6 LITOGEOQUIMICA PRELIMINAR DAS ROCHAS DAS UNIDADES BINGEN E SANTO ALEIXO

6.1 **Condições Analíticas**

Foram selecionadas 17 amostras de rocha para a análise química, sendo estas as mesmas selecionadas para confecção dos tabletes, e dentre as quais: 14 pertencentes a unidade Bingen, 1 pertencente a unidade Santo Aleixo, e 3 pertencentes a unidade Canaã (tabelas 9 e 9).

As análises foram realizadas no Activation Laboratories (ACTLABS), em Ancaster, Ontário – Canadá, através do método FUS-ICP, para elementos maiores e traços, incluindo os elementos terras raras (ETR). Uma breve descrição do método encontra-se no Apêndice B.

Para controle analítico, foi analisada a porcentagem total dos óxidos que ficou entre 98,55 e 100,8%. Para o tratamento dos dados optou-se por trabalhar as amostras em base anidra. Esse procedimento não altera os resultados relativos e permite a análise comparativa entre as amostras com diferentes teores de composição de voláteis (ver método analítico no apêndice B). Os dados geoquímicos obtidos incluem:

a) Elementos maiores – SiO2, TiO2, Al2O3, Fe2O3t, MnO, MgO, CaO, Na2O, K2O, P2O5 e LOI (*loss on ignition* – perda ao fogo).

b) Elementos traços incompatíveis que incluem, dentre outros elementos, os seguintes elementos de amplo uso petrológico – Ba, Rb, Sr, U, Zr, Yr e Nb, Th, Hf e Ta.

c) Elementos terras raras (ETR) – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu.

Neste trabalho, os elementos maiores foram expressos sob a forma de percentagem de peso (%), enquanto os elementos traços foram expressos sob a forma de partes por milhão (ppm). A geração dos diagramas geoquímicos foi realizada fundamentalmente com a utilização dos programas de computador NewPet e Geochemical Data Toolkit (GCDkit), adequados a discriminações de séries e classificações de rochas. O teor de ferro das amostras estudadas foi analisado e expresso sob a forma de ferro total, férrico (Fe_2O_3t).

Tabela 8 - Relação das amostras selecionadas para análise geoquimica

Bingen				Santo Aleixo	Canaã
BG-02	BG-15	BG-25a	BG-49	BG-48	BG-35b
BG-08a	BG-16b	BG-34a			BG-56
BG-10	BG-17a	BG-61			BG-43
BG-14	BG-22	BG-72			

Fonte: O autor, 2011.

Tabela 9 - Composições modais baseadas em petrografia das amostras selecionadas para análise quimica

Unidade Litológica	Lâmina	Constituintes							Minerais Acessorios							
		Qtz/ Foid	Micr	Plg	Ort	Bt	Hbl	Cpx	Ap	Zir	Tit	All	Op	Cl	Mic br.	Cb
Bingen	BG-02	25	14	25	14	20			X	X			X			
Bingen	BG-08a	35	10	10	5	30			X	X	X		X			
Bingen	BG-10	35	3	27	7	27				X						
Bingen	BG-14	20	25	25		25			X	X				X	X	
Bingen	BG-15	20	10	20	30	20			X	X				X	X	
Bingen	BG-16d	28	10	25		25								X		X
Bingen	BG-17a	25	15	25	15	20										X
Bingen	BG-22	33	20	30	5	10			X			X				
Bingen	BG-25a	35	30	15	5	10			X	X				X	X	X
Canaã	BG-35b	15	35	35		8				X	X	X	X		X	
Canaã	BG-43	30	35	20		7							X			X
Santo Aleixo	BG-48	25		35	10	3	5	20			X					
Bingen	BG-49	30	30	25		12			X	X	X	X	X	X	X	X
Bingen	BG-34a	40	25	17	5	12			X	X	X			X	X	X
Canaã	BG-56	25	35	35	2	2				X		X	X		X	X
Bingen	BG-61	25	30	25		10			X	X			X			X
Bingen	BG-72	35	35	20		5	5		X	X				X		

Fonte: O autor, 2011.

Os dados das analises geoquímicas recebidos do laboratório encontram-se na seção a seguir, tabelas 10 e 11, e a partir deles foram realizados os tratamentos quantitativos e qualitativos, com base em critérios estatísticos e petrogenéticos, encontrados na seção de caracterização.

6.2 **Resultados das análises**

Tabela 10 - Composições químicas de elementos maiores (%) e menores (ppm) (continua)

	Canaã			Santo Aleixo	Bingen			
Elemento	BG-43	BG-56	BG-35B	BG-48	BG-08A	BG-14	BG-17	BG-22
SiO2	56,48	56,66	58,3	60,48	63,78	66,75	67,07	68,61
TiO2	0,159	0,016	0,015	0,598	0,73	0,761	0,86	0,651
Al2O3	22,28	23,69	23,06	14,57	16,42	14,79	14,84	14,75
Fe2O3(T)	3,96	3,51	3,56	6,18	4,65	4,05	4,48	3,61
MnO	0,128	0,162	0,188	0,246	0,094	0,07	0,073	0,063
MgO	0,08	< 0.01	0,02	1,84	1,76	0,92	1,04	0,76
CaO	1,22	0,69	0,61	4,48	3,71	3,49	3,23	2,49
Na2O	8,48	10,31	9,43	6,42	4,1	2,97	2,76	2,77
K2O	6,44	4,26	4,92	2,96	2,29	3,31	4,07	4,77
P2O5	0,03	0,03	0,02	0,15	0,23	0,28	0,31	0,18
LOI	1,52	1,19	0,51	0,98	0,77	0,48	0,51	0,53
Total	100,8	100,5	100,6	98,89	98,55	97,88	99,24	99,18
Rb	151	115	179	101	131	120	137	132
Sr	96	6	8	184	426	280	290	270
Ba	68	< 3	5	441	513	901	1336	1119
Y	4	5	3	89	22	29	19	14
Zr	87	113	210	146	215	291	324	195
Hf	1,4	2,8	5,4	5,1	6,9	9,4	9,8	6,7
Nb	70	16	48	38	17	22	20	15
Ta	5	0,6	3,8	1,8	1,8	2,2	2,3	1,1
Th	0,3	33,8	8,1	34,4	11,4	13,5	14,6	10,3
U	0,1	0,2	0,2	2,8	2	2,3	2	0,9
Sc	1	2	< 1	15	10	7	8	7
Be	1	2	2	11	4	3	3	2
V	7	8	< 5	90	70	35	40	33
Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	8	13	16	23	30	27	38	36
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	< 10	< 10	< 10	< 10	20	< 10	< 10	< 10
Zn	40	40	50	120	90	30	70	80
Ga	20	27	24	22	24	18	18	20
Ge	1	1	1	2	2	2	1	1
As	< 5	7	< 5	37	< 5	9	< 5	< 5
Mo	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Ag	2,6	< 0.5	< 0.5	0,8	1	0,6	0,7	< 0.5
In	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sn	< 1	4	4	9	5	1	2	< 1
Sb	< 0.5	< 0.5	4,4	< 0.5	< 0.5	1	< 0.5	< 0.5
Cs	0,8	0,7	1,2	1	7,4	2,8	4,3	2,4
W	82	139	169	131	232	387	559	359
Tl	0,2	0,5	0,5	0,5	1,1	0,5	1,5	1,2
Pb	< 5	< 5	9	8	15	< 5	19	19
Bi	< 0.4	< 0.4	7,4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.4

Legenda: Ordenadas em valores crescentes em SiO2.
Fonte: O autor, 2011.

Tabela 10 - Composições químicas de elementos maiores (%) e menores (ppm) (conclusão)

	Bingen							
Elemento	BG-16B	BG-72	BG-49	BG-61	BG-15	BG-25	BG-34A	BG-10
SiO2	69	69,37	69,92	70,58	71,06	72,26	71,23	72,64
TiO2	0,687	0,555	0,497	0,568	0,652	0,428	0,529	0,553
Al2O3	14,41	14,17	14,46	13,85	14,36	13,63	14,28	13,84
Fe2O3(T)	3,75	3,2	2,75	3,05	3,7	2,44	2,66	3,38
MnO	0,075	0,086	0,029	0,047	0,049	0,035	0,042	0,051
MgO	0,82	0,66	0,58	0,61	0,79	0,53	0,54	0,72
CaO	2,99	2,55	1,63	2,33	3,15	2,48	2,35	2,99
Na2O	2,66	3,89	3,47	2,59	2,91	2,87	2,81	3,1
K2O	3,97	4,18	5,94	4,89	3,27	3,67	4,7	2,93
P2O5	0,23	0,17	0,14	0,19	0,19	0,14	0,16	0,19
LOI	0,48	0,17	0,95	0,65	0,63	0,61	0,92	0,12
Total	99,07	98,98	100,4	99,35	100,8	99,1	100,2	100,5
Rb	121	111	406	149	192	107	133	105
Sr	296	249	270	193	249	253	261	280
Ba	1139	1271	1448	984	780	813	1133	853
Y	17	27	12	18	15	20	18	16
Zr	244	291	454	272	228	165	228	215
Hf	7,9	8,8	13,8	8,5	7,3	6	7,3	6,9
Nb	14	49	26	14	18	13	13	26
Ta	1,2	4,3	2,9	0,8	1,9	1,8	2,7	3,6
Th	13,6	15,2	94,1	18,3	11,5	8,4	12	10,3
U	1,5	2,5	4,9	2,6	1,4	2,1	2,5	1,2
Sc	7	6	3	4	6	5	5	4
Be	2	4	3	2	2	2	2	3
V	34	26	21	24	31	19	22	27
Cr	< 20	< 20	280	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Co	33	22	29	15	27	32	30	21
Ni	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Cu	< 10	< 10	< 10	20	< 10	< 10	10	< 10
Zn	70	< 30	50	30	70	50	40	30
Ga	21	17	28	17	22	19	17	16
Ge	2	2	1	2	2	2	1	2
As	8	8	< 5	< 5	< 5	13	< 5	< 5
Mo	< 2	7	< 2	< 2	14	< 2	4	< 2
Ag	< 0.5	0,6	< 0.5	2,4	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0,6
In	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Sn	1	3	3	3	< 1	< 1	< 1	2
Sb	< 0.5	0,7	1,2	< 0.5	3,8	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Cs	1,3	1	1,4	2,3	2,1	1,5	1,6	2,2
W	312	281	295	210	262	350	325	289
Tl	0,9	0,3	1,2	0,8	0,8	0,9	0,6	0,5
Pb	15	< 5	19	< 5	30	15	9	< 5
Bi	< 0.4	< 0.4	5,8	< 0.4	6,6	< 0.4	< 0.4	< 0.4

Legenda: Ordenadas em valores crescentes em SiO2.
Fonte: O autor, 2011.

Tabela 11 - Composições químicas de elementos maiores (%) e menores (ppm)

Elemento	BG-43	BG-56	BG-35B	BG-48	BG-08A	BG-14	BG-17	BG-22
La	19,4	388	93,8	401	53,6	81,2	98,5	45,7
Ce	33,5	650	162	271	100	168	207	92,2
Pr	3	54,4	15,8	51,1	10,3	18,5	22,8	9,8
Nd	8,5	116	35,8	152	34,3	60,3	72,1	36,4
Sm	1,5	14,5	4,6	26,5	6,8	11,9	13,5	7,8
Eu	0,5	1,3	0,7	3,7	1,3	1,8	1,9	1,6
Gd	1,1	4,2	1,3	23,4	5	9	9	6,1
Tb	0,2	0,5	0,2	3,2	0,7	1,4	1,2	0,8
Dy	1	2,5	1,2	16,6	3,8	7,1	5,6	3,6
Ho	0,2	0,4	0,2	3,2	0,8	1,2	0,9	0,6
Er	0,6	0,8	0,6	9,8	2,3	2,9	2	1,4
Tm	0,1	0,1	0,1	1,5	0,4	0,4	0,2	0,2
Yb	0,7	0,7	0,6	8,9	2,2	2,3	1,3	1
Lu	0,1	0,1	0,1	1,3	0,3	0,3	0,2	0,1

Elemento	BG-16B	BG-72	BG-49	BG-61	BG-15	BG-25	BG-34A	BG-10
La	68,8	58,5	260	82,3	52,5	34,4	51,7	57
Ce	133	121	485	174	109	68	101	113
Pr	14,5	13,6	52,9	19,1	13,6	7,3	11	12,4
Nd	52,5	46	129	63	47,4	28,1	40,3	41,8
Sm	10,8	9,4	19	11,2	9,6	6,3	8,7	8,4
Eu	1,8	1,6	2,1	1,3	1,6	1,4	1,6	1,3
Gd	7,9	7,3	5,6	7,5	6,5	5,2	6,8	6,3
Tb	0,9	1,1	0,6	1	0,8	0,7	0,9	1
Dy	4,1	6,2	2,6	4,7	4	3,8	4	4,8
Ho	0,7	1	0,4	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
Er	1,7	2,6	1	1,7	1,6	1,9	1,7	1,7
Tm	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Yb	1,1	2	0,8	1,1	1,1	1,5	1,4	1
Lu	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1

Legenda: Ordenadas em valores crescentes em SiO2.

Fonte: O autor, 2011.

6.3 **Caracterização Geoquimica**

De forma a complementar este trabalho, visto que não obtivemos no mesmo, como será mostrado mais a frente, análises químicas utilizáveis para amostras da unidade Santo Aleixo, as análises químicas obtidas são apresentadas juntamente as amostras de ortognaisses da área de Santo Aleixo analisadas por Dias (2008), apresentadas sob a forma de campos composicionais. Estes campos foram separados, segundo a divisão adotada pela autora, em biotita-gnaisses homogêneos (em amarelo) e bandados (em preto) que, neste trabalho, são correlacionados respectivamente às unidades Bingen e Santo Aleixo.

Ainda para efeito de comparação, os resultados obtidos neste trabalho são também representados juntamente com dados geoquímicos provenientes de outras suítes magmáticas de caráter pré, sin e pós colisional presentes nas proximidades da área de estudo, já descritas anteriormente na literatura. São elas:

a) Gabros, Tonalitos e Dioritos do Arco Rio Negro
b) Batólito Serra dos Órgãos
c) Leucogranitos do Arco Rio Negro
d) Granitos Pós-colisionais

Onde os primeiros (a) (b) e (c), são provenientes da tese de doutorado de Tupinambá (1999), enquanto os últimos (d) constituem-se em uma compilação da literatura, dos dados de vários granitos pós-tectônicos descritos no estado do Rio de Janeiro, figurando entre eles os Granitos: Mangaratiba, Conceição de Jacareí, Favela, Pedra Branca, Parati, São Pedro, São José do Ribeirão, Nova Friburgo, Frades ,Teresópolis e Rio de Janeiro compilados respectivamente dos trabalhos de:

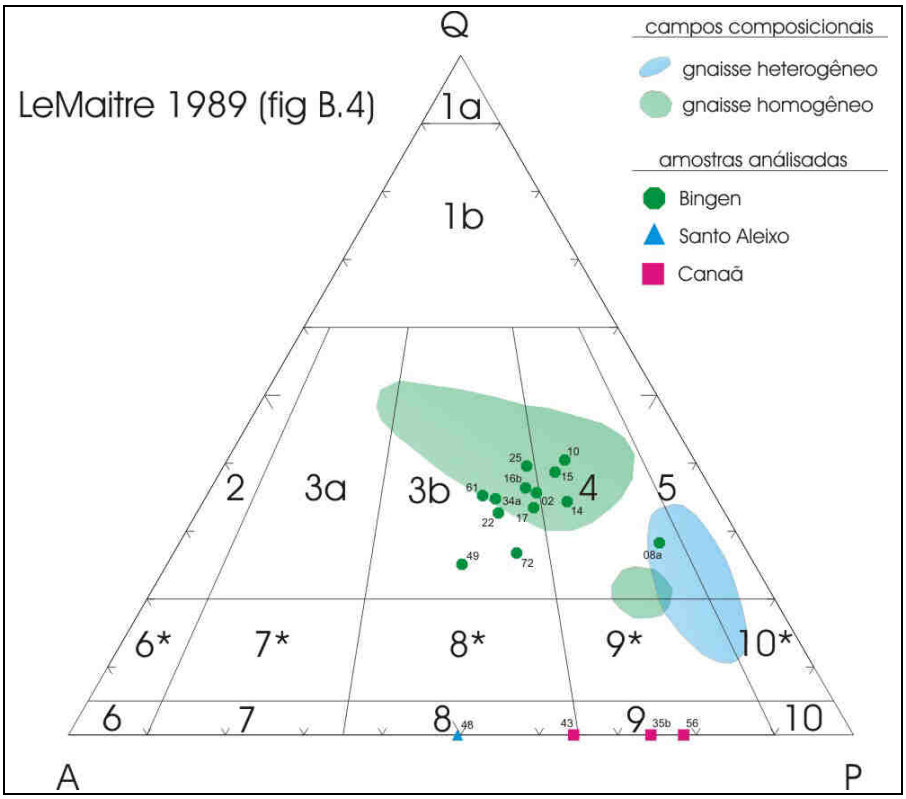
a) Porto Jr (2004), para os granitos Pedra Branca e Favela;
b) Mendes et al. (2002) para o granito São José do Ribeirão;
c) Chaves (2009) para o granito São Pedro;
d) Guimarães (1999) para os granitos Mangaratiba e Conceição de Jacareí;
e) Ludka et al. (2006) para o granito Parati;
f) Junho (1991) para os granitos Nova Friburgo e Frades;
g) Junho (1992 & 1993) para os granitos Teresópolis e Rio de Janeiro.

6.3.1 Classificação litológica das amostras

Para a classificação das amostras analizadas, foram utilizados os diagramas classificatórios Q-A-P (Le Maitre, 1989, fig. 24) e Ab-An-Or (O'Connor, 1965; fig. 25) ambos normativos, e também no diagrama R1-R2 de La Roche et al., (1980); fig. 26) que utiliza quase a totalidade dos maior de elementos maiores para as classificações.

Os resultados dos diagramas classificatórios para a Unidade Bingen são bem coerentes entre si, com todos os diagramas indicado composições granodioríticas a graniticas para esta unidade. Em comparação com os dados de Dias (2008), nota-se que as amostras da Unidade Bingen coincidem satisfatoriamente com aquelas do gnaisse homogêneo, enquanto a amostra da unidade Santo Aleixo (BG-48) não apresenta coincidência com os gnaisses bandados de Dias (2008), os quais apresentam uma composição mais tonalitica.

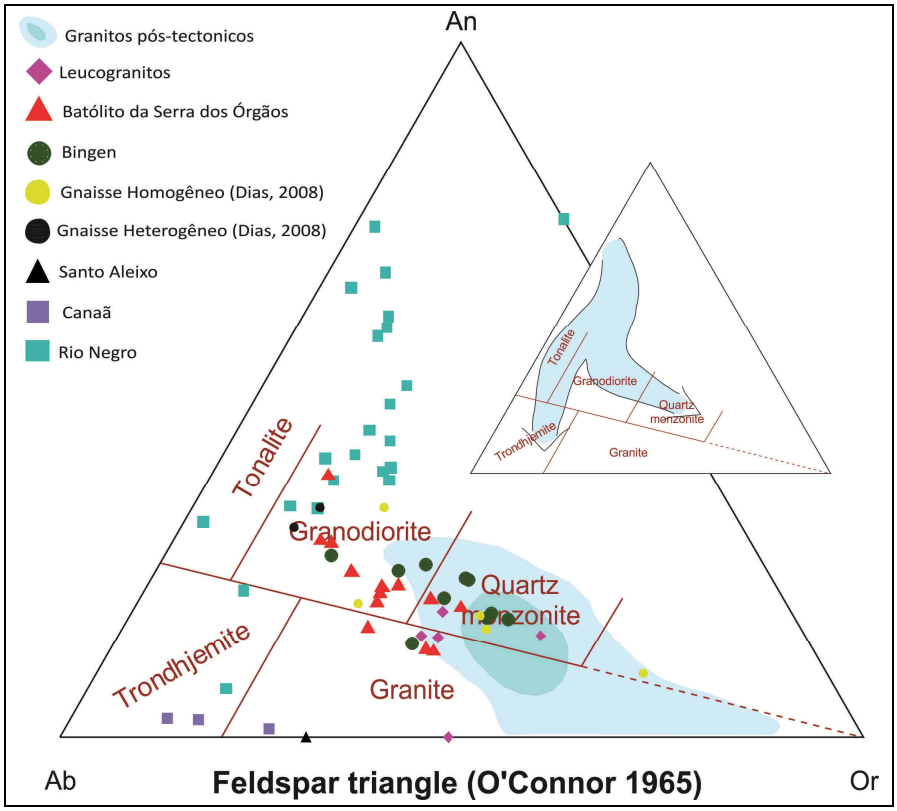
Figura 24 – Diagrama QAP normativo de LeMaitre 1989



Legenda: 1a Quartzolito; 1b Granito rico em quartzo; 2 Alcalifelspato granito; 3a granito/sienogranito; 3b monzogranito; 4 granodiorito; 5 tonalito; 6* alcali quartzo sienito; 6 alcali sienito; 7* quartzo sienito; 7 sienito; 8* quartzo monzonito; 8 monzonito; 9* quartzo monzodiorito; 9 monzodiorito; 10* quartzo diorito/ quartzo gabro; 10 - diorito/ gabro/ anothosito.

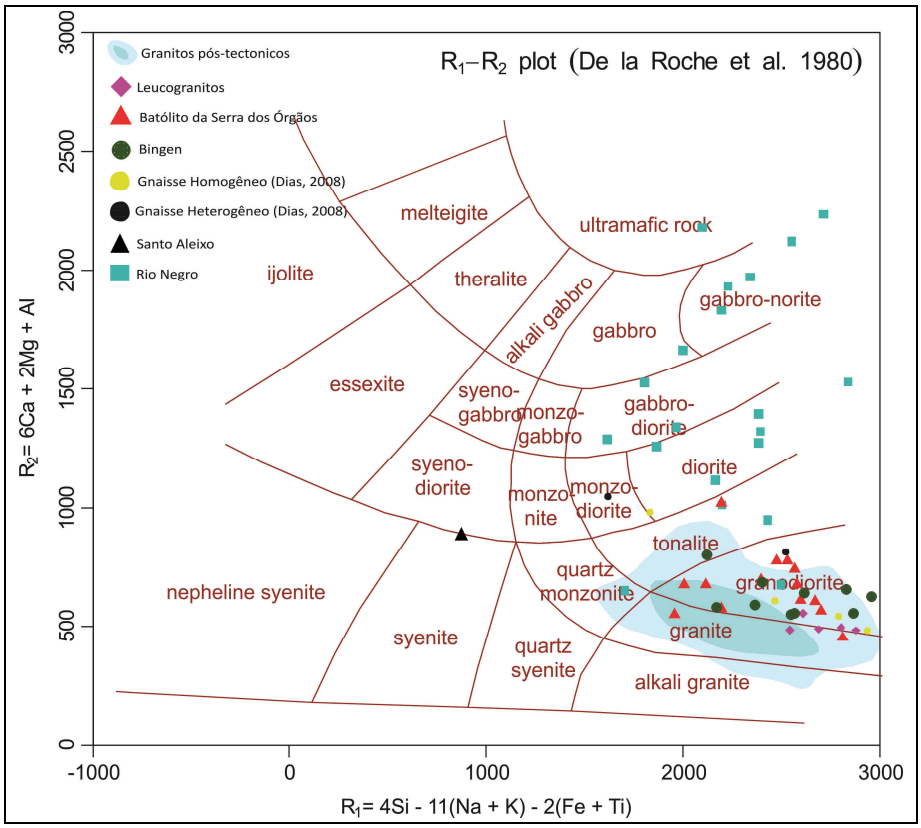
Fonte: O autor, 2011.

Figura 25 – Diagrama classificatório do Kosinowski, (1981)



Fonte: O autor, 2011.

Figura 26 – Diagrama classificatório R1-R2 (La Roche et al., 1980)



Fonte: O autor, 2011.

A amostra BG-48, classificada com base em critérios de campo como Unidade Santo Aleixo, demonstra uma clara tendência a alcalinidade, plotando no campo dos sienitos nos diagramas de Le Maitre 1989, (fig. 24) e R1-R2 (De La Roche et al., 1980; fig 26), demonstrando assim um comportamento mais similar às amostras da Unidade Canaã. Interpreta-se este fato como sendo devido a uma alteração do afloramento em questão por parte desta unidade, interpretação esta que é reforçada pela posição geográfica do local de amostragem, cerca de 200m da borda do corpo da Unidade Canaã.

As amostras da Unidade Canaã, por sua vez, apresentam-se de formas diferenciadas em cada diagrama, plotando no campo dos Trondhjemitos, no diagrama Ab-An-Or (O'Connor, 1965; fig. 25), como fonolitos no diagrama do Akalis vs SiO_2 do Le Maitre (1989), fig. 27; e não aparecendo nos diagramas R1-R2 (De La Roche et al., 1980; fig. 26) e Q-A-P (Le Maitre 1989,) onde plotariam na parte de baixo, como feldspatoide-monzodioritos ou sienitos (fig. 24).

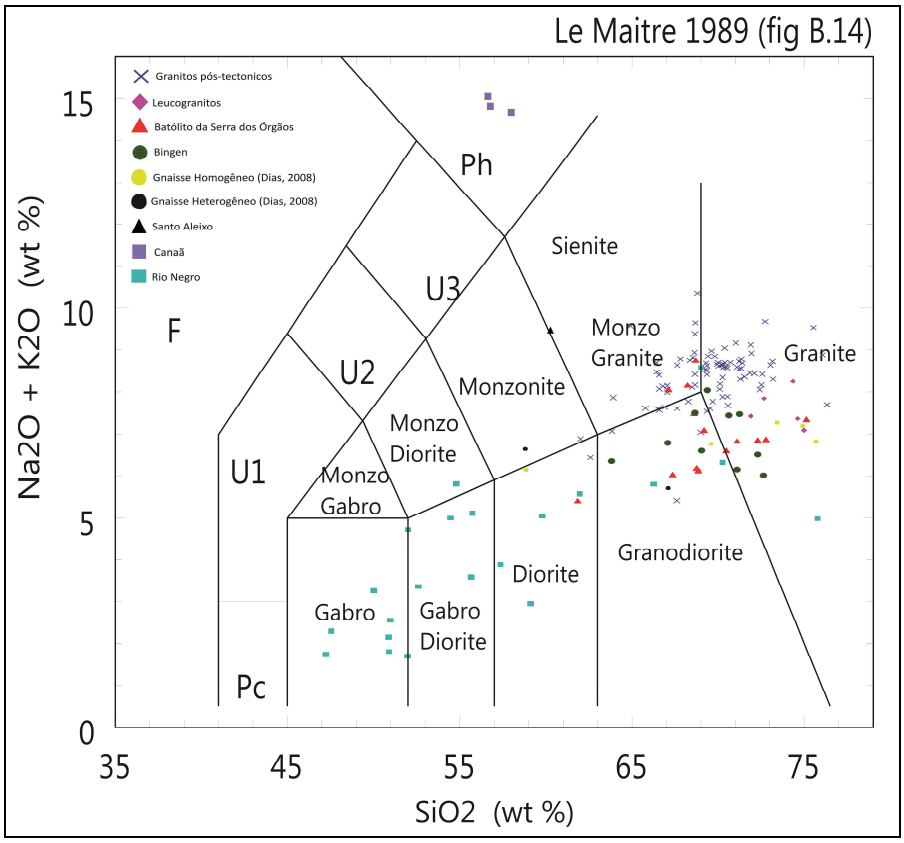
Uma vez que o foco do trabalho reside na caracterização da Unidade Bingen e sua contextualização no cenário geotectônico do Arco/ Complexo Rio Negro, a amostra BG-48 da Unidade Santo Aleixo (que demonstrou ser quimicamente anômala), bem como as amostras da Unidade Canaã (BG-35b, BG-43 e BG-56), não serão discutidas mais a fundo no trabalho. Dessa maneira, deste ponto em diante serão discutidos somente os dados obtidos para a Unidade Bingen, e sua comparação com os dados de Dias (2008), e também com os dados das demais suítes magmáticas de caráter pré, sin e pós colisional descritas no inicio do capitulo.

Com relação a estes, como pode ser observado nas figuras anteriores, pode-se notar que a serie que mais se assemelha, em termos composicionais, as amostras da Unidade Bingen é o Batólito Serra dos Órgãos, que também apresenta composição variando de granodioríticas a graniticas nos diagramas classificatórios. Os gnaisses do Complexo Rio Negro, por sua vez, apresentam composições mais primitivas, variando de Tonalitica, Trondhjemitica a Granodioritica (TTG) no diagrama Ab-An-Or (O'Connor, 1965; fig. 25) e composições gabroicas a dioriticas nos diagramas R1-R2 (De La Roche et al., 1980; fig. 26) e no Akalis vs SiO_2 do Le Maitre (1989), fig. 27.

Os granitos pós-colisionais e o leucogranito do Complexo Rio Negro, apesar de também apresentarem composições graníticas similares as amostras da Unidade Bingen, (Dias, 2008), e do Batólito da Serra dos Órgãos, apresentam conteúdo maior de K2O o

qual desloca as composições destas rochas para campos mais alcalinos nestes diagramas (fig. 25 a 27).

Figura 27 – Diagrama classificatório Alcalis vs $Si0_2$ (Le Maitre, 1989)



Fonte: O autor, 2011.

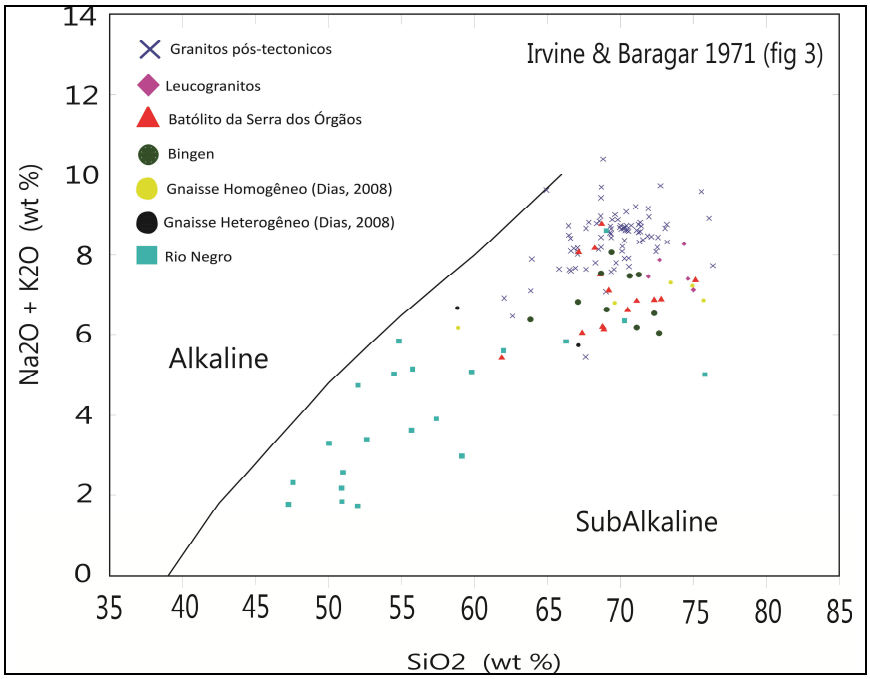
6.3.2 Afiliação magmática das amostras

Analisando os diagramas de linhagem, nota-se no diagrama Álcalis x SiO2 (fig. 27 & 28) que, á exceção das amostras da Unidade Canaã e da amostra BG-48, as amostras restantes, em sua totalidade pertencentes a unidade Bingen, fazem parte do grupo sub-alcalino. Estas amostras apresentam-se dispostas ao longo de um trend calci-alcalino evidenciado no diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971); fig. 29. Estas amostras são também, em sua maioria, pertencentes a uma série de alto-potássio, que pode ser observada no diagrama K_2O x SiO_2 de LeMaitre. 1989; fig. 30.

Nota-se ainda que a unidade Bingen, em sua totalidade, compreende rochas metaluminosas a fracamente peraluminosas (fig. 31), indicando derivação exclusiva ou

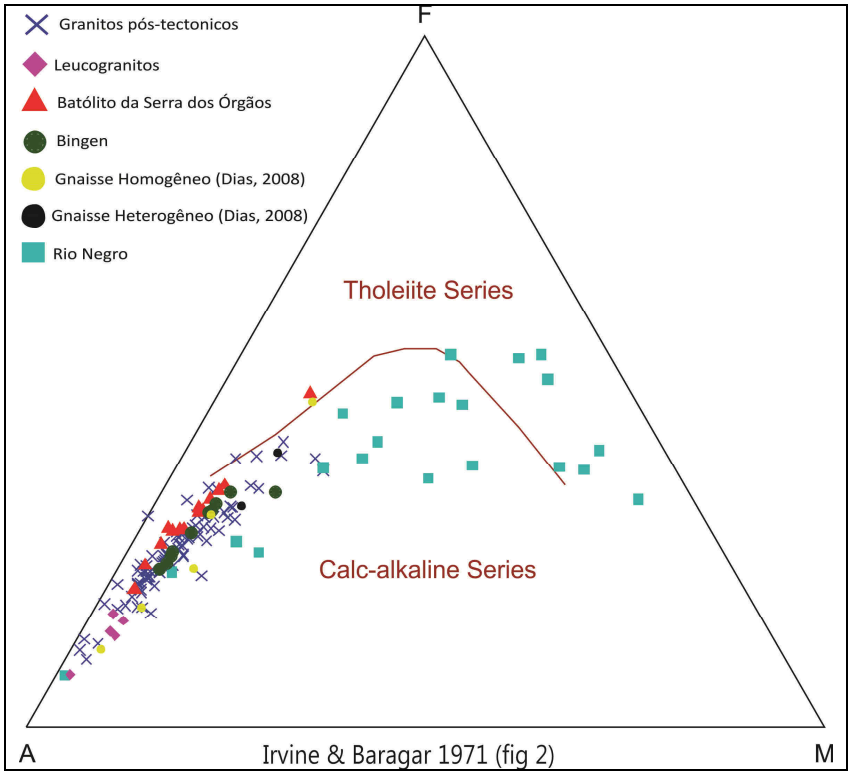
predominante a partir de fusão de rochas ígneas em relação a sedimentares, diferindo-se da Série Serra dos Órgãos, fracamente metaluminosa.

Figura 28 – Diagrama Alkalis vs. SiO_2, de Irvine e Baragar (1971)



Fonte: O autor, 2011.

Figura 29 – Diagrama AFM de Irvine e Baragar, (1971)



Fonte: O autor, 2011.