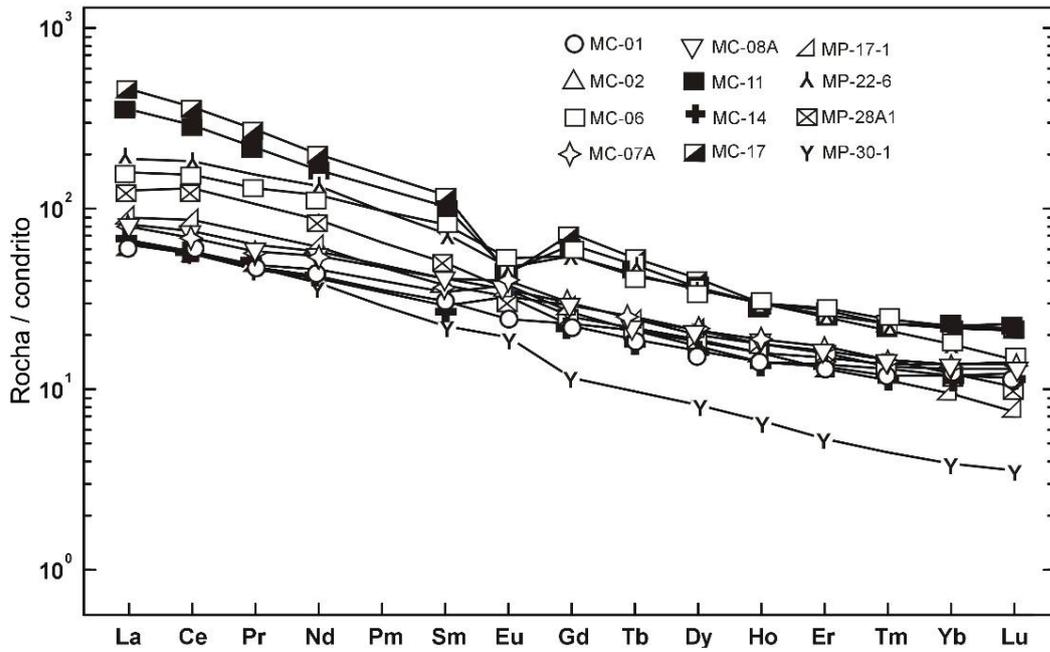


Figura 8. Padrões de ETR, normalizados para o condrito (Sun & McDonough, 1989) para as rochas estudadas.

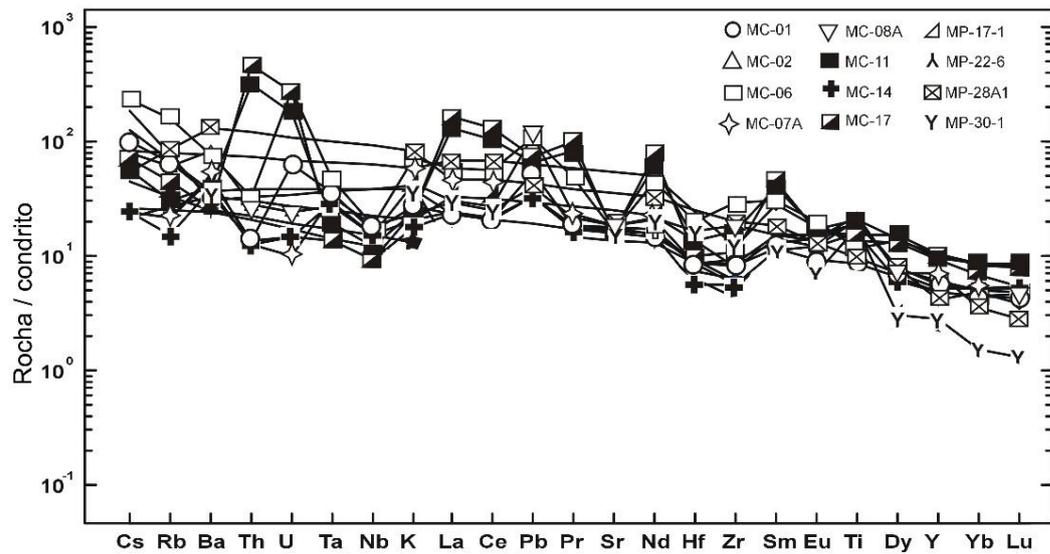


Figura 9. Padrões de elementos-traço, normalizados para o manto primordial (McDonough & Sun, 1995) para as rochas estudadas. Amostras MP referem-se a Junho et al. (1999).

Tabela 6. Composição química da magnetita determinada em MEV-EDS.

Elemento (%)	MC-07A							MC-08A						
FeO _t	96,36	96,22	96,56	96,60	90,24	96,47	96,82	96,95	96,64	98,48	98,21	98,65	98,78	97,68
TiO ₂	0,19	0,26	0,14	0,14	0,33	0,31	0,22	0,18	0,18	0,14	0,12	0,11	0,06	0,42
V ₂ O ₅	2,34	2,23	2,07	2,19	2,27	2,06	2,05	2,13	2,01	0,65	0,87	0,70	0,77	0,95
Al ₂ O ₃	0,35	0,56	0,43	0,45	1,50	0,41	0,32	0,04	0,19	0,03	0,08	--	--	0,16
SiO ₂	0,36	0,33	0,31	0,17	4,34	0,25	0,19	0,20	0,27	0,29	0,28	--	--	0,25
MgO	0,03	0,03	0,08	0,03	0,92	0,08	0,07	0,06	0,15	0,03	0,06	0,08	0,01	0,10
MnO	0,29	0,30	0,31	0,32	0,28	0,30	0,25	0,24	0,33	0,28	0,31	0,31	0,29	0,26
Cr ₂ O ₃	0,08	0,08	0,11	0,10	0,12	0,12	0,08	0,20	0,22	0,10	0,08	0,16	0,09	0,18

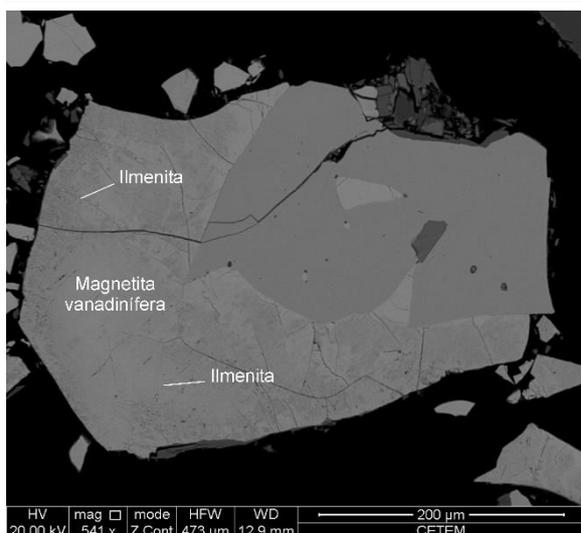


Figura 10. Imagem Back scattered electron mostrando grão de magnetita vanadinífera (amostra MC-07A) com exsoluções de ilmenita.

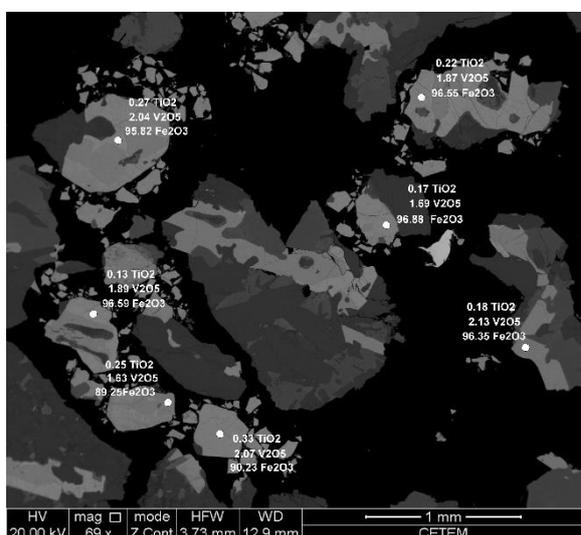


Figura 11. Imagem Back scattered electron de grãos de magnetita vanadinífera (amostra MC-07A).

Ainda em relação aos elementos-traço (Tabela 5) destacam-se as anomalias positivas de Th e U em afloramentos situados próximos à borda do gabro (Pontos MC-11 e MC-17), possivelmente resultantes de contaminação a partir da rocha encaixante.

5. QUÍMICA MINERAL

A magnetita ocorre em cristais anedrais e subedrais disseminados na rocha apresentando inclusões e exsoluções de ilmenita (Figuras 10 e 11). Determinações efetuadas em MEV-EDS permitiram verificar que a magnetita possui teores de FeO_t variando de 90,23% a 98,77%, de TiO₂ entre 0,07% e 0,42% e de V₂O₅ entre 0,59% e 2,13% (Tabela 6). Os valores de cromo são baixos, entre 0,08% e 0,22% e o níquel não foi detectado.

Quimicamente a ilmenita, presente como exsoluções e inclusões na magnetita, tem conteúdo

em FeO_t e TiO₂ abaixo de 51% e V₂O₅ muito baixo, inferior a 0,15 % (Tabela 7).

Tabela 7. Composição química da ilmenita presente como exsoluções e inclusões na magnetita.

Amostra	Óxido (%)							
	FeO _t	TiO ₂	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃
MC-07A	48,43	49,57	0,05	0,13	0,52	0,63	0,68	0,00
MC-08A	50,70	47,83	0,12	0,08	0,21	0,07	0,94	0,02

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Gabro Marcos da Costa possui assinatura petrográfica e geoquímica própria de toleitos enriquecidos em Fe. Petrograficamente, a mineralogia original das rochas mostra associação anidra, representada pela coexistência de orto e clinopiroxênios e plagioclásio.

Quimicamente as rochas do Gabro Marcos da Costa apresentam discretas variações composicionais, sendo algumas dessas diferenças relativas aos teores de SiO₂, K₂O e P₂O₅. Os conteúdos mais elevados em sílica de algumas amostras (MC-01, MC-06), provavelmente, indicam interações entre as rochas encaixantes (rochas metatexíticas, diatexíticas, metassedimentares e leucogranito) e as rochas básicas, com uma maior assimilação de sílica e alumina por parte destas. Da mesma forma, pode-se considerar que os teores de K₂O registrados para as amostras MC-06 (2,01%) e MC-08 (1,23%) se deve a mesma interpretação. É razoável supor que presença de ortopiroxênio associado ao gabro Marco da Costa resulte, então, de um processo de assimilação mais amplo. Por exemplo, reações entre olivina e augita com SiO₂ e Al₂O₃ provenientes de fusão / assimilação de rochas metassedimentares permitem a formação de Fe-enstantita (Chardasekharan *et al.*, 2000). A presença local de Fe-enstantita em basaltos do Deccan Traps, na Índia e em bordas de reação de olivinas no Gabro José Fernandes, Paraná, foi considerada como fruto desse tipo de reação (Chardasekharan *et al.*, 2000; Almeida, 2016). Da mesma forma, assimilação e cristalização fracionada podem ser relacionadas à geração do ortopiroxênio gabro do Complexo Phenai Mata do Deccan Traps (Hari *et al.*, 2011).

Em relação à ambientação tectônica, os diagramas discriminantes indicam que o corpo é constituído por basaltos do tipo intraplaca (Figuras 12 e 13). Mas, comparado com estes verifica-se que o Gabro Marcos da Costa apresenta teores de SiO₂, CaO e K₂O discretamente inferiores, e Al₂O₃, FeO_t e P₂O₅ mais elevados (Tabela 8).

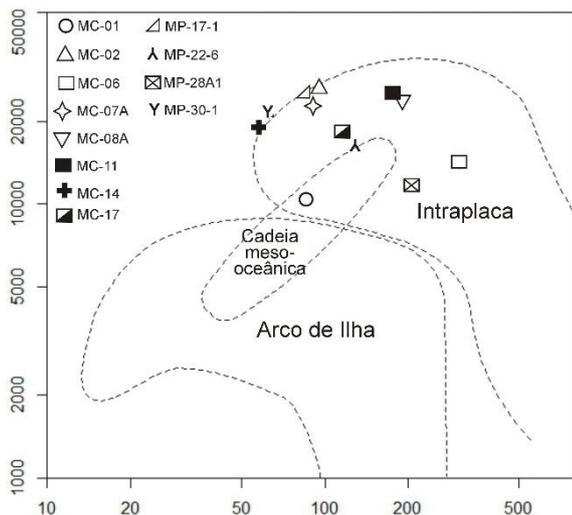


Figura 12. Diagrama discriminante Zr x Ti (Pearce, 1982).
Amostras MP referem-se a Junho et al. (1999).

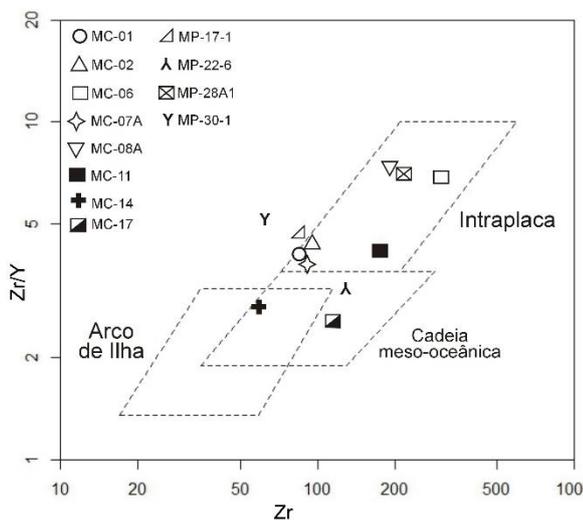


Figura 13. Diagrama discriminante Zr-Zr/Y (Pearce & Norry, 1979).
Amostras MP referem-se a Junho et al. (1999).

Tabela 8. Comparação entre os valores médios composicionais dos gabros Marcos da Costa - GMC, Lídice - GLD (Pereira et al., 2016) e de gabros de ambiente tectônico do tipo WPB = within-plate basalt (Karkkainen & Bornhorst, 2003).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOt	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
GMC	48,85	3,66	14,93	14,81	0,20	5,26	8,89	2,93	0,82	0,67
GLD	49,14	5,03	13,17	12,52	0,18	5,09	8,74	2,62	1,44	0,43
WPB	50,56	2,57	13,83	13,79	0,17	5,12	9,62	2,65	0,93	0,22

Os teores mais elevados de TiO₂ (> 3%) da maioria das amostras analisadas e a razão Ti/Y > 500 apontam para uma derivação associada a magmas basálticos toleíticos intraplaca de alto-Ti (Peate, 1997). Associando-se esses valores às razões Ba/Y e Sr/Y pode-se indicar que o Gabro Marcos da Costa apresenta similaridades com os tipos magmáticos a alto titânio Paranapanema e Urubici da Província Paraná-Etendeka (Peate, 1997). Basaltos desse tipo estão associados aos enxames de diques Serra do

Mar de direção NE-SW (Valente et al., 2007) e Transminas de direção NW-SE (Coelho & Chaves, 2016), ambos relacionados à Província Paraná-Etendeka. Um componente mantélico possivelmente representado pela pluma de Tristão da Cunha foi considerado para a geração desses corpos basálticos (Valente et al. 2007; Coelho & Chaves, 2016). Uma fonte profunda, também relacionada à pluma mantélica, foi apontada como a origem do magmatismo básico de alto titânio da Província de Emeishan no SW da China (Xiao et al., 2004) onde se encontram os depósitos de Fe-Ti-V de Panzhihua, Hongge, Baima, Taihe e Xinjie (Pang et al., 2010).

Quando comparado a alguns gabros mundiais (Tabela 9) possuidores de mineralizações econômicas de Fe-Ti-V, verifica-se que os valores de TiO₂ e V relacionados ao Gabro Marcos da Costa são próximos aos encontrados para esses corpos gabroides.

Tabela 9. Comparação entre os valores médios de TiO₂ (%) e V (ppm) dos gabros Marcos da Costa, Lídice e gabros relacionados a alguns importantes depósitos de Fe-Ti-V (dados de: Karkkainen & Bornhorst, 2003; Pang et al. 2010; Shellnutt et al., 2011; Sarapää et al., 2005; Abu El-Ela, 1996).

Gabro	TiO ₂	V
Marcos da Costa	3,35	438
Lídice	5,04	523
Koivusaarenneva (Finlândia)	4,4	549
Lumikangas (Finlândia)	5,56	560
Thaie (China)	1,93	291
Panzhihua Intrusion (China)	4	351
Abu Zawal (Egito)	3,66	592

A totalidade do vanádio concentra-se na magnetita podendo-se classificar esse mineral como uma magnetita vanadínifera, o termo de alta temperatura da solução sólida magnetita-ulvo espinélio (Buddington & Lindsley, 1964). Quimicamente, o conteúdo de cromo na rocha é baixo (30 ppm a 50 ppm), sendo possível que esse elemento esteja todo contido na magnetita.

A forma delineada para o Gabro Marcos da Costa, tanto por Junho et al. (1999), quanto por esse trabalho, corresponde ao de uma lente concordante com a foliação regional. A diferença que se pode estabelecer encontra-se nas dimensões do corpo, aqui consideradas como mais amplas (1,8 km² x 2,7 km²) e nas posições dos contatos entre esse corpo e as rochas encaixantes.

Para Junho et al. (1999) o fato do corpo ter esse formato lenticular e ser concordante com os ortognaisses encaixantes, sugeriria um posicionamento sin a tarditectônico em relação à principal fase de deformação na área. Por outro lado,

a disposição dos corpos gabroides Marcos da Costa, Lídice e Bairro do Marisco segundo o alinhamento NE-SW leva a se considerar a possibilidade desses corpos estarem, na verdade, relacionados com o magmatismo da Província Paraná-Etendeka e associados aos enxames de diques basálticos Serra do Mar e que seguem a mesma orientação. Situação análoga ocorre com o Gabro José Fernandes (~3 km² de área) de idade estimada em 134±0,16 Ma, que ocorre na região de Adrianópolis (Paraná), e que está temporalmente relacionado ao magmatismo mesozoico toleítico responsável pelos enxames de diques básicos presentes no Arco de Ponta Grossa (Almeida, 2016). Fica, portanto, em aberto, a possibilidade não só do corpo Marcos da Costa, bem como o Gabro de Lídice e o Gabro do Bairro do Marisco, terem idades do Cretáceo.

O Gabro Marcos da Costa corresponde a um corpo de aspecto homogêneo, isotrópico, sem que se possa observar com clareza, em escala de afloramento, a presença de texturas primárias como a orientação por fluxo ou cumuláticas. Acumulações de cristais só foram indicadas em corpos de melanogabros que se encontram fora da área de ocorrência do Gabro Marcos da Costa (Junho *et al.*, 1999). Entretanto, níveis (2 - 5 cm) e bandas (~20 cm) centimétricas com um maior conteúdo de minerais ferromagnéticos delineados a partir de medidas de SM, na parte N do Gabro Marcos da Costa, foram interpretados como uma possível presença de estratificação magmática no maciço. Nesses níveis e bandas os valores das leituras de SM são elevados chegando a até 89.4 x10⁻⁴ SI-emu. Em virtude dessa maior acumulação de minerais ferromagnéticos essa parte mais setentrional do corpo foi considerada como fazendo parte da porção mais basal da câmara magmática.

7. CONCLUSÃO

O Gabro Marcos da Costa corresponde a um corpo intraplaca, predominantemente básico, com caráter toleítico e um *trend* de enriquecimento em Fe. Quimicamente, seus conteúdos de Cr (30 ppm a 50 ppm) e Ni (< 20 ppm) são baixos em comparação aos esperados para rochas básicas, porém o V mostra um enriquecimento de 2 a 2,5 vezes ao padrão das rochas básicas.

Os minerais opacos ocorrem na rocha sob a forma de cristais anedrais e subedrais e são, principalmente, representados pela magnetita vanadinífera (teor de V₂O₅ de até 2,13%) que se apresenta com inclusões e exsoluções de ilmenita e pela ilmenita. A totalidade do vanádio está concentrada na magnetita, sendo o conteúdo em V₂O₅ da ilmenita inferior a 0,1 %.

Amostras de rochas retiradas da porção setentrional do maciço apresentam um maior conteúdo de magnetita vanadinífera que pode chegar

a até 22% em peso. Nessas amostras os ETR exibem diferenças significativas nos somatórios dos teores, que vão de um mínimo de 79 ppm até um máximo de 496 ppm. Seus padrões evidenciam um fracionamento em relação ao normalizado para o condrito, com empobrecimento dos ETRs pesados em relação aos leves. As variações nas medidas de susceptibilidade magnética e no teor de minerais ferromagnéticos das rochas do maciço pode representar um indicador da presença de níveis acamadados, mormente na porção N do corpo gabroide.

8. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar os nossos agradecimentos aos revisores da Revista Geonomos pelas críticas e sugestões apresentadas e ao Grupo de Pesquisa em Geotectônica (TEKTOS) da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pela cessão de viatura para as atividades de campo. R.M. Pereira e R. Neumann também agradecem as bolsas de pesquisas concedidas, respectivamente, pelo programa PROCÍNCIA da FAPERJ / UERJ e pelo CNPq.

9. REFERÊNCIAS

- Abu El-Ela, F. F. 1996. The petrology of the Abu Zawal gabbroic intrusion, Eastern Desert, Egypt: an example of an island-arc setting. *Journal of African Earth Science*, 22(2): 147-157.
- Almeida, J.C. H., Tupinambá, M., Heilbron, M., Trow, R. 1988. Geometric and kinematic analysis at the Central Tectonic Boundary of the Ribeira belt, Southeastern Brasil. In: SBG, Cong. Bras. Geologia, 39, Anais, p.32.
- Almeida, V.V. 2016. Petrologia do Gabro José Fernandes e sua relação temporal com o magmatismo mesozoico toleítico e alcalino no Arco de Ponta Grossa. Programa de Pós Graduação em Mineralogia e Petrologia. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 211 p.
- Buddington A.F. & Lindsley, D.H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, 5: 310-357.
- Coelho R. M. & Chaves A. de O. 2016. Petrografia e litoquímica de diques máficos mesozoicos e cambrianos (?) de Minas Gerais: comparações com basaltos da província Paraná-Etendeka e com diques da Suíte Fundão. *Geonomos*, 24 (1): 29-40.
- Hari, K. R.; N. V. Rao, C.; Swarnkar, V. 2011. Petrogenesis of Gabbro and Orthopyroxene Gabbro from the Phenai Mata Igneous Complex, Deccan Volcanic Province: Products of Concurrent Assimilation and Fractional Crystallization. *Journal Geological Society of India* 78: 501-509.
- Heilbron, M., Mohriak, W., Valeriano, C.M., Milani, E., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M. 2000. From collision to extension: the roots of the South-eastern continental margin of Brazil, In: Talwani, Mohriak (Eds.). *Atlantic Rifts and Continental Margin*, AGU, Geophysical Monograph Series, v. 115, 354 pp.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M., Silva, L. C., Trow, R., Janasi, V. A. 2004. Província Mantiqueira: In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R., BRITO NEVES, B.B., eds Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. [S.l.]: [S.n], v.11, p. 203-234.

- Irvine, T. N. & Baragar, W.R.A. 1971. A Guide to Chemical Classification of the Common Volcanic Rock. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Junho M. C., Mendes, J.C., Ludka, I. 1999. Gabro de Marcos da Costa, Município de Miguel Pereira (RJ): magmatismo toleítico a cálcio alcalino na Faixa Ribeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 29 (4): 613-620.
- Karkkainen, N. K. & Bornhorst, T.J. 2003. The Svecofennian gabbro-hosted Koivusaarenneva magmatic ilmenite deposit, Kalvia, Finland, *Mineralium Deposita*, 38: 169-184.
- Le Maitre, R. W. (Ed.). 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ludka, I. & Wiedemann, C.M. 1997. O gabro coronítico de Amparo, RJ - Petrografia, Química Mineral e Geotermometria. *Anuário do Instituto de Geociências UFRJ*, 20:143-162.
- McDonough, W.F. & Sun, S.S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.
- Mendes, J.C., Fonseca, M.J.G., Moura, J.C. 2011. Petrografia e Geoquímica de rochas metaltramáficas da região de Cambuci, Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências UFRJ*, 34(1): 22-32.
- Myashiro, A. 1974. Volcanic rocks series in island. Arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, v. 274, p. 321-355.
- Pang, K-N., Zhou M-F., Qi, L., Shellnutt, G., Wang, C. Y., Zhao, D. 2010. Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW China. *Lithos*, 119:123-136
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorp. R.S. ed. *Andesites: Orogenic Andesites and related rocks*. John Wiley and Sons, New York, 724 p.
- Pearce, J.A & Norry, M.J. 1979. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Miner. Petrol.*, 69: 33-47.
- Peate, D. 1997. The Parana-Etendeka Province. In: Mahoney, J.J., Con, M.F. (Eds.), *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*. Am. Geophys. Union Geophys. Monogr. 100, 217-246.
- Pereira R.M., Neumann, R., Salomão, M. 2015. Mineralização de Fe-Ti-V em gabro granulítico da região de Rio Claro, RJ. In: *Anais GEOSUDESTE 2015 (14º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE)*. Campos do Jordão, SP.
- Pereira, R. M., Salomão, M., Neumann, R., Guimarães, P., Pedroso, E. 2016. Fe-Ti-V Associado ao Gabro de Lídice, Estado do Rio de Janeiro. *Geonomos*, 24(1): 10-20.
- Pouchou, J.L., Pichoir, F. 1991. Quantitative analysis of homogeneous or stratified microvolumes applying the model "PAP", in: Heinrich, K.F.J., Newbury, D.E. (Eds.), *Electron Probe Quantitation*. Plenum Press, New York, pp. 31-75.
- Sarapää, O., Kärkkäinen N., Chernet, T., Lohva, J., Ahtola, T. 2005. Exploration Results and mineralogical studies on the Lumikangas apatite-ilmenite gabbro, Kauhajoki, western Finland. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 38:31-41.
- Shellnutt, J. G., Wang, K-L, Zellmer, G. F., Iizuka, Y., Jahn, B-M, Pang, K-N., Qi, L., Zhou, M-FU. 2011. Three Fe-Ti oxide ore-bearing gabbro-granitoid complexes in the Panxi region of the Permian Emeishan Large Igneous Province, SW China. *American Journal of Science*, 311: 773-812.
- Sun, S.S. & McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process, In: SAUNDERS, A.D.; NORRY, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, v, 42, p. 313-345.
- Valente, S. C., Corval, A., Duarte, B. P., Ellam, R. M., Fallick A. E., Meighan I. G., Dutra, T. 2007. Tectonic boundaries, crustal weakness zones and plume-subcontinental lithospheric mantle interactions in the Serra do Mar dyke swarm, SE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 37(1): 194-201.
- Xiao L., Xu, Y.G., Mei, H.J., Zheng, Y.F., He, B., Pirajno, F. 2004. Distinct mantle sources of low-Ti and high-Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: implications for plume-lithosphere interaction. *Earth and Planetary Science Letters*, 228 (3-4): 525-546.
- 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.