



P
ARA CONHECER
A TERRA
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS
DE GEOCIÊNCIAS
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Lopes, F. C., Andrade, A. I.,
Henriques, M. H., Quinta-Ferreira, M.,
Barata, M. T. & Pena dos Reis, R.
Coordenação

GNAISSSES ORTODERIVADOS PRÉ E SIN-COLISIONAIS:
PETROLOGIA, GEOQUÍMICA E AMBIENTE TECTÔNICO.
SEGMENTO CENTRAL DA FAIXA RIBEIRA
(RIO DE JANEIRO, BRAZIL)

PRE AND SIN COLLISIONAL GNEISSES: PETROLOGY,
GEOCHEMISTRY, AND TECTONIC SETTING.
CENTRAL SEGMENT OF RIBEIRA BELT
(RIO DE JANEIRO, BRAZIL)

R. Porto Jr.¹, B. P. Duarte², A. Esteves³ & J. G. Valença⁴

Resumo – As rochas gnáissicas ortoderivadas pré e sin-colisionais ocorrentes na cidade do Rio de Janeiro agrupam-se em plagioclásio gnaisses e microclina gnaisses. O conjunto, como um todo, é formado por rochas subcalcinas, de tendência cálcio-alcalina e caráter metaluminoso. A norma CIPW indica a presença de um segmento com baixos valores de coríndon normativo (rochas com SiO₂ entre 56,94 e 62,74% em peso) e de outro segmento que apresenta diopsídio, mas que não apresenta coríndon normativo (rochas com SiO₂ entre 65,56 e 70,92% em peso). A presença de hematita no primeiro segmento indica que essas rochas evoluíram num ambiente de alta fugacidade de oxigênio. A interpretação dos diagramas bivariantes foi realizada através da construção de curvas de regressão e pela obtenção de coeficientes de correlação. Tanto as correlações lineares quanto as polinomiais mostraram-se significantes, porém, com graus de significância melhores para correlações polinomiais. Portanto, os resultados obtidos pela regressão indicam que processos magmáticos geradores de padrões polinomiais, em diagramas bivariantes, como a cristalização fracionada, devem ser mais expressivos na história de evolução destas rochas. Padrões normalizados para os elementos terras raras confirmam a existência de dois segmentos distintos: um relacionado ao microclina-gnaisse que apresenta

¹ GEP, JV-PEQ, Departamento de Geociências, IA, UFRuralRJ, Km7 – BR 465 Seropédica, CEP: 23890-000, Brasil; rubempjr@gmail.com

² JV-PEQ, DGRG, Faculdade de Geologia, UERJ, R. São Francisco Xavier 524, Bloco A, 4º Andar. Maracanã – Rio de Janeiro. RJ. 20550-900, Brasil; biapasch@gmail.com

³ GEP – CNPq; andreesteves@gmail.com

⁴ “In memoriam”

razão $(La/Yb)_n$ mais elevada; e um segundo segmento, correspondente ao plagioclásio gnaiss, que apresenta padrão de fracionamento menos marcante, com razões $(La/Yb)_n$ mais baixas.

Palavras-chave – Geoquímica; Petrologia; Faixa Ribeira; Rochas Gnáissicas

Abstract – The pre and sin-collisional gneissic rocks occurring in the Rio de Janeiro city are grouped into the plagioclase gneisses and the microcline gneisses. The whole set is formed by sub-alkaline rocks, with a calc-alkaline metaluminous trend. The CIPW norm indicates the presence of a segment with low values of normative corundum (rocks with SiO_2 between 56.94 and 62.74 wt. %) and another segment that shows the absence of normative diopside and corundum (rocks with SiO_2 between 65.56 and 70.92 wt. %). The presence of normative hematite in the first segment indicates that these rocks evolved in an environment of high oxygen fugacity. The interpretation of binary diagrams, based on statistical analysis, was performed by building regression curves in order to obtain correlation coefficients. Both linear and polynomial correlations were significant, although the highest degrees of significance were obtained for polynomial correlations. Therefore, the results obtained by the regression indicate that magmatic processes that generate polynomial patterns in binary diagrams, such as the fractional crystallization, should be more expressive in the history of evolution of these rocks. Normalized REE patterns confirm the existence of two distinct segments: one related to microcline-rich rocks, which display higher fractionated $(La/Yb)_n$ patterns; and a second segment, related to the gneissic rocks with predominant plagioclase, that shows a less-fractionated pattern of $(La/Yb)_n$.

Keywords – Geochemistry; Petrology; Ribeira Belt; Gneissic rocks

1 – Introdução

As rochas aqui estudadas correspondem a parte do conjunto litológico do denominado “Arco da Guanabara” (PORTO Jr., 2004), unidade geotectônica inserida no contexto da Faixa Ribeira (Fig. 1). A área estudada está nos limites da Cidade do Rio de Janeiro.

2 – Geoquímica

A partir de um total de 12 amostras, os litotipos foram agrupados em plagioclásio gnaisses e microclina gnaisses (tabela 1). O conjunto de gnaisses ortoderivados corresponde a um agrupamento de rochas subalcalinas evoluídas ao longo de uma tendência cálcio-alcálica de caráter metaluminoso (A/CNK) (Fig. 2). A análise da norma CIPW aponta para dois segmentos distintos: um com valores baixos de coríndon e ausência de diopsídio normativos, que corresponde a rochas com SiO_2 no intervalo entre 56,94 e 62,94% em peso (plagioclásio gnaisses), e um outro segmento, com presença de diopsídio e ausência de coríndon normativo e que corresponde a rochas com SiO_2 no intervalo 65,56 a 70,92% em peso (microclina gnaisses). Os resultados da norma apontam ainda para a presença de hematita normativa para o primeiro segmento, e isso pode significar que essas rochas evoluíram num ambiente de alta fugacidade de oxigênio. O tratamento estatístico dos dados químicos referentes a elementos maiores, menores e traço (Tabelas 1 e 2)

do Rio de Janeiro, observamos uma variação bastante forte (quase 1,8 vezes), o que suporta a conclusão de que a totalidade dessas rochas, não deve ter evoluído a partir de um único processo ou, então, não evoluiu a partir de uma mesma fonte. Diagramas bivariantes do tipo *Harker* permitiram a individualização de dois segmentos distintos. Estes dois segmentos representam os plagioclásio-gnaisses e os microclina-gnaisses e poderíamos supor que esta distinção está associada a uma “linha de (des)mistura” que representa o processo de migmatização ao qual estas rochas foram submetidas. Neste caso, o plagioclásio-gnaissé poderia representar um estágio intermediário metatexitico e o microclina-gnaissé um estágio mais avançado (metatexitico[®] diatexitico), gerando um conjunto mais homogeneizado. Ao examinarmos o conjunto correspondente às rochas com menores teores de Zr (microclina gnaisses), observamos a existência de correlações positivas nos diagramas bivariantes TiO_2 versus Zr e Fe_2O_3 versus Zr (Fig. 3). Isso implica que as variações de Zr podem ser um importante indicativo de consumo da fase residual mais importante do sistema, qual seja, a biotita, principalmente se considerarmos que os zircões presentes na rocha mostram íntima associação com esta fase mineral, por vezes ocorrendo mesmo como inclusões em biotita. A partir da análise dos diagramas Rb versus Zr, Ti versus Zr, Fe^3 versus Zr e Mg versus Zr (Fig. 3), podemos concluir que nos estágios correspondentes a geração de líquidos anatéticos iniciais, quando ainda não se deu o consumo da biotita, há um possível enriquecimento no conteúdo de álcali-feldspato no líquido, já que o Rb tende a substituir o K na estrutura dos feldspatos. Logo, é esperado que o teor em Rb devesse começar a crescer com a precipitação de K-feldspato do líquido. Por fim, este conjunto de informações nos permite concluir que a curva de estabilidade da biotita foi alcançada durante a anatexia ao qual estas rochas foram submetidas. Somente a sua quebra explicaria o grande volume de Zr encontrado nestas rochas. A análise dos padrões normalizados obtida para os elementos terras raras (Fig. 4) permite, que o agrupamento inicial obtido para a totalidade das rochas gnáissicas possa ser subdividido nos mesmos dois segmentos que, petrográfica e quimicamente foram anteriormente caracterizados. O primeiro segmento corresponde ao plagioclásio gnaissé. Apresenta padrão de fracionamento não muito marcante, razões $(\text{La}/\text{Yb})_n$ relativamente baixas. Este segmento corresponde às rochas com ausência de coríndon normativo e, conseqüente, presença de diopsídio normativo. O conteúdo total de terras raras para esse grupo é pouco menor do que o segundo segmento, que é formado pelo microclina-gnaissé que apresenta razão $(\text{La}/\text{Yb})_n$ mais elevada (variando de 26,97 até 72,93). Neste grupo, a totalidade das amostras apresenta coríndon normativo. O padrão por elas apresentado aponta para um fracionamento em terras raras mais elevado, com relativo enriquecimento em terras raras leves e empobrecimento em terras raras pesadas, o que pode representar retenção de granada na fonte.

Em ambos os segmentos, algumas amostras apresentam anomalias negativas de Eu mais pronunciadas. Essas anomalias são correlacionadas com a presença de feldspatos (plagioclásio), que permanecem como resíduo por terem sido preservados durante o processo de fusão da fonte, mantendo-se em equilíbrio com o líquido. Outra distinção entre os dois segmentos é o fato de o segmento correspondente aos plagioclásio gnaisses serem menos fracionados, significando um relativo empobrecimento em terras raras leves em relação ao conteúdo de terras raras pesados. Tal fato relaciona-se com a presença de granada como fase mineral ocorrente nestas rochas, ainda que em volumes restritos (até 1% do volume). Aparentemente, para o caso das rochas pré-colisionais, pode-se

afirmar que o conteúdo das fases acessórias presentes no sistema está controlado, em sua essência, pela biotita, que as carrega como inclusões, e pela granada presente em volumes restritos. Assim, o conteúdo em terras raras é controlado pelo volume de biotita presente nos litotipos.

Tabela 1 – Gnaisses ortoderivados pré e sin-colisionais: elementos maiores (% em peso), elementos menores (em % peso ou ppm). PlGn = Plagioclásio Gnaisses. MiGn = Microclina Gnaisses.

Amostra		SiO ₂	TiO ₂ O ₂	Al ₂ O ₃ O ³	FeOO	Fe ₂ O ₃₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
<i>PFNS-1A</i>	PlGn	56,94	1,24	14,34	4,77	3,56	0,13	3,25	7,96	3,42	2,54	0,54	0,84	99,53
<i>PT-05A</i>	PlGn	59,96	1,10	16,29	3,72	3,45	0,23	2,05	5,56	4,04	1,45	0,29	1,39	99,53
<i>PT-5B</i>	PlGn	60,38	1,47	14,96	3,45	3,75	0,14	2,98	4,20	3,09	3,56	0,45	1,02	99,45
<i>PBG-7A</i>	PlGn	61,68	1,02	16,25	3,18	3,36	0,30	1,52	4,95	3,95	1,78	0,21	1,44	99,64
<i>PFEO-4A</i>	PlGn	62,14	1,23	16,09	3,54	3,78	0,16	1,67	4,21	3,98	2,02	0,13	0,88	99,83
<i>PT-04A</i>	PlGn	62,94	1,15	15,46	3,25	3,22	0,19	1,49	4,19	3,85	1,85	0,26	1,39	99,54
<i>PBG-5</i>	MiGn	65,56	0,75	15,45	1,20	4,21	0,12	1,74	3,15	4,24	1,99	0,19	0,44	99,04
<i>PT-03</i>	MiGn	67,34	0,53	15,35	1,00	3,67	0,09	0,88	3,70	3,88	1,91	0,14	1,29	99,78
<i>Q-15</i>	MiGn	68,77	0,50	15,09	1,10	3,16	0,08	1,06	2,90	3,34	3,23	0,16	0,14	99,53
<i>PBG-6</i>	MiGn	69,87	0,45	14,57	0,80	3,19	0,07	0,71	3,11	3,44	2,68	0,13	0,38	99,40
<i>PBG-3</i>	MiGn	70,01	0,55	14,77	0,96	3,00	0,11	1,51	3,11	4,19	1,65	0,16	0,19	100,20
<i>PFEO-3A</i>	MiGn	70,65	0,34	14,68	0,90	2,11	0,04	0,87	2,74	3,35	3,66	0,14	0,15	99,63
<i>PT-01</i>	MiGn	70,92	0,51	13,96	0,60	2,83	0,03	0,70	1,96	3,24	4,48	0,15	0,54	99,92

Tabela 1a – Gnaisses ortoderivados pré e sin-colisionais: elementos menores (em partes por milhão-ppm) e razões petroquímicas. PlGn = Plagioclásio Gnaisses. MiGn = Microclina Gnaisses.

Amostra		Rb	Ba	Sr	Nb	Zr	Y	Hf	Ta	Zr/Hf
<i>PFNS-1A</i>	PlGn	165	943	420	25	280	45	16,8	2,5	24,1
<i>PT-05A</i>	PlGn	154	958	387	21	235	31	12,5	1,6	29,1
<i>PT-5B</i>	PlGn	232	1890	430	24	408	43	13,5	1,9	30,2
<i>PBG-7A</i>	PlGn	189	1235	258	15	389	26	11,4	1,6	34,1
<i>PFEO-4A</i>	PlGn	186	1123	267	12	378	34	9,6	2,5	39,4
<i>PT-04A</i>	PlGn	172	1396	302	13	321	21	12,4	1,9	25,9
<i>PBG-5</i>	MiGn	156	816	285	13	225	37	5,9	1,3	38,5
<i>PT-03</i>	MiGn	85	3763	323	10	250	18	8,5	0,9	41,3
<i>Q-15</i>	MiGn	136	479	139	17	201	26	5,9	1,1	33,8
<i>PBG-6</i>	MiGn	115	2851	268	8	249	17	8,2	0,5	42,7
<i>PBG-3</i>	MiGn	136	660	302	12	121	16	3,2	0,8	37,7
<i>PFEO-3A</i>	MiGn	143	996	355	9	120	25	3,5	0,5	34,4
<i>PT-01</i>	MiGn	122	649	192	14	174	14	5,1	0,7	34,1

Tabela 1b – Gnaisses ortoderivados pré e sin-colisionais: elementos terras raras (em partes por milhão-ppm).

PIGn = Plagioclásio Gnaisses. MiGn = Microclina Gnaisses.

294

Amostra		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
<i>PFNS-1A</i>	PIGn	27,8	58,4	7,45	32,9	6,9	2,5	5,8	1,1	4,8	1,1	3,3	0,22	2,2	0,36
<i>PT-05^a</i>	PIGn	26,2	57,2	8,20	31,8	6,5	2,4	6,2	1,2	5,6	1,2	3,0	0,45	2,5	0,36
<i>PT-5B</i>	PIGn	30,5	68,9	8,78	34,2	6,0	2,4	4,9	1,1	4,8	1,1	3,0	0,42	3,1	0,31
<i>PBG-7^a</i>	PIGn	35,2	65,2	8,54	31,2	6,4	2,2	5,0	0,9	5,2	1,0	3,5	0,44	2,8	0,34
<i>PFEO-4A</i>	PIGn	36,8	67,9	7,80	32,1	6,1	2,0	4,3	1,1	4,7	0,9	3,1	0,36	2,4	0,31
<i>PT-04^a</i>	PIGn	38,2	75,2	8,23	33,5	5,8	1,9	4,2	1,0	4,2	0,8	3,2	0,32	2,5	0,29
<i>PBG-5</i>	MiGn	29,3	59,0	7,51	30,2	6,8	1,3	6,9	1,1	6,6	1,3	3,9	0,55	3,5	0,48
<i>PT-03</i>	MiGn	50,3	90,6	10,2	35,5	5,7	2,5	4,7	0,7	3,6	0,7	2,0	0,25	1,8	0,27
<i>Q-15</i>	MiGn	49,9	98,2	11,9	44,1	8,9	1,21	8,1	1,2	5,5	0,9	2,4	0,29	1,6	0,22
<i>PBG-6</i>	MiGn	64,6	113,0	12,2	41,0	6,5	1,86	5,3	0,7	3,6	0,7	1,8	0,22	1,5	0,22
<i>PBG-3</i>	MiGn	27,4	32,5	3,76	14,0	2,8	0,83	2,9	0,5	2,7	0,6	1,6	0,23	1,5	0,21
<i>PFEO-3A</i>	MiGn	33,8	66,1	7,86	28,7	5,3	1,17	4,8	0,7	4,1	0,8	2,5	0,32	1,0	0,29
<i>PT-01</i>	MiGn	41,4	77,5	8,97	32,0	5,5	1,13	4,7	0,6	3,0	0,5	1,3	0,16	0,8	0,13

Tabela 1c – Gnaisses ortoderivados pré e sin-colisionais: coeficientes de correlação.

Óxidos / Elementos	Coefficiente de correlação Linear	Grau de significância	Coefficiente de correlação Polinomial	Grau de significância
TiO ₂	0,9153	>99,0%	0,9751	>99,9%
Al ₂ O ₃	0,2322	<80,0%	0,4224	<80,0%
Fe ₂ O ₃	0,9219	>99,0%	0,9932	>99,9%
FeO	0,7879	95 – 99%	0,9087	99-99,9%
MgO	0,9299	>99,0%	0,9467	99-99,9%
CaO	0,7178	>99,0%	0,8928	99-99,9%
Na ₂ O	0,2240	<80,0%	0,3380	<80,0%
K ₂ O	0,0046	<80,0%	0,2066	<80,0%
P ₂ O ₅	0,8749	95 – 99%	0,9076	99-99,9%
Rb	0,3929	<80,0%	0,3966	<80,0%
Sr	0,8104	90-95%	0,8599	95-99%
Hf	0,4099	<80,0%	0,8759	99-99,9%
Y	0,0075	<80,0%	0,6545	95 -99%
Zr	0,5863	80-90,0%	0,5971	80-90%
Ta	0,0310	<80,0%	0,1292	<80,0%
Nb	0,6140	80-90,0%	0,8750	99-99,9%

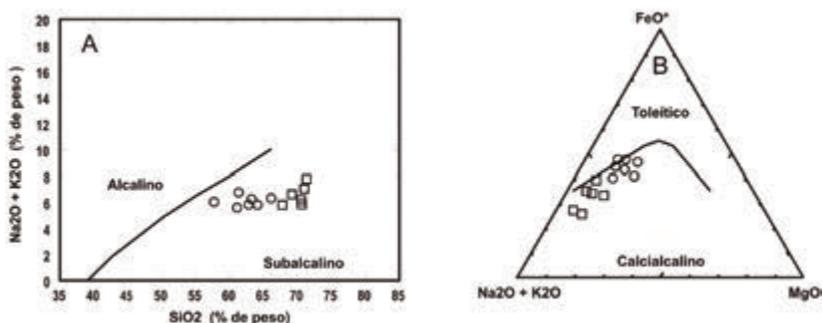


Fig. 2 – Diagramas A) TAS e B) AFM (IRVINE & BARAGAR, 1971) aplicados às rochas estudadas.

○ → plagioclásio-gnaisse; □ → microclina-gnaisse. FeO*=Ferro Total.

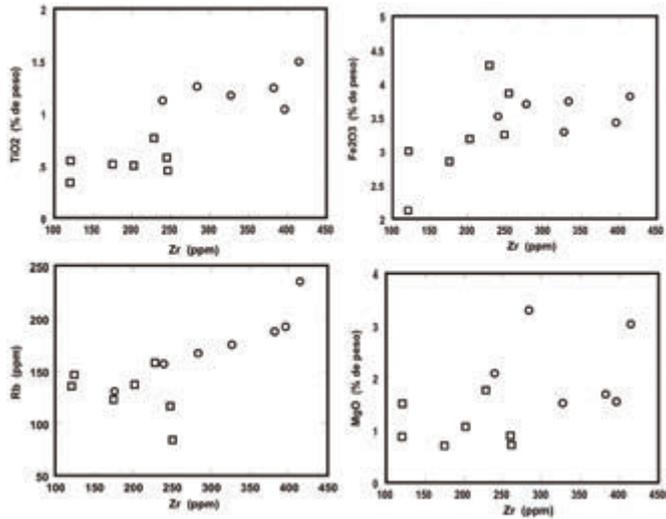


Fig. 3 – Diagramas Ti *versus* Zr, Fe³⁺ *versus* Zr, Rb *versus* Zr e Mg *versus* Zr.
 ○ → plagioclásio-gnaisses, □ → microclina-gnaisses.

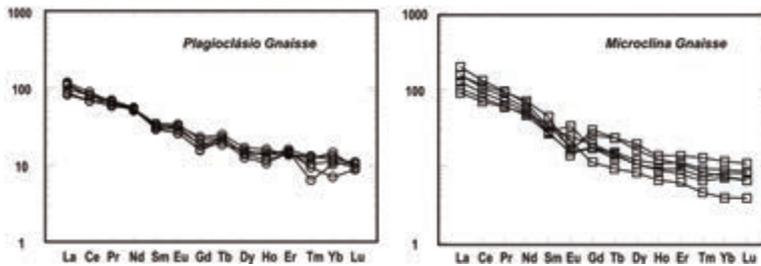


Fig. 4 – Diagramas de elementos terras raras normalizados para o condrito (EVENSEN *et al.*, 1978) para as rochas estudadas.

Diagramas geoquímicos de discriminação do ambiente tectônico reafirmam os dados de campo. Os plagioclásio-gnaisses concentram-se em campos de rochas pré-colisionais e intraplacas, enquanto os microclina-gnaisses são francamente sin-colisionais. Essas características apontam para processos de evolução distintos, devendo os plagioclásio-gnaisses evoluírem a partir de fracionamento de rochas infracrustais e/ou mantélicas, enquanto os microclina-gnaisses têm sua evolução associada a processos em que o componente crustal é maior. A interpretação dos diagramas binários (PEARCE *et al.*, 1984) retrata a realidade da observação de campo. Os plagioclásio-gnaisses correspondem a rochas do tipo WPG (granitóides intraplaca) e os microclina-gnaisses variam do campo dos WPG até oVAG (granitóides de arco) (Fig. 5). PEARCE *et al.* (1984) subdividem os granitóides do tipo WPG em três tipos distintos: 1) introduzidos em crosta continental de espessura normal; 2) introduzidos em crosta continental atenuada e 3) introduzidos em crosta continental oceânica. No caso estudado, a similaridade se dá com os granitóides do tipo 2, que são

os tipos cálcio-alcálicos e metaluminosos. Os granitóides do tipo VAG são, por sua vez, subdivididos em dois tipos: 1) gerados em crosta continental e 2) gerados em crosta oceânica. A estes ambientes, três tipos de granitóides são associados. Os aqui estudados se enquadram naqueles gerados em arcos cálcio-alcálicos continentais ou oceânicos, que apresentam variação petrográfica pelos tipos quartzo-diorito-tonalito-granodiorito e que apresentam hornblenda e biotita na moda da rocha.

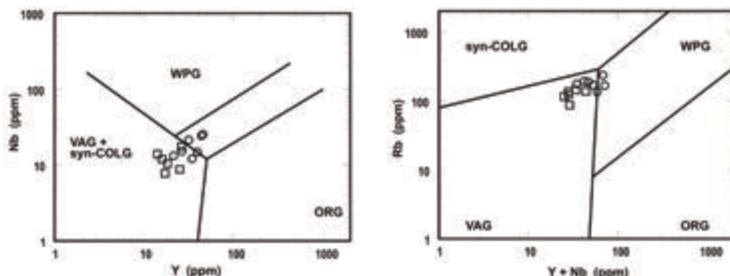


Fig. 5 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos (PEARCE *et al.*, 1984).

○ → plagioclásio-gabrisse; □ → microclina-gabrisse

O diagrama R1-R2 (BATCHELOR & BOWDEN, 1985), representado nas Figuras 6a e 6b, faz uso de parâmetros multicatiônicos. No caso estudado, a variação apresentada pelas rochas estudadas se situa ao longo da linha A-PM definida no diagrama. Esse vetor indica que uma fusão extensiva de uma fonte crustal félsica não serve para explicar a tendência obtida para a série. Logo, materiais de características refratárias (biotita, hornblenda, piroxênio e granada) devem ter participado do processo de evolução destas rochas. Quanto à definição de eventuais fontes para sistemas com estas características, BATCHELOR & BOWDEN (1985) sugerem que fracionamento extensivo de uma associação de clinopiroxênio + olivina + plagioclásio cálcico a partir de basalto parental “*High Alumina*” poderia produzir líquidos representantes de composições iniciais desta série. Durante o ciclo orogênico, este material se misturaria com fusões parciais mais félsicas geradas em ambiente francamente crustal a partir de fontes crustais, surgindo então líquidos de composições intermediárias que, submetidos a processos de cristalização fracionada, poderiam gerar os termos da série.

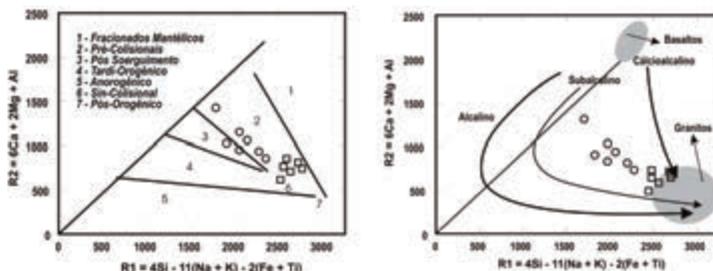


Fig. 6A e 6B – Diagrama R1-R2 de La ROCHE *et al.* (1980), com os campos tectono-magmáticos de (BATCHELOR & BOWDEN, 1985) aplicado às rochas estudadas.

Referências Bibliográficas

- BATCHELOR, R. A. & BOWDEN, P. (1985) – Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48, p. 43-55.
- EVENSEN, N. M., Hamilton, P. J. & O-nions, R. K. (1978) – Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geoch. and Cosmoch. Acta*, 42, p. 1199-1212.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. (1971) – A Guide to chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, p. 523-548.
- LA ROCHE, M., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. (1980) – A classification of volcanic rocks using R1 R2 diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemi. Geol.*, 29, p. 183-250
- PEARCE, J. A, HARRIS, N. B. W. & TINDLE, A. G. (1984) – Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *J. Petrol.*, 25, p. 956-983.
- PORTO Jr., R. (2004) – Petrogênese das rochas do Complexo Granítico Pedra Branca, Tese de Doutorado. IG/UFRJ, 243 p.