

CAPÍTULO VI

6 – LITOGEOQUÍMICA

6.1 – Tratamento dos dados geoquímicos

Os dados litogeoquímicos foram obtidos a partir do método de fusão dos elementos maiores por ICP e fusão dos elementos traços e elementos terras raras (ETR) por ICP/MS nos laboratórios da UNESP e ACTLABS (Canadá), já citados. Trata-se de nove análises inéditas relacionadas à região da folha 1:100.000 Leopoldina, MG (Heilbron *et al.*, 2002b), juntamente com outras trinta e duas análises já publicadas (Valladares, 1996; Valladares *et al.*, 2002).

De posse desses dados, foi realizada uma avaliação da qualidade das análises, principalmente quanto à soma do fechamento dos óxidos, no intuito de rastrear possíveis discrepâncias associadas à alterações, contaminação ou erros analíticos.

Para todas as amostras, o fechamento das análises com totais entre 98,0 e 101,0% retrata a boa qualidade, enquanto que o percentual de perda ao fogo (PF), inferior a 2%, expressa amostras pouco alteradas (Anexo 4).

Posteriormente, os dados foram processados utilizando um programa computacional (Clarke, 1993) para classificações químicas de rocha e diagramas discriminantes de paleoambientes tectônicos.

A partir da integração dos novos dados litogeoquímicos com os dados pré-existentes, procurou-se ainda realizar uma abordagem petrogenética preliminar, utilizando métodos estatísticos com base em diagramas de Harker e nas concentrações e razões de ETR. Este estudo contribuiu com informações para a identificação de grupamentos afins passíveis de representarem suítes cogenéticas. Tais grupamentos balizaram a posterior etapa de investigação geocronológica.

6.2 - Geoquímica dos ortognaisses do Complexo Quirino

As tabelas do Anexo 4 apresentam análises geoquímicas das quarenta e uma amostras utilizadas neste trabalho, dispostas segundo o aumento de SiO₂, e subdivididas nas duas séries calcio-alcálicas (alto e médio-K, Valladares *et al.*, 2002) para os ortognaisses do Complexo Quirino. Destas, trinta amostras seriam correspondentes à série alto-K, enquanto a de médio-K estaria representada pelas onze restantes. Duas amostras (VR-5020 e VR-5077) apesar de plotadas no campo de médio-K (próximo ao limite do campo alto-K) segundo diagrama de Le Maitre (1989), foram consideradas como pertencentes à série alto-K, por serem

representadas por biotita-gnaisses granodioríticos, com cerca de 3% peso de K_2O , e serem enriquecidas em alguns elementos incompatíveis tais como U e Th. Estes critérios estão apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Quadro comparativo entre as séries de alto-K e de médio-K do Complexo Quirino. Óxidos em % peso. Elementos-traço em ppm.		
	Série de alto K	Série de médio K
Teor de sílica	rochas intermediárias a ácidas	predomínio dos termos intermediários
Petrografia	predomínio de biotita gnaisse	predomínio de hbl-bt gnaisse
Composição	granítica a granodiorítica	tonalítica
Na_2O	2,3 a 4,9%	3,7 a 4,6%
K_2O	2,7 a 6,1%	1,0 a 2,4%
K_2O/Na_2O	predominantemente >1	<1
CaO	3,5% (média)	4,9% (média)
Rb	157 ppm (média)	59,9 ppm (média)
Nb	16 ppm (média)	7,6 ppm (média)
Th	20 ppm (média)	3,8 (média)
U	2,8 ppm (média)	0,3 ppm (média)
Zr	235 ppm (média)	148 ppm (média)
Eu/Eu*	0,33-1,31 (0,69, média)	0,73-2,00 (1,18, média)

Eu* = concentração teórica para ausência de anomalia de Eu = $[(Sm_N).(Gd_N)]^{1/2}$

Os ortognaisses do Complexo Quirino plotados no diagrama “sílica x álcalis” de Irvine & Baragar (1971), constituem uma série subalcalina (Figura 6.1) e plotam ao longo do *trend* das suítes calcio-alcálicas no diagrama AFM (Figura 6.2) destes mesmos autores. Tais gnaisses são metaluminosos a fracamente peraluminosos em consequência da proporção molecular de alumina menor que as de sódio, potássio e cálcio somadas, com índice de Shand inferior a 1,1 (Figura 6.3), demonstrando que são do tipo I (White & Chappell, 1977), o que está de acordo com os dados petrográficos (assembléia de minerais não aluminosos).

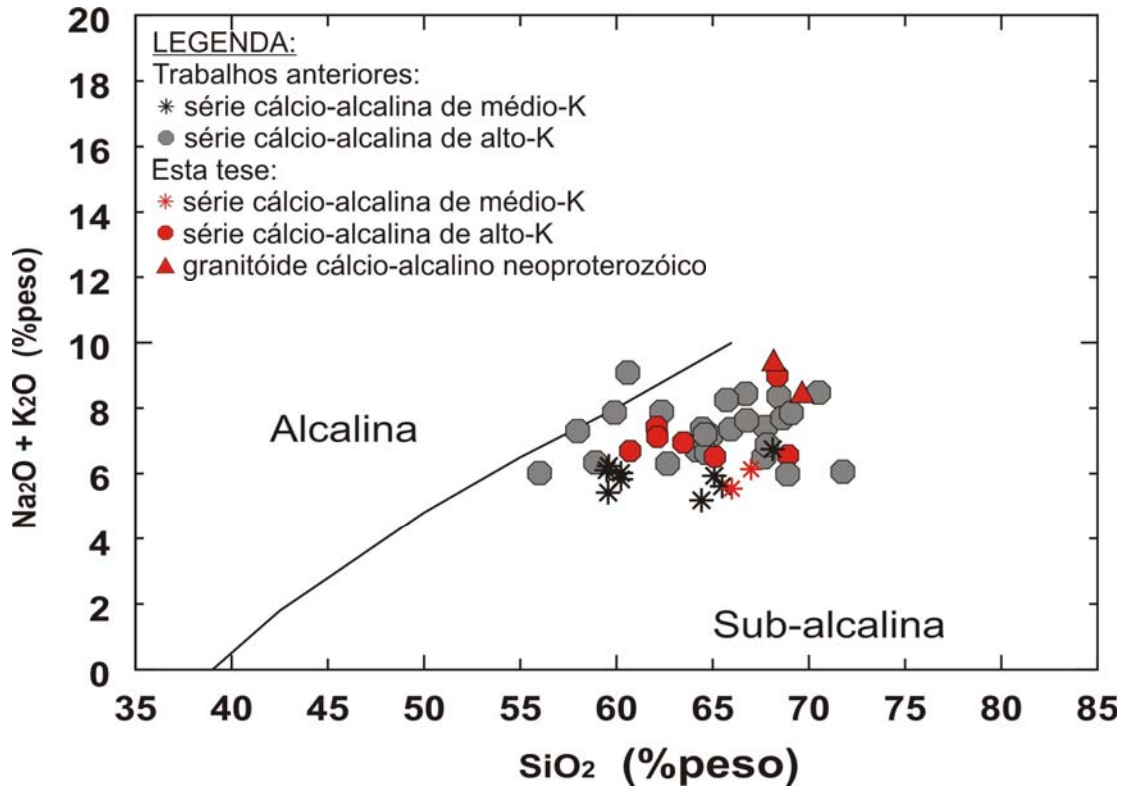


Figura 6.1 - Diagrama sílica x álcalis para os ortognaisses do Complexo Quirino e as duas amostras de granitóides neoproterozóicos, com o limite entre os campos alcalino e subalcalino segundo Irvine & Baragar (1971).

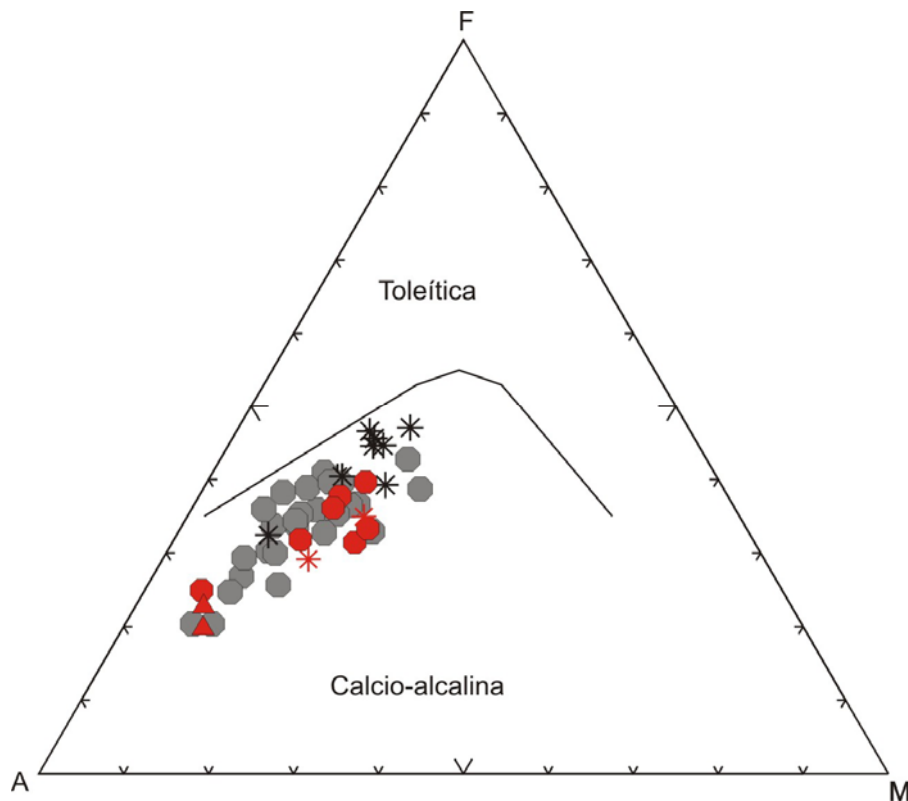


Figura 6.2 - Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) com as amostras dos ortognaisses do Complexo Quirino e as duas amostras de granitóides neoproterozóicos. Amostras plotadas no campo cálcio-alkalino. A = Na₂O + K₂O, F = FeO + 0,8998 Fe₂O₃, M = MgO.

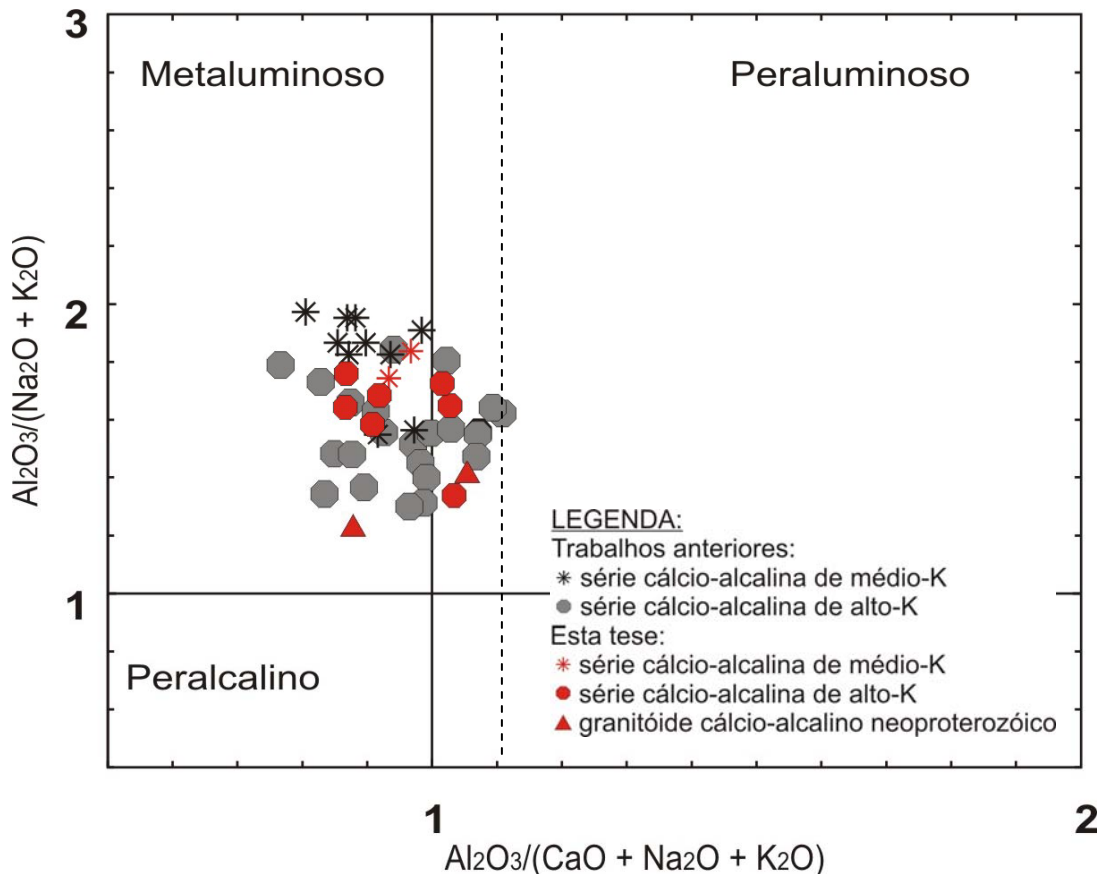


Figura 6.3 - Caráter metaluminoso dos ortognaisses do Complexo Quirino, juntamente com os granitóides amostrados (Maniar & Piccoli, 1989). Dados em proporção molecular.

No diagrama de Le Maitre (1989) (Figura 6.4), estas rochas plotam nos campos das séries calcio-alcalinas de alto-K e médio-K, conforme já descrito na literatura (Valladares *et al.*, 2002). A associação destas séries com dados petrográficos confirma que os dois tipos litológicos principais descritos no capítulo 5 compõem quimicamente estas duas séries citadas para o Complexo Quirino. Em geral, as rochas pertencentes à série de alto-K apresentam uma composição mais expandida granítica-adamelítica/granodiorítica/tonalítica e são correlacionáveis aos biotita-gnaisses (ricos em microlina), enquanto que as da série médio-K apresentam composição exclusivamente tonalítica, sendo correlacionáveis à maioria dos hornblenda-biotita gnaisses (ricos em plagioclásio). Os diagramas normativos An-Or-Ab (O'Connor, 1965) e QAP (Lê Maitre, 1989) (Figuras 6.5 e 6.6), confirmam essa tendência, também condizente com o QAP de Streckeisen (1976) da Figura 5.10.

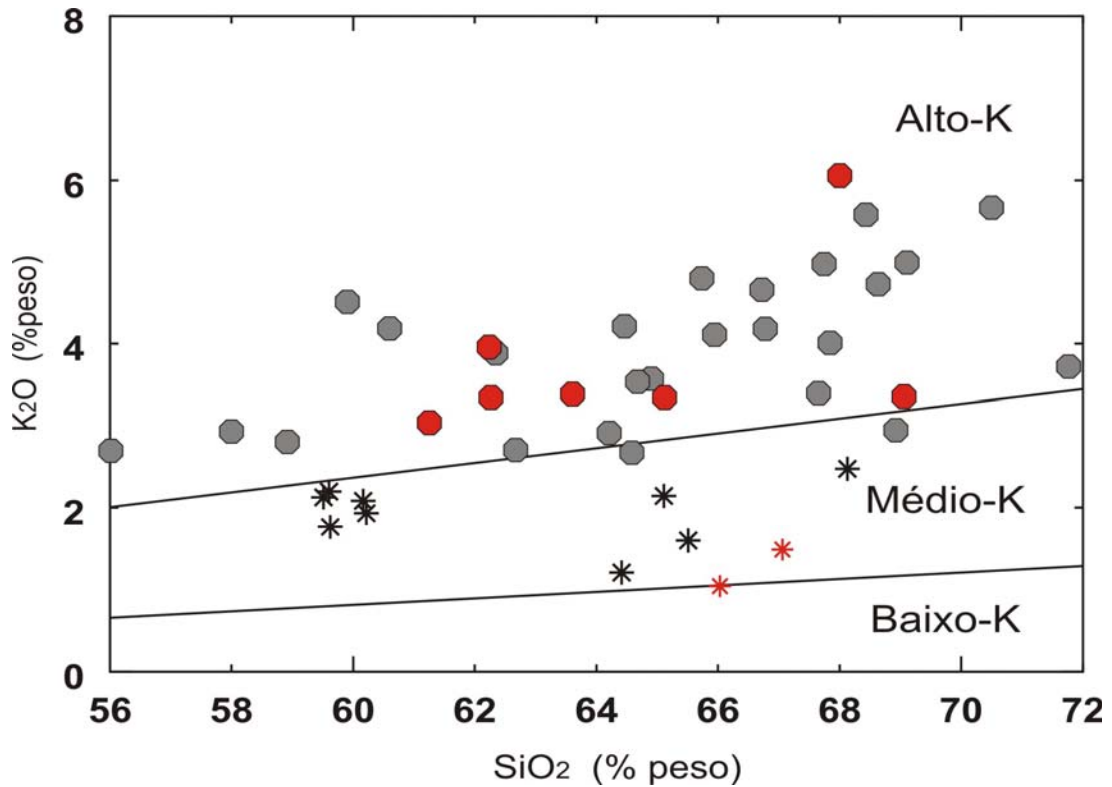


Figura 6.4 - Diagrama $K_2O \times SiO_2$, com limites extraídos de Le Maitre (1989), para os ortognaisses do Complexo Quirino.

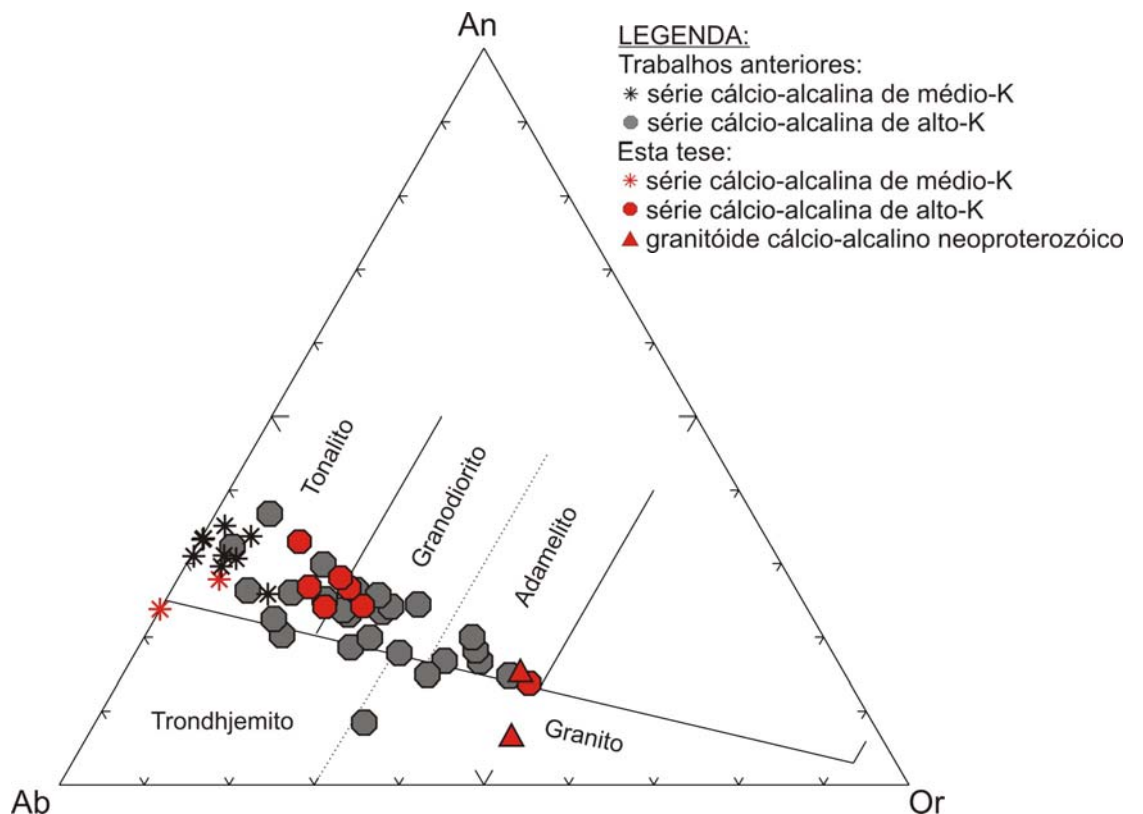


Figura 6.5 – Diagrama normativo Ab-Or-An (O'Connor, 1965) para as rochas amostradas do Complexo Quirino e granitóides. Notar a ausência de termos trondhjemíticos. A série alto-K do Complexo Quirino apresenta-se mais expandida enquanto a médio-K está limitada ao campo do tonalito. Os granitóides neoproterozóicos são essencialmente de composição granítica/adamelítica.

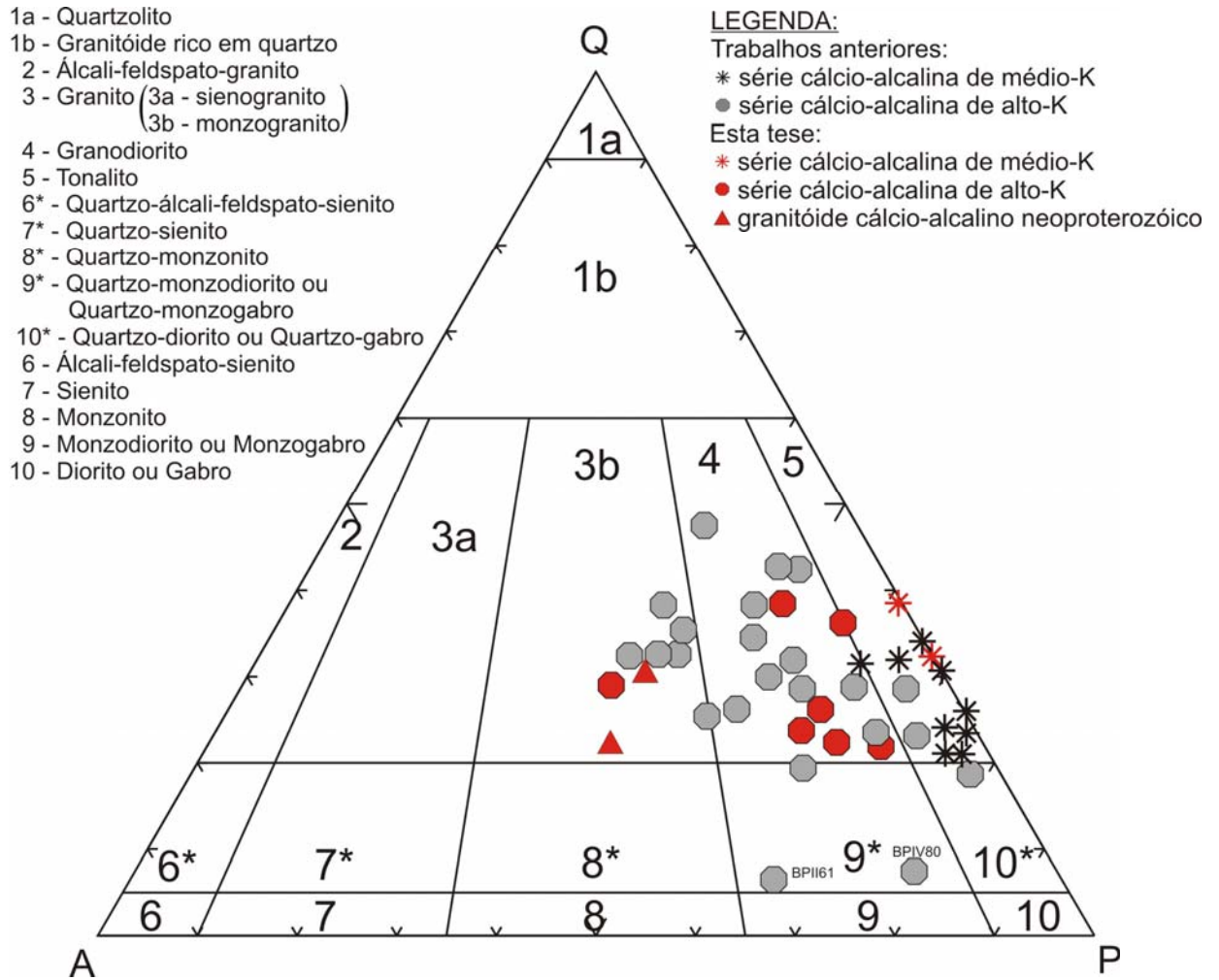


Figura 6.6 – Classificação química para as rochas amostradas do Complexo Quirino e granitóides, no diagrama QAP normativo de Le Maitre (1989). Q = quartzo, A = álcali feldspato, P = plagioclásio.

No diagrama classificatório R1 x R2 de La Roche *et al.* (1980), as amostras plotam um pouco mais dispersas, embora também haja uma concentração nos campos tonalíticos e granodioríticos (Figura 6.7). Algumas amostras de médio-K plotaram no campo do diorito, assim como as amostras BP-II-61 e BP-IV-80, plotaram no campo sienito e gabro, respectivamente, o que pode ser explicado em virtude deste diagrama ter sido concebido para litotipos básicos.

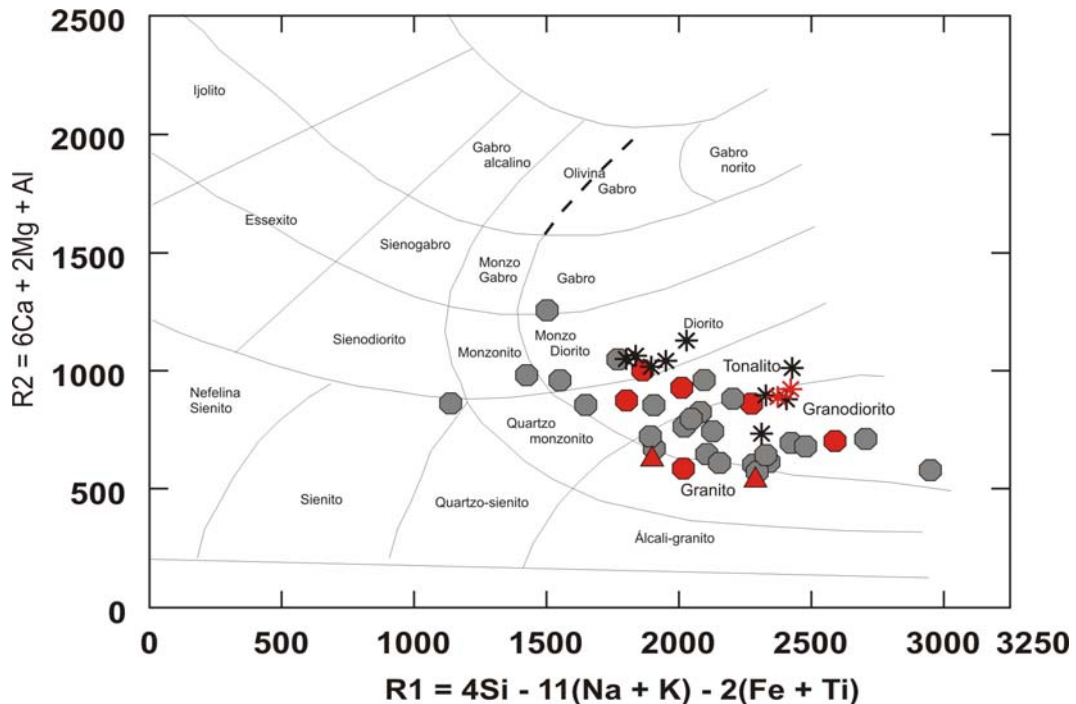


Figura 6.7 - Diagrama de classificação R1xR2 de La Roche *et al.* (1980), com as amostras estudadas. Neste diagrama os ortognaisses do Complexo Quirino aparecem mais dispersos. Porém há maiores ocorrências nos campos granodiorito e tonalito. Os granitóides neoproterozóicos plotados apresentaram composição granítica.

6.2.1 – Características geoquímicas das séries alto-K e médio-K do Complexo Quirino

A série cálcio-alcalina de alto-K apresenta teores (em %peso) de Na₂O entre 2,3% e 4,9% e K₂O entre 2,7% e 6,1%, ficando a razão K₂O/Na₂O, predominantemente, maior que 1. O CaO varia entre 2,5% e 6,5%, com média a 3,5%. Os teores de sílica variam de 56% a 72%, incluindo, assim, rochas intermediárias a ácidas. O Al₂O₃ apresenta-se entre 13% e 18%.

Em termos da distribuição de elementos traços incompatíveis, os gnaisses da série de alto-K apresenta Ba entre 343-5428 ppm e certo enriquecimento de Rb (60 - 284 ppm, média 157 ppm) e Nb (5 - 41 ppm, média 16 ppm). Uma característica marcante desta série é o enriquecimento de elementos produtores de calor: Zr (109-553 ppm), U (0,2-7ppm, média a 2,8ppm), e especialmente Th (2,2-72 ppm), sendo a média 20 ppm, ou seja, até duas vezes a média da crosta superior pós-arqueana (10,7 ppm, Taylor & McLennan, 1985).

Os gnaisses da série de alto-K apresentam uma grande variação no padrão de fracionamento de ETR, normalizados para o condrito de Boynton (1984), com (La/Yb)_N entre 3,32 e 101,8. O conteúdo total de ETR passa de moderado, nos termos intermediários (La_N entre 100 e 200 vezes o valor condritico), a elevado nos

termos ácidos, com La_N chegando a 650 vezes o condrito (amostra AP-X-29). Anomalias negativas de Eu são comuns na maior parte das amostras com Eu/Eu^* a 0,69 em média (entre 0,33 e 1,31).

Já a série cálcio-alcálica de médio-K apresenta valores de Na_2O entre 3,7 e 4,6% e K_2O entre 1,0 e 2,4%, ficando a razão K_2O/Na_2O menor que 1 para todas as amostras. Os teores de sílica variam de 59% a 68%, com predomínio dos tipos intermediários. A alumina (Al_2O_3) é maior que 15%. O CaO é elevado, com valores entre 3,3% e 6,18% (média de 4,9%); o $Fe_2O_3^t$ varia de 3,7% a 8,6% (média de 6,5%) e o Cr de 41 ppm a 108 ppm.

Em termos de elementos traços, o conteúdo de U, Th e Zr, produtores de calor, é inferior aos valores da série de alto-K, ficando a média em torno de 0,3 ppm para U, 3,8 ppm para Th, e Zr com variação entre 84 ppm e 217 ppm. O Rb e o Nb também apresentam valores inferiores à série de alto-K, com variações entre 17 ppm e 100 ppm (média 59,9 ppm) para Rb e 5 ppm a 10 ppm (média 7,6 ppm) para Nb (Anexo 4).

Em termos de distribuição de ETR, os gnaisses da série de médio-K apresentam padrão moderadamente fracionado ($(La/Yb)_N = 8,2 - 23,8$). O conteúdo total de ETR é moderado com La_N até 180x o condrito, sendo a média 110 vezes o condrito. As razões Eu/Eu^* apresentam, em média, valores superiores aos da série de alto-K, com variações entre 0,73 e 2,00 (média a 1,18) expressando algumas anomalias positivas de Eu para esta série.

6.3 – Geoquímica dos granitóides neoproterozóicos

No caso dos granitóides félsicos coletados (CB-SV-01, biotita gnaisse e SA-129, hornblenda biotita gnaisse), foram caracterizados no campo como intrusivos no Complexo Quirino. Estes granitóides são rochas ácidas ($SiO_2 \sim 68\%$), de composição granítica assumindo um posicionamento bem destacado nos diagramas analisados, se comparado com as rochas do embasamento (Figuras 6.4, 6.5 e 6.6). São ricos em potássio ($K_2O \sim 5,7\%$) e elementos incompatíveis como o Rb (334 e 133ppm), Nb (23 e 26ppm), Th (32 e 10,4ppm), U (3 e 2 ppm), entre outros, típicos desse tipo de litologia.

Tais granitóides são subalcalinos (Figura 6.1), e plotam no campo calcio-alcálico no diagrama AFM (Figura 6.2). O caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso, com índice de Shand inferior a 1,1 (Figura 6.3), indica que são do tipo

I (White & Chappell, 1977), coerente com os dados petrográficos (assembléia de minerais não aluminosos).

6.4 – Ambientes geotectônicos

Pearce *et al.* (1984), com base em estudos sistemáticos da geoquímica de rochas graníticas, consideraram os elementos traços Rb, Y (ou Yb) e Nb (ou Ta) como os mais efetivos para a discriminação dos seus respectivos ambientes tectônicos (Figura 6.8).

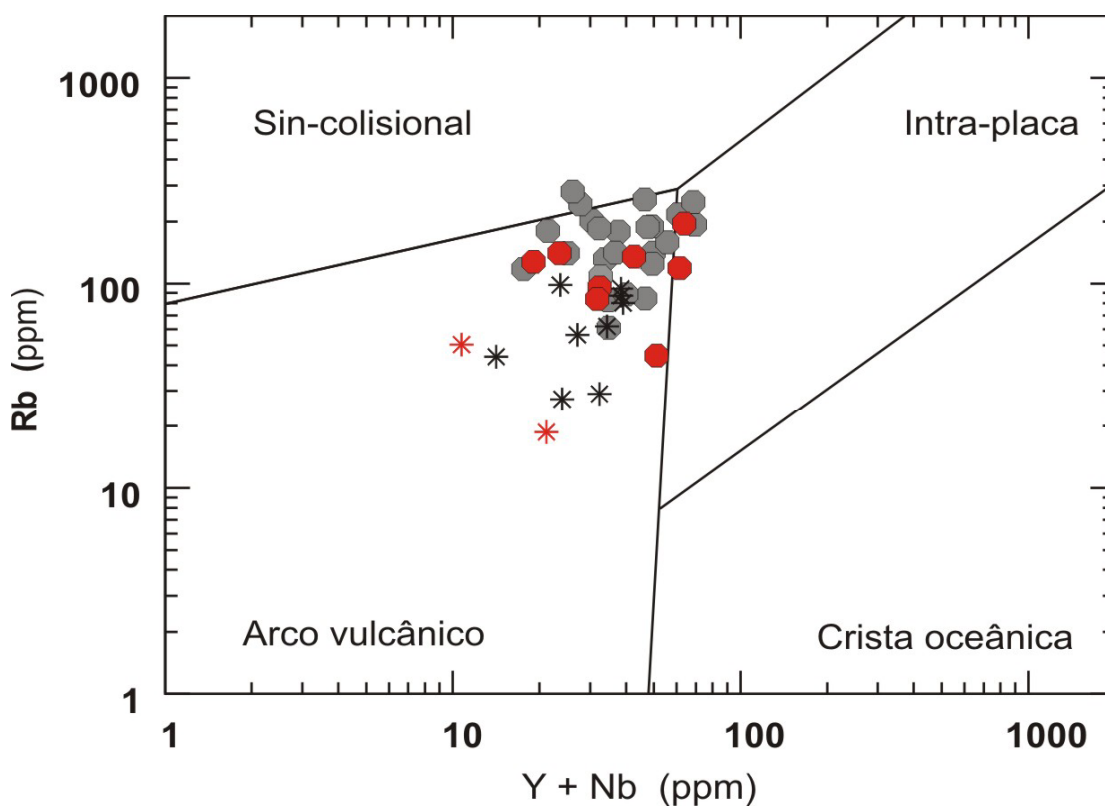


Figura 6.8 - Diagrama Rb x Nb+Y (Pearce *et al.*, 1984), discriminante de ambientes tectônicos, aplicado aos ortognaisses do Complexo Quirino.

Harris *et al.* (1986) também estabeleceram limites em diagrama triangular Hf, Rb e Ta, para ambientes tectônicos geradores de rochas graníticas (Figura 6.9).

A utilização dos diagramas discriminantes citados, demonstra que ambas as séries (alto-K e médio-K) podem ter sido formadas, predominantemente, num mesmo evento pré-colisional, que produziu granitos de arco vulcânico no Paleoproterozóico (Figuras 6.8 e 6.9).

Já os granitóides CB-SV-01 e SA-129, interpretados como relacionados ao evento de colagem no Brasileiro, apresentam características petrográficas e

geoquímicas diferenciadas em relação às amostras do Complexo Quirino, e aparentemente estariam relacionados a eventos sin-colisionais a pós-colisionais conforme o diagrama triangular de Harris *et al.* (1986) (Figura 6.9).

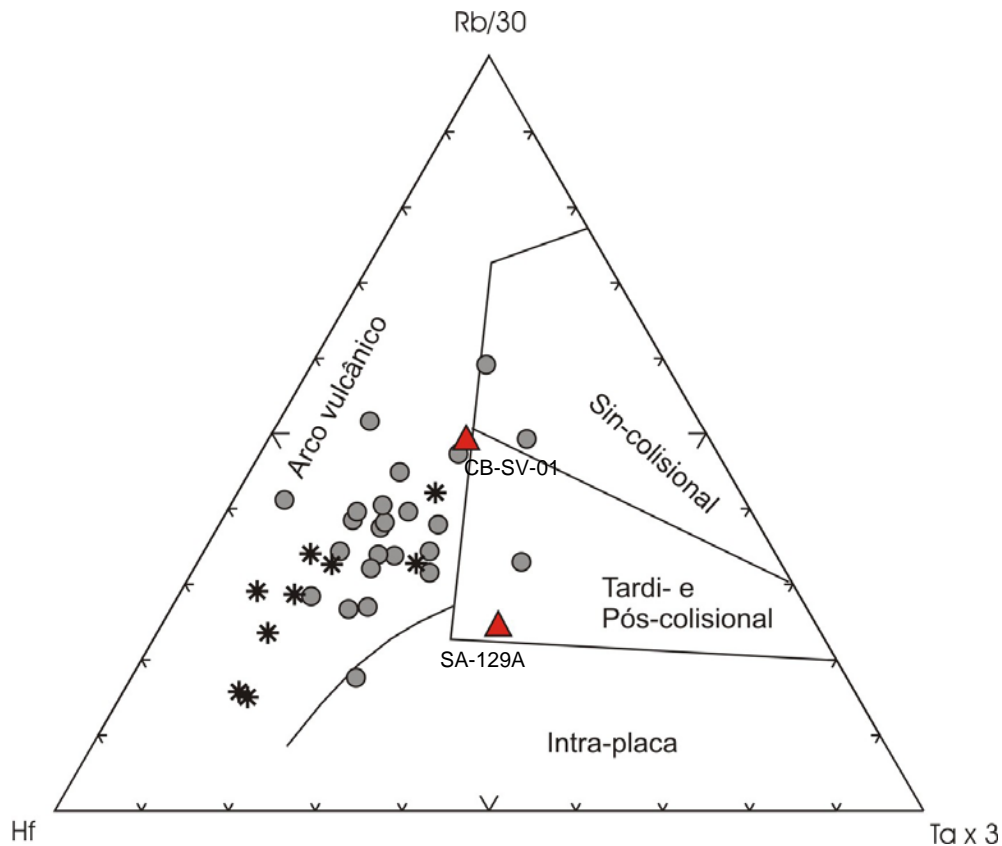


Figura 6.9 – Diagrama triangular Hf – Rb/10 – TaX3 discriminante de ambientes tectônicos (Harris *et al.*, 1986) para o Complexo Quirino e os dois granitóides neoproterozóicos. As análises recentes do Complexo Quirino não constam neste diagrama pela ausência de dados de Hf e Ta.

6.5 – Comparação com ambientes modernos

Mesmo nos casos em que ocorrem profundas modificações na composição química original das rochas, principalmente por eventos envolvendo percolação de fluidos, é possível reconhecer alguns padrões primários pela consistência das assinaturas químicas entre várias amostras e pela comparação com os padrões de rochas similares de outras regiões (Figueiredo, 1985).

A comparação das assinaturas geoquímicas das amostras de ortognaisses do Complexo Quirino com padrões de rochas de ambientes tectônicos similares, utilizando elementos incompatíveis normalizados para o granito de crista oceânica (ORG) de Pearce *et al.* (1984), revela semelhanças entre os granitóides do Complexo Quirino e os granitos do Chile (Pearce *et al.*, *op cit.*), em especial para a série de alto-K (Figura 6.10), enquanto que aquelas da série de médio-K,

assemelham-se ao granito da Jamaica em termos de ETR leves, e ao granito do Chile, em termos de ETR pesados (Figura 6.11).

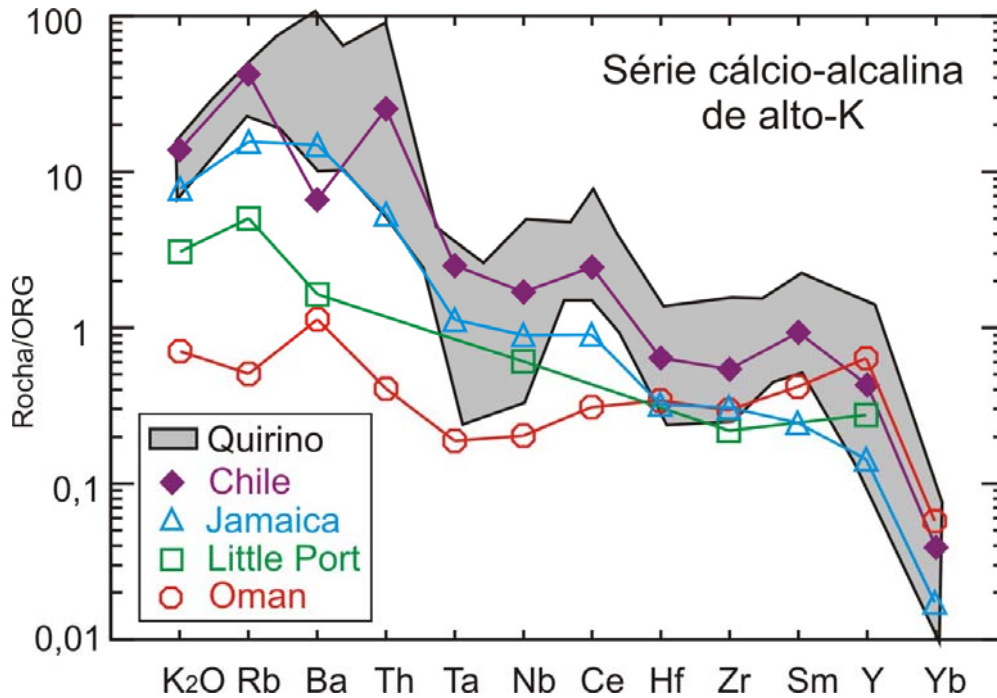


Figura 6.10 - Diagrama de variação multielementar normalizado por ORG (*Ocean Ridge Granite*) (Pearce *et al.*, 1984) para os ortognaisses que compõem a série alto-K do Complexo Quirino (campo hachurado), comparados com dados de granitos de arcos vulcânicos modernos de Pearce, *op cit.*

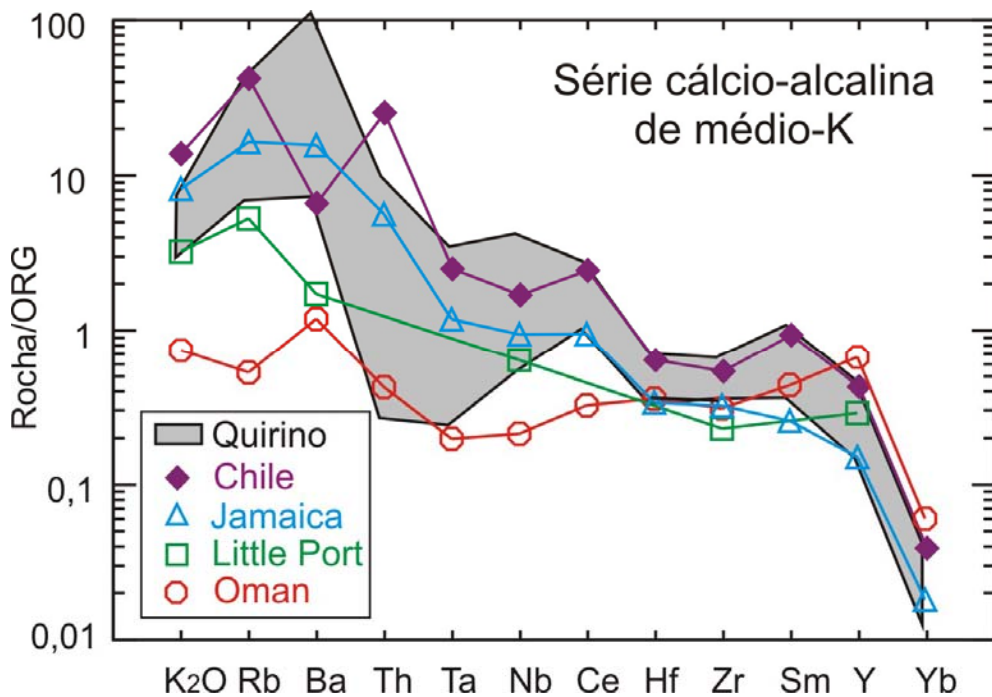


Figura 6.11 - Diagrama de variação multielementar normalizado por ORG (*Ocean Ridge Granite*) (Pearce *et al.*, 1984) para os ortognaisses que compõem a série médio-K do Complexo Quirino (campo hachurado), comparados com dados de granitos de arcos vulcânicos modernos de Pearce *et al* (*op cit.*).

Para os regimes tectônicos fanerozóicos, observa-se, então, que esse tipo de magmatismo cálcio-alcálico estaria fortemente relacionado aos ambientes tectônicos compressivos, como os que ocorrem no Chile ou Jamaica, desenvolvidos em arcos mais maduros e margens continentais ativas. Segundo Pearce *et al.* (1984), granitos calcioalcalinos de alto-K de margem continental ativa plotam, predominantemente, nos campos de quartzo-monzonito, granodiorito e granito, no diagrama de Streckisen (1976), tendo biotita e hornblenda como minerais ferromagnesianos dominantes. Logo, pressupõe-se que o regime tectônico atuante quando da geração dos ortognaisses do Complexo Quirino, no Paleoproterozóico, teria sido similar aos formadores destes arcos magmáticos fanerozóicos aqui citados.

6.6 – Avaliação petrogenética

6.6.1 - Abordagem com base em elementos maiores e traços

Com base nas análises litogeoquímicas e petrográficas, considera-se que as amostras do Complexo Quirino formam duas séries distintas: série cálcio-alcálica alto-K e série cálcio-alcálica médio-K (Figuras 6.2 e 6.4).

No intuito de testar as relações de cogeneticidade e o tipo de processo evolutivo do protólito dos ortognaisses do Complexo Quirino, foi realizada uma avaliação utilizando-se diagramas de Harker para os elementos maiores e traços, e análise regressiva pelo método dos mínimos quadrados de y sobre x (Rollinson, 1993). Os testes foram feitos considerando-se três populações distintas, quais sejam:

- 1) Todas as amostras;
- 2) Amostras da série calcio-alcálica de alto-K;
- 3) Amostras da série calcio-alcálica de médio-K.

Correlações polinomiais são diagnósticas de processo evolutivo envolvendo cristalização fracionada com mudança de assembléia fracionante, com ou sem assimilação concomitante, AFC (DePaolo, 1981). Já as correlações lineares são características de processos descontínuos como mistura magmática e assimilação simples, apresentando necessariamente um “gap” nos diagramas de variação, ou processo contínuo de cristalização fracionada (com ou sem assimilação), mas sem mudança de assembléia fracionante.

Com base nas curvas de regressão polinomiais e lineares geradas para as três populações citadas, foram obtidos os respectivos quadrados dos coeficientes de regressão de Pearson (R^2) e seus níveis de significância (NS) (Anexo 7).

A Tabela 6.2 mostra os valores R^2 e seus respectivos NS aplicados à correlação SiO_2 x elementos maiores para cada um dos casos considerados. A Tabela 6.3 mostra os mesmos parâmetros, porém aplicados à correlação SiO_2 x elementos traços selecionados, incluindo compatíveis, incompatíveis imóveis e incompatíveis móveis.

Tabela 6.2 – Quadro de coeficientes de regressão para os elementos maiores e níveis de significância das rochas do Complexo Quirino												
Óxido	TODA A POPULAÇÃO DE AMOSTRAS (n=41)				SÉRIE CALCIO-ALCALINA ALTO-K (n=30)				SÉRIE CALCIO-ALCALINA MÉDIO-K (n=11)			
	Linear		Polinomial		Linear		Polinomial		Linear		Polinomial	
	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS
TiO₂	0,3362	99,9%	0,4232	99,9%	0,3156	99%	0,3923	99,9%	0,9534	99,9%	0,9535	99,9%
P₂O₅	0,3514	99,9%	0,3753	99,9%	0,3207	99%	0,3343	99,9%	0,8464	99,9%	0,8486	99,9%
K₂O	0,1753	99%	0,1855	99%	0,3072	99%	0,3109	99%	0,066	<80%	0,3926	95%
Na₂O	0,303	99,9%	0,3542	99,9%	0,5421	99,9%	0,5703	99,9%	0,4277	95%	0,5171	95%
CaO	0,6955	99,9%	0,6955	99,9%	0,7921	99,9%	0,8004	99,9%	0,8155	99,9%	0,8715	99,9%
MgO	0,5287	99,9%	0,5469	99,9%	0,4883	99,9%	0,5204	99,9%	0,7029	99%	0,7697	99,9%
Fe₂O₃	0,6801	99,9%	0,6806	99,9%	0,6321	99,9%	0,633	99,9%	0,9079	99,9%	0,9086	99,9%
Al₂O₃	0,6055	99,9%	0,6137	99,9%	0,6733	99,9%	0,6759	99,9%	0,3578	90%	0,5776	99%

Tabela 6.3 – Quadro de coeficientes de regressão para os elementos traços e níveis de significância das rochas do Complexo Quirino												
	TODA A POPULAÇÃO DE AMOSTRAS (n=41)				SÉRIE CALCIO-ALCALINA ALTO-K (n=30)				SÉRIE CALCIO-ALCALINA MÉDIO-K (n=11)			
	Linear		Polinomial		Linear		Polinomial		Linear		Polinomial	
	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS
Ba	0,0204	<80%	0,0213	<80%	3E-05	<80%	0,0656	80%	0,0543	<80%	0,0842	<80%
Cr	0,0344	<80%	0,0354	<80%	0,0236	<80%	0,0236	<80%	0,1564	<80%	0,3751	95%
Y	0,0333	<80%	0,0352	<80%	0,0063	<80%	0,0085	<80%	0,7255	99,9%	0,7325	99,9%
Nb	0,0678	90%	0,0993	95%	0,0838	80%	0,0944	90%	0,5402	99%	0,5964	99%
Rb	0,2385	99%	0,2733	99,9%	0,3914	99,9%	0,3966	99,9%	0,0527	<80%	0,4886	95%
Zr	0,053	80%	0,0532	80%	0,087	80%	0,0897	80%	0,6963	99%	0,7645	99,9%
Sr	0,2186	99%	0,2717	99,9%	0,2542	99%	0,2906	99%	0,0207	<80%	0,1378	<80%

A partir deste tratamento estatístico foi possível concluir que:

- 1) Para os elementos maiores, no geral, tanto as correlações lineares quanto as polinomiais são boas (NS>95%) com alto nível de significância, mesmo quando separadas as duas séries, porém com um leve decréscimo para a série de médio-K.
- 2) Os bons níveis de significância das correlações não se repetem para os elementos traços, com muitas correlações apresentando valores igual ou inferior a 80%, indicando dispersão.

- 3) Para os elementos traços, quando separadas as séries, a regressão para a série de médio-K apresenta níveis de significância maiores se comparada com toda a população, com exceção dos elementos incompatíveis móveis (Rb, Sr, Ba), isto é, susceptíveis a processos de mobilidade.
- 4) No geral, não há diferenças sinificantes entre as correlações lineares e as polinomiais. No entanto, para a série de médio-K as correlações polinomiais são mais significantes.

Embora as correlações dos elementos traços não sejam tão boas quanto a dos elementos maiores, a sensível melhora dos níveis de significância quando se considera a série médio-K como um grupo distinto, indica que toda a população de amostras (caso 1) não corresponde a um único grupo cogenético. Pode haver ainda a possibilidade de até mesmo dentro de cada uma das séries abordadas existir mais de um grupo/suíte cogenética, tendo em vista a má qualidade das correlações da série alto-K para os elementos traços.

Observa-se também, nos diagramas de Harker para a série médio-K (Figuras 6.14 e 6.17), um *gap* separando dois agrupamentos. No entanto, como as correlações polinomiais são mais significantes que as lineares para esta série, se descarta a hipótese da geração destas rochas por processos descontínuos como mistura magmática e assimilação simples. Não podemos descartar ainda a possibilidade do *gap* ser ocasionado por amostragem insuficiente.

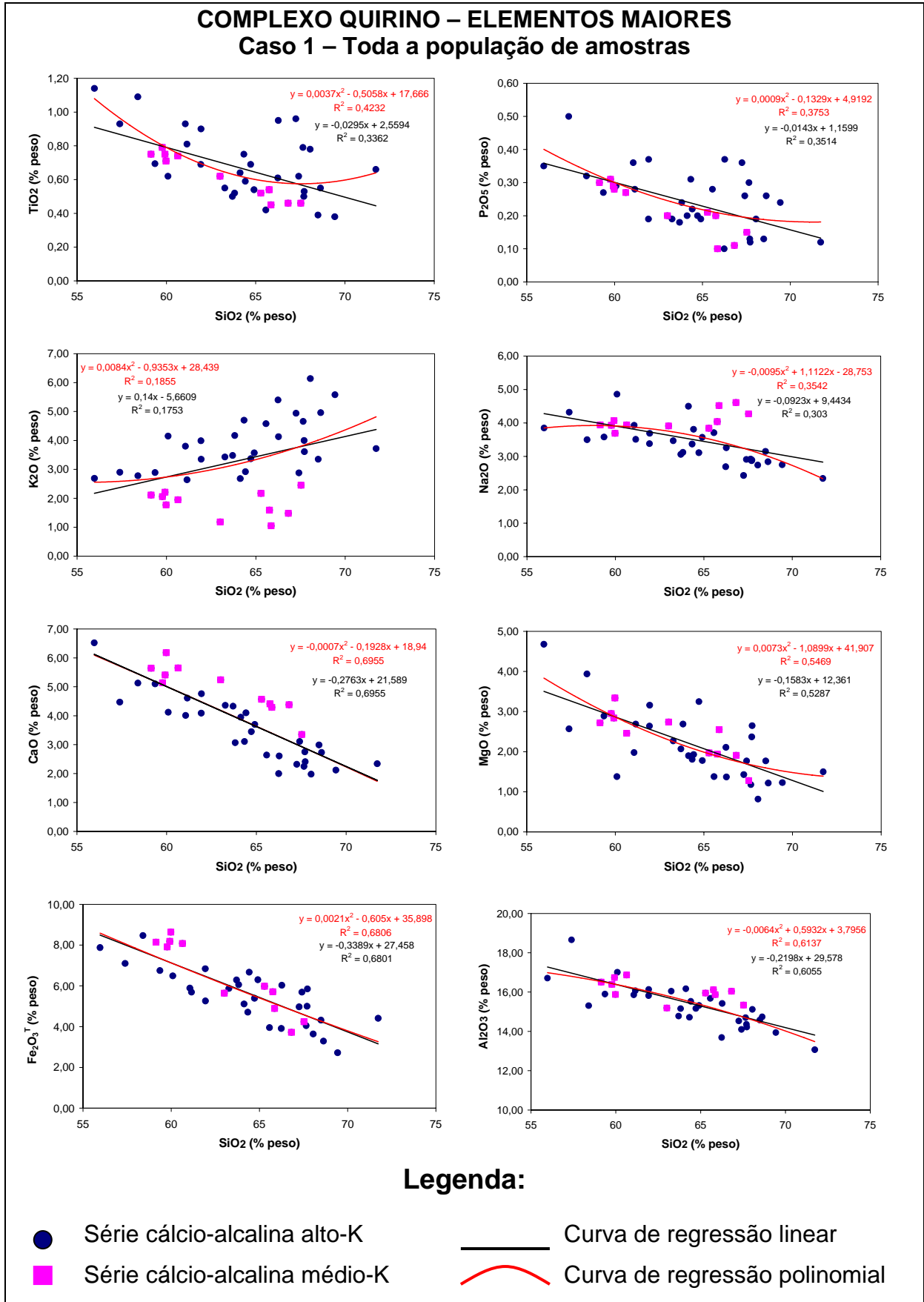


Figura 6.12 - Diagramas de Harker para os elementos maiores com as amostras de todo o conjunto dos ortognaisses (caso 1) do Complexo Quirino. Dados em %peso. Fe₂O₃^T é ferro total sob a forma de ferro férrico.

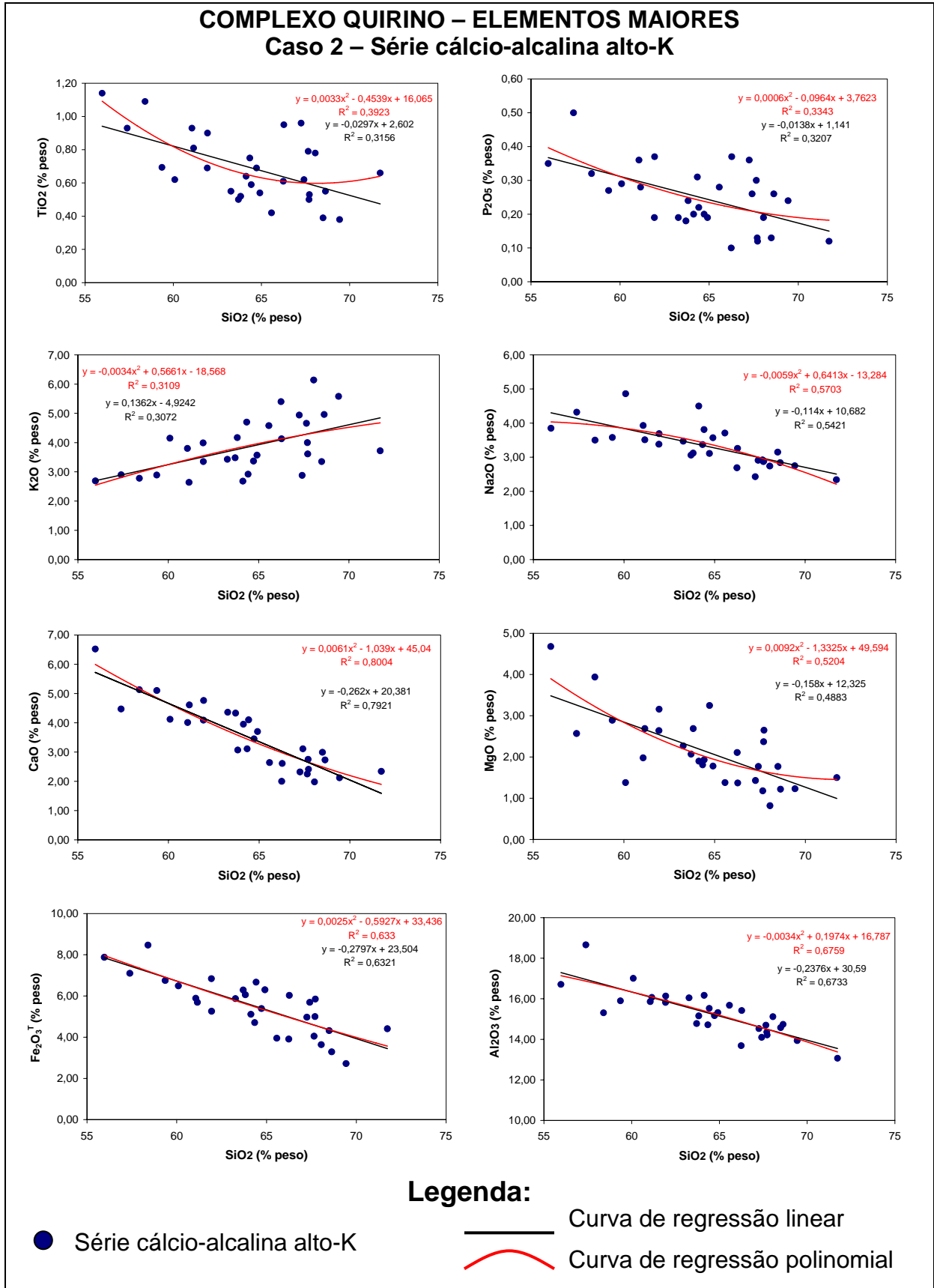


Figura 6.13 - Diagramas de Harker para os elementos maiores com as amostras da série cálcio-alcina alto-K (caso 2) do Complexo Quirino. Dados em %peso. Fe₂O₃^T é ferro total sob a forma de ferro férrico.

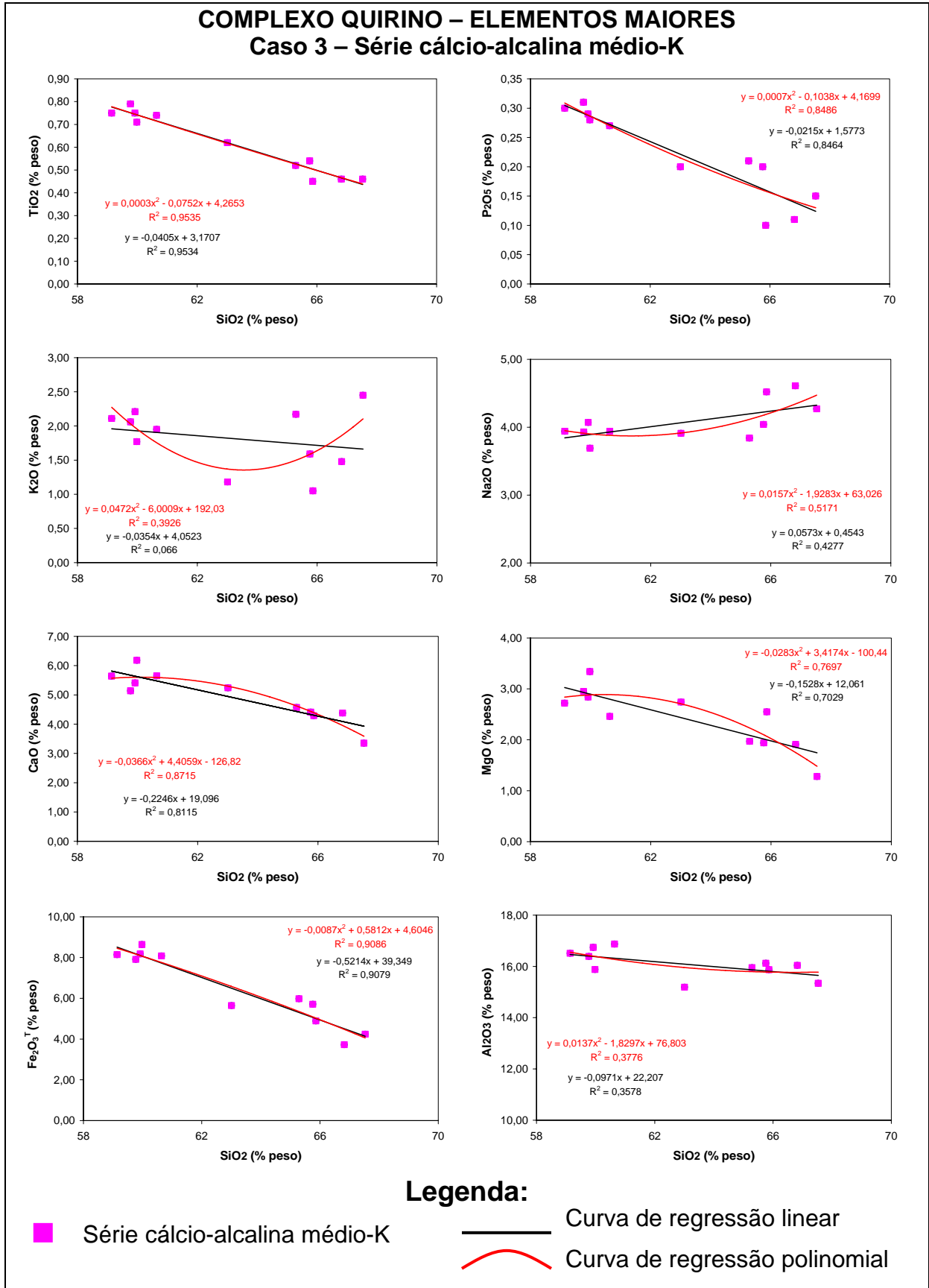


Figura 6.14 - Diagramas de Harker para os elementos maiores com as amostras da série cálcio-alcalina médio-K (caso 3) do Complexo Quirino. Dados em %peso. $Fe_2O_3^T$ é ferro total sob a forma de ferro férrico.

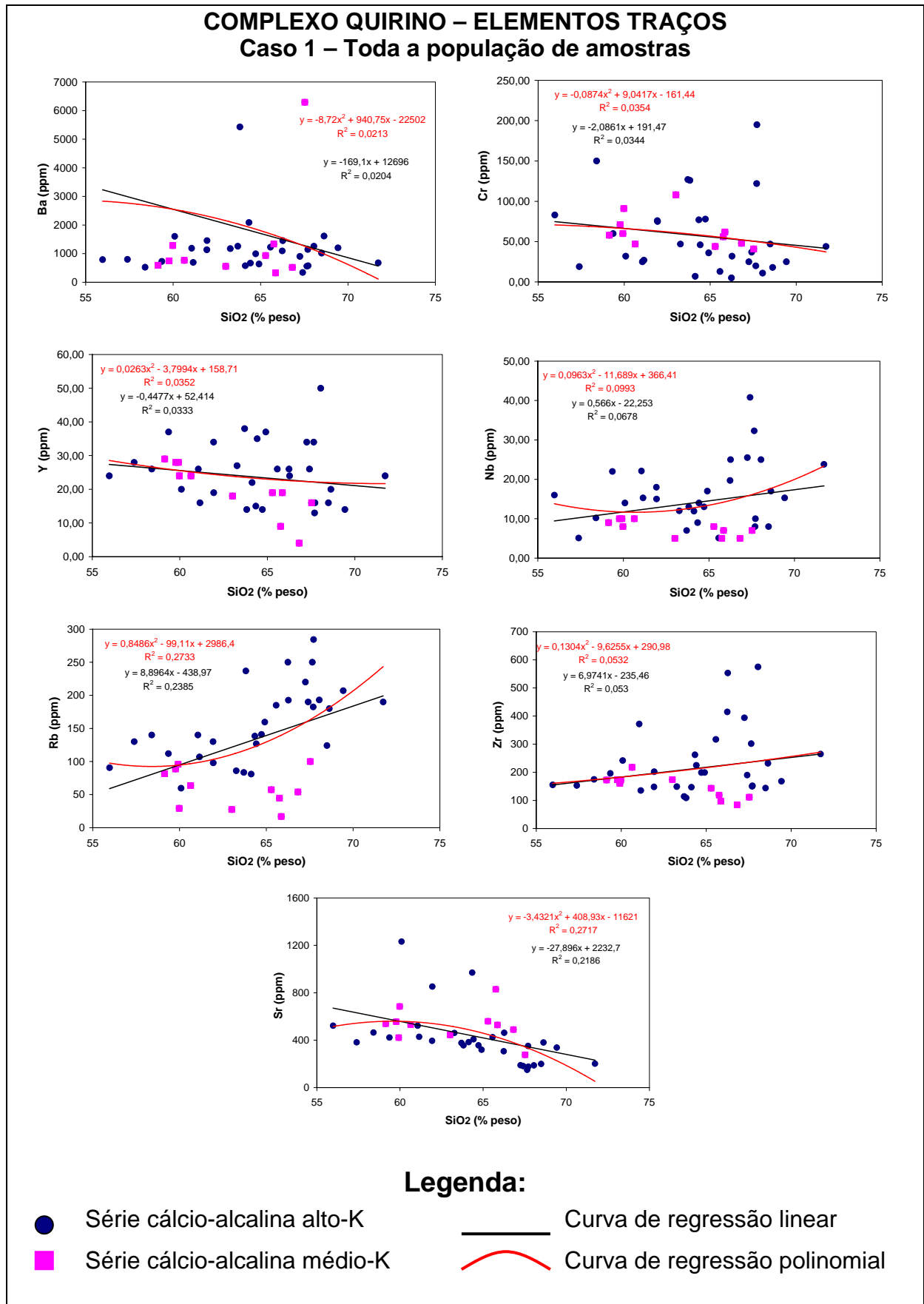


Figura 6.15 - Diagramas de Harker para os elementos traços com as amostras de todo o conjunto dos ortognaisses (caso 1) do Complexo Quirino. Dados de sílica em %peso e elementos traços em ppm.

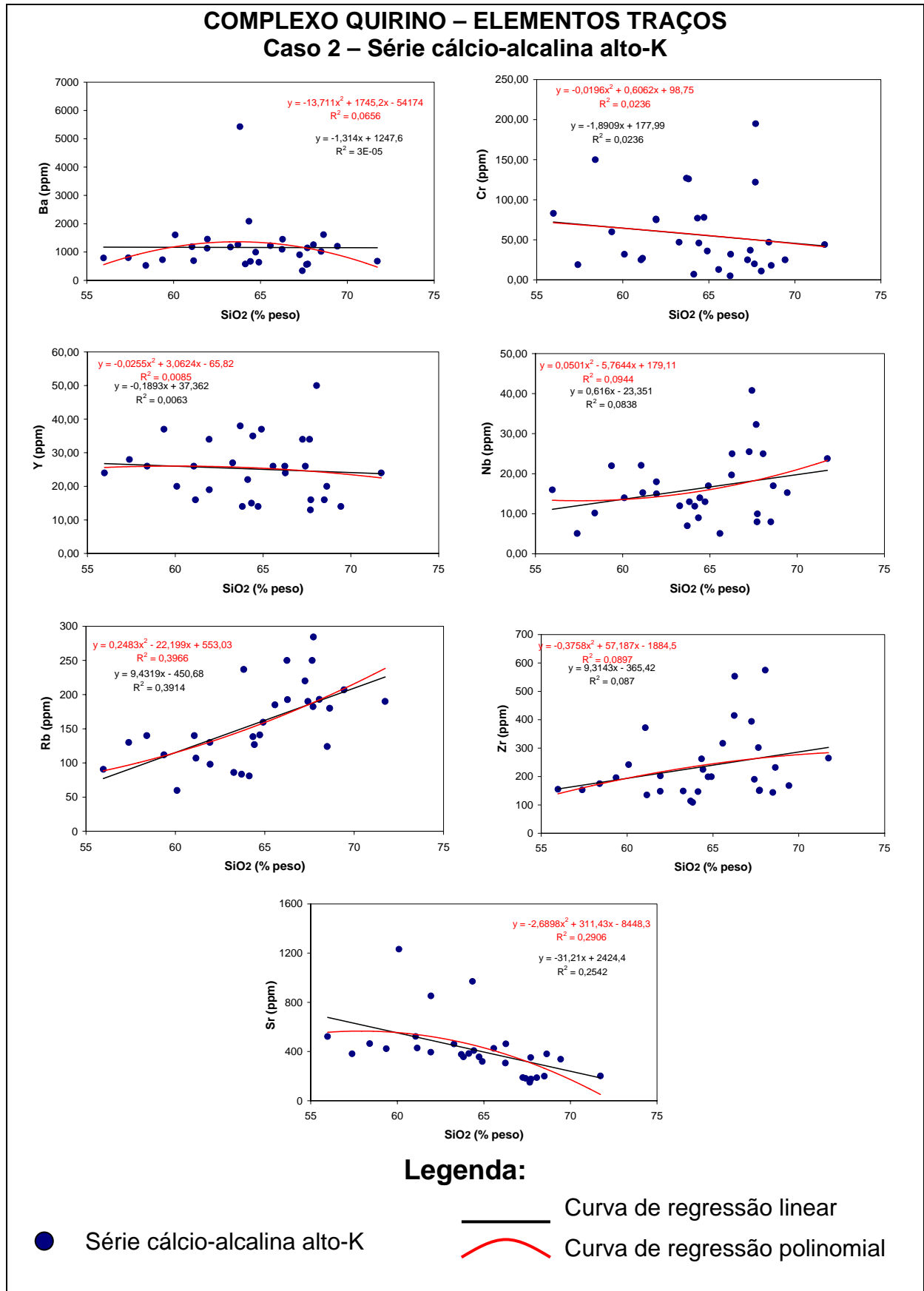


Figura 6.16 - Diagramas de Harker para os elementos traços com as amostras da série cálcio-alcálica alto-K (caso 2) do Complexo Quirino. Dados de sílica em %peso e elementos traços em ppm.

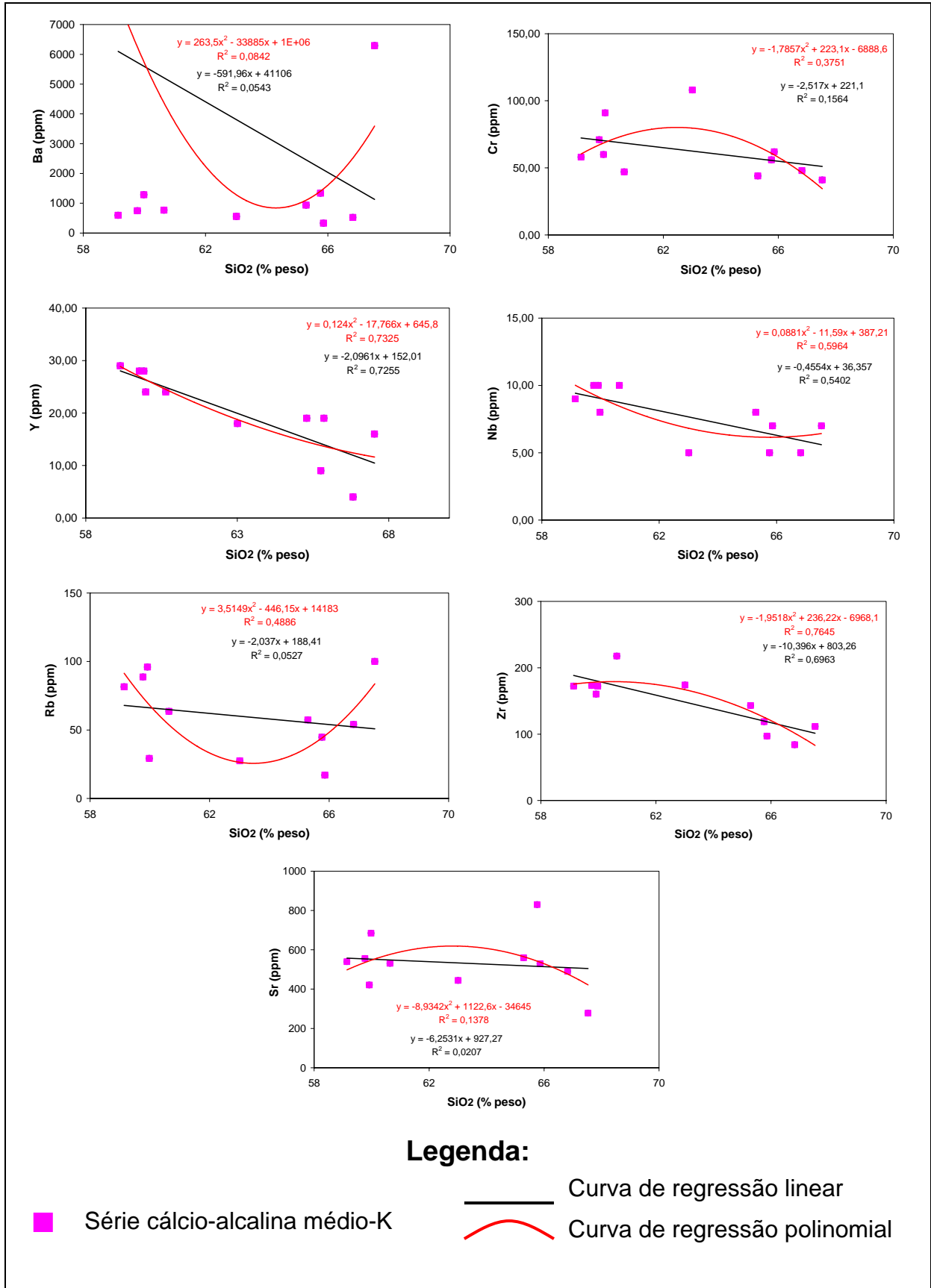


Figura 6.17 - Diagramas de Harker para os elementos traços com as amostras da série cálcio-alcálica médio-K (caso 3) do Complexo Quirino. Dados de sílica em %peso e elementos traços em ppm.

6.6.2 - Abordagem com base em ETR

Os ETR têm sido amplamente utilizados em estudos petrogenéticos, pois são excelentes indicadores de processos tectônicos cogenéticos ou não.

Segundo Figueiredo (1985), nas rochas ígneas, os processos de fusão parcial e de cristalização fracionada levam a um enriquecimento relativo das terras raras leves (TRL) na fase líquida de sistemas silicáticos cristal-líquido. Desse modo, há um enriquecimento de TRL em rochas crustais, particularmente nas mais félsicas. Os minerais participantes desses processos produzem efeitos característicos nos padrões de ETR das fusões, permitindo a identificação de sua atuação.

Investigações do comportamento dos ETR durante o metamorfismo (Cullers *et al.*, 1974; Muecke *et al.*, 1979) indicam que, embora já se tenha observado mobilidades dos ETR durante eventos metassomáticos, geralmente há pouca modificação dos padrões durante o evento metamórfico, o que permite usá-los no estudo de protólitos.

Levando-se em consideração critérios petrológicos, pode-se afirmar, então, que razões entre elementos incompatíveis são quase constantes dentro de um conjunto de rochas cogenéticas, p.ex., dentro de uma suíte magmática. A variação esperada é de, no máximo, 1,5 vezes (Allégre & Minster, 1978; Cox *et al.*, 1979). Porém, variações um pouco superiores podem estar relacionadas a processo de assimilação concomitante à cristalização fracionada (DePaolo, 1981). Foi então selecionada a razão $(La/Yb)_N$, normalizada para o condrito de Boynton (1984), como parâmetro de distinção entre conjuntos de rochas cogenéticas e não cogenéticas.

As tabelas 6.4 a 6.6 apresentam algumas razões de elementos incompatíveis imóveis para cada um dos casos estudados (1- toda a população; 2- série alto-K; e 3- série médio-K).

6.6.2.1 – Caso 1

Tabela 6.4 - Razões entre elementos incompatíveis imóveis,				
CASO 1: toda a população de amostras do Complexo Quirino				
	(La/Yb)_N	Hf/Ta	Nb/Ta	SiO₂
BP-IV-80	7,1	4,5	18,0	55,97
VR-5022B	21,9	10,7	17,0	57,39
VR-5096	16,0	9,0	17,0	58,40
ECII-2002-6	14,6	7,0	27,5	59,36
BP-II-61A	14,7	6,4	13,5	60,09
VR-94A	9,5	6,8	17,0	61,06
VR-5024	11,2	4,7	17,0	61,15
AP-X-66	13,5	-	-	61,93
SP TUP 11	22,0	-	-	61,94
AP TUP 28	13,9	-	-	63,27
BP-I-22	3,3	5,6	14,0	63,70
PS-PM-67	31,9	3,1	14,3	63,82
VR-5077	12,6	7,7	17,0	64,13
TR-PM-69A	74,7	6,9	11,5	64,34
BP-IV-53A	14,4	9,5	21,5	64,42
LE CM 10M	26,2	-	-	64,72
BP-II-26	9,4	7,2	21,8	64,91
VR-5029	77,5	26,7	17,0	65,57
VR-150B	101,8	9,1	17,9	66,24
BP-M-642	72,4	10,8	21,2	66,27
VR-201A	20,4	6,7	17,0	67,25
VR-5020	10,4	2,4	17,0	67,41
VR-5099	20,0	4,4	17,0	67,65
PS-PM-66	31,2	3,8	8,1	67,70
TR-MM-71A	20,1	2,1	5,2	67,72
APX29	44,5	-	-	68,05
EC-2002-04	17,4	-	-	68,49
VR-222A	30,1	7,0	17,0	68,63
VR-223A	44,8	6,6	17,0	69,43
VR-08	12,3	6,0	17,0	71,73
BP-I-24	11,0	10,0	20,9	59,14
VAS-M-793	14,7	13,1	27,8	59,77
VAS-786B	10,6	4,9	11,9	59,92
BP-I-4(3)	8,2	14,4	25,0	59,98
BP-M-659	16,2	14,9	25,6	60,64
BP-I-40	14,6	15,6	18,5	63,01
NSA-V-66	16,6	12,6	25,8	65,29
NSA-V-49	15,6	21,3	33,3	65,76
EC-2002-09A	14,1	-	-	65,86
LECM 12B	23,8	-	-	66,82
TR-MM-72	19,7	4,6	11,5	67,53

Valores mínimos e máximos:

- (La/Yb)_N: 3,3 – 101,8 (30,7 vezes)
- Hf/Ta: 2,1 – 26,7 (12,6 vezes)
- Nb/Ta: 5,2 – 33,3 (6,4 vezes)

Com base nas razões entre elementos incompatíveis aplicado a todo o conjunto das rochas do Complexo Quirino, podemos concluir que:

1) As razões entre elementos traços incompatíveis imóveis apresentam variação bem superior a 1,5 vezes, sendo de: 30,66 vezes para $(La/Yb)_N$; 12,58 vezes para Hf/Ta; e 6,43 vezes para Nb/Ta. Neste caso 1, os dados petrológicos desfavorecem uma relação de cogeneticidade entre toda a população de amostras do Complexo Quirino por processos exclusivamente de cristalização fracionada.

6.6.2.2 – Caso 2

Tabela 6.5 - Razões entre elementos incompatíveis imóveis				
CASO 2: Série cálcio-alcálica de alto-K				
	$(La/Yb)_N$	Hf/Ta	Nb/Ta	SiO ₂
BP-IV-80	7,1	4,5	18,0	55,97
VR-5022B	21,9	10,7	17,0	57,39
VR-5096	16,1	9,0	17,0	58,40
ECII-2002-6	14,6	7,0	27,5	59,36
BP-II-61A	14,7	6,4	13,5	60,09
VR-94A	9,5	6,8	17,0	61,06
VR-5024	11,2	4,7	17,0	61,15
AP-X-66	13,5	-	-	61,93
SP TUP 11	22,0	-	-	61,94
AP TUP 28	13,9	-	-	63,27
BP-I-22	3,3	5,6	14,0	63,70
PS-PM-67	31,9	3,1	14,3	63,82
VR-5077	12,6	7,7	17,0	64,13
TR-PM-69A	74,7	6,9	11,5	64,34
BP-IV-53A	14,4	9,5	21,5	64,42
LE CM 10M	26,2	-	-	64,72
BP-II-26	9,4	7,2	21,8	64,91
VR-5029	77,5	26,7	17,0	65,57
VR-150B	101,8	9,1	17,9	66,24
BP-M-642	72,4	10,9	21,2	66,27
VR-201A	20,4	6,7	17,0	67,25
VR-5020	10,4	2,4	17,0	67,41
VR-5099	20,0	4,4	17,0	67,65
PS-PM-66	31,2	3,8	8,1	67,70
TR-MM-71A	20,1	2,1	5,2	67,72
APX29	44,5	-	-	68,05
EC-2002-04	17,4	-	-	68,49
VR-222A	30,1	7,0	17,0	68,63
VR-223A	44,8	6,6	17,0	69,43
VR-08	12,3	6,0	17,0	71,73

Valores mínimos e máximos

- $(La/Yb)_N$: 3,3 – 101,8 (30,7 vezes)
- Hf/Ta: 2,1 – 26,7 (12,6 vezes)
- Nb/Ta: 5,2 – 27,5 (5,3 vezes)

Com base nas razões entre elementos incompatíveis aplicado à série de alto-K do Complexo Quirino, podemos concluir que:

1) As razões entre elementos traços incompatíveis imóveis para a série de alto-K apresentam as mesmas variações que a do caso 1 (toda a população), para $(La/Yb)_N$, e Hf/Ta (30,66 e 12,58 vezes, respectivamente), com exceção da razão Nb/Ta (5,31 vezes), sendo todas as razões superiores a 1,5 vezes. Neste caso 2, os dados petrológicos também desfavorecem uma relação de cogeneticidade entre as amostras da série alto-K do Complexo Quirino exclusivamente por processos de cristalização fracionada.

6.6.2.3 – Caso 3

Tabela 6.6 - Razões entre elementos incompatíveis imóveis.				
CASO 3: Série cálcio-alcálica de médio-K				
	$(La/Yb)_N$	Hf/Ta	Nb/Ta	SiO ₂
BP-I-24	11,0	10,0	20,9	59,14
VAS-M-793	14,7	13,1	27,8	59,77
VAS-786B	10,6	4,9	11,9	59,92
BP-I-4(3)	8,2	14,4	25,0	59,98
BP-M-659	16,2	14,9	25,6	60,64
BP-I-40	14,6	15,6	18,5	63,01
NSA-V-66	16,6	12,6	25,8	65,29
NSA-V-49	15,6	21,3	33,3	65,76
EC-2002-09A	14,1	-	-	65,86
LECM 12B	23,8	-	-	66,82
TR-MM-72	19,7	4,6	11,5	67,53

Valores mínimos e máximos

- $(La/Yb)_N$: 8,2 – 23,8 (2,9 vezes)
- Hf/Ta: 4,6 – 21,3 (4,7 vezes)
- Nb/Ta: 36,7 – 41,4 (2,9 vezes)

Com base nas razões entre elementos incompatíveis aplicado à série de médio-K do Complexo Quirino, podemos concluir que:

1) Os elementos traços incompatíveis imóveis apresentam variação um pouco superior a 1,5 vezes, sendo de: 2,9 vezes para $(La/Yb)_N$; 4,7 vezes para Hf/Ta; e 2,9 vezes para Nb/Ta.

2) Neste caso 3, os dados petrológicos também desfavorecem uma relação de cogeneticidade entre as amostras de médio-K do Complexo Quirino exclusivamente por cristalização fracionada. Entretanto, a diminuição desta variação

(entre 2,90 e 4,65 vezes) se comparado com os casos 1 (6,30 e 30,66 vezes) e 2 (5,31 e 30,66) sugere a existência de uma menor quantidade de grupos/suítes para a série de médio-K ou até mesmo que todas as amostras representem uma única suíte cogenética que tenha evoluído por processo de assimilação concomitante à cristalização fracionada (AFC), ou ainda por diferentes quantidades de fusão parcial a partir de uma mesma fonte.

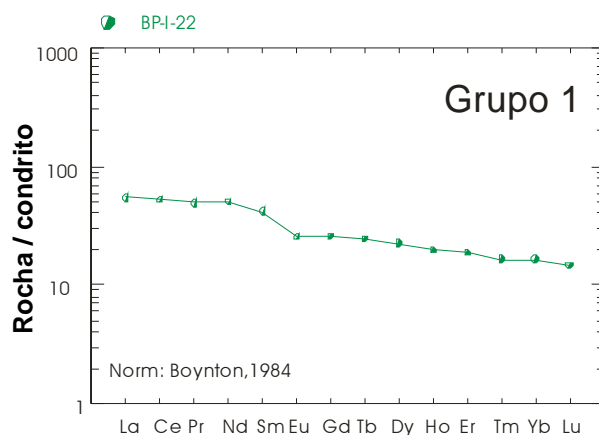
6.6.3 – Identificação de grupos afins

Utilizando a variação das razões $(La/Yb)_N$ conforme o limite de 1,5 vezes para suítes cogenéticas propostas por Cox *et al.*, (1979), e alguns critérios petrológicos como (p.ex.: petrografia, composição, padrão de ETR normalizados para o condrito, entre outros), foram identificadas alguns possíveis grupos/suítes dentro de cada uma dessas séries (1 a 8 para a série de alto-K; e 1 a 3 para a série de médio-K), apresentadas na ordem de menor para maior valor de razão $(La/Yb)_N$ e ilustrados pelos seus respectivos diagramas multielementares normalizados pelo condrito de Boynton (1984) (Figura 6.18).

A seguir serão apresentados os diversos grupamentos identificados neste trabalho com a proposta de pertencerem a suítes distintas dentro de cada uma das séries pertencentes ao Complexo Quirino:

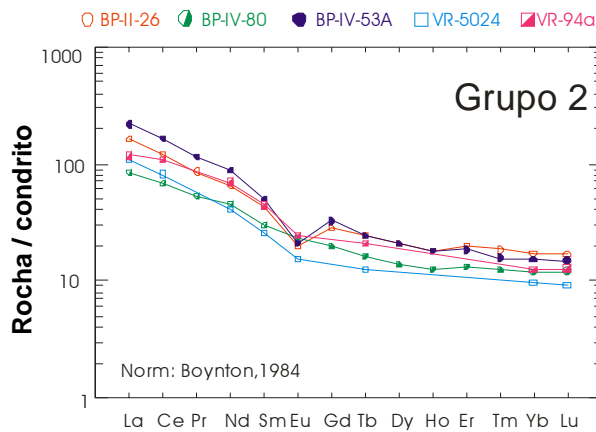
6.6.3.1 – Série de alto-K

Grupo 1 – Representado por apenas uma amostra de rocha intermediária de composição granodiorítica. Trata-se de um hornblenda-biotita gnaiss que apresenta padrão ETR subhorizontal de menor razão $(La/Yb)_N$ dentre todas as demais amostras avaliadas (3,32).



Amostra	SiO ₂ %	$(La/Yb)_N$	K ₂ O
BP -I -22	63,70	3,3	3,48

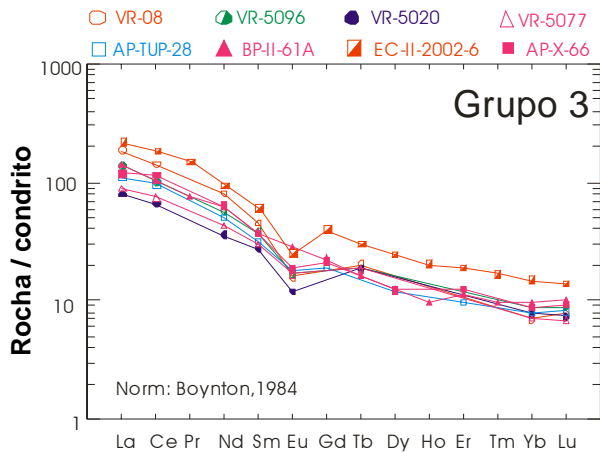
Grupo 2 – Compreende cinco amostras de hornblenda-biotita gnaiss, de composição variada (em geral, granodiorito/tonalito), porém com a amostra BP-IV-80 destacada das demais, sendo plotada no campo quartzo-monzodiorito em consequência do menor teor em sílica. Quimicamente, são rochas intermediárias com SiO₂ entre 55,97% e 64,91%. A razão (La/Yb)_N apresenta fracionamento moderado de (La/Yb)_N, sendo que esta razão varia entre 7,1 e 14,4 (2,0 vezes). O padrão de TRL apresenta-se levemente enriquecido contrapondo o padrão de TRP de aspecto subhorizontal ((Sm/Lu)_N= 2,5 - 3,5). As duas amostras com maior teor de SiO₂ (BP-II-26 e BP-IV-53A) se diferenciam nesse grupo por apresentarem forte anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* = 0,52 - 0,56).



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
BP-IV-80	55,97	7,1	2,69
VR-94A	61,06	9,5	3,80
VR-5024	61,15	11,2	2,64
BP-IV-53A	64,42	14,4	2,92
BP-II-26	64,91	9,4	3,57

Varição (La/Yb)_N = 2,0 vezes

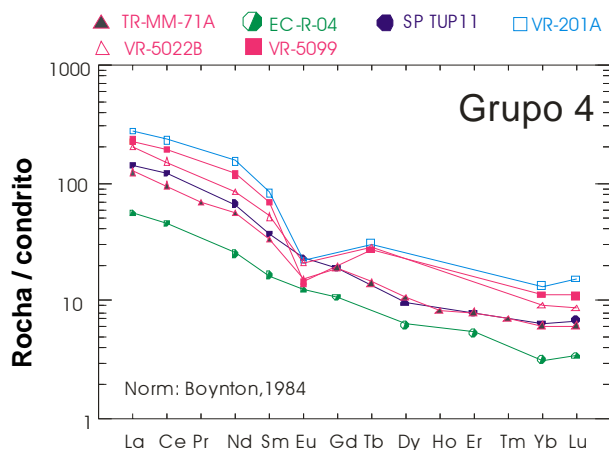
Grupo 3 – Este grupo constituído de rochas intermediárias a ácidas (SiO₂ entre 58,4% e 71,73%) representado pelo maior número de amostras (oito no total, sendo quatro de biotita gnaiss, duas de hornblenda-biotita gnaiss, uma de hornblenda gnaiss e uma de piroxênio-hornblenda-biotita gnaiss) de composição granodiorítica, em sua maioria, com exceção da amostra BP-II-61A (hornblenda gnaiss) que apresenta-se destacada no campo quartzo-monzodiorito, e da amostra VR-08 de composição granítica. Apresenta fracionamento (La/Yb)_N moderado e uma tendência de diminuição da razão (La/Yb)_N conforme o aumento de SiO₂. Este grupo foi diferenciado do anterior em virtude de não apresentar padrão subhorizontal de TRP ((Sm/Lu)_N= 3,73 - 5,91). A variação (La/Yb)_N entre 16,05 e 10,38 encontra-se em 1,55 vezes para este grupo. Com exceção da amostra BP-II-61A, todas apresentam anomalias negativas de Eu (Eu/Eu* = 0,52 - 0,75).



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
VR-5096	58,40	16,1	2,78
ECII-2002-6	59,36	14,6	2,89
BP-II-61A	60,09	14,7	4,15
AP-X-66	61,93	13,5	3,99
AP-TUP-28	63,27	13,9	3,43
VR-5077	64,13	12,6	2,68
VR-5020	67,41	10,4	2,88
VR-08	71,73	12,3	3,72

Varição (La/Yb)_N = 1,6 vezes

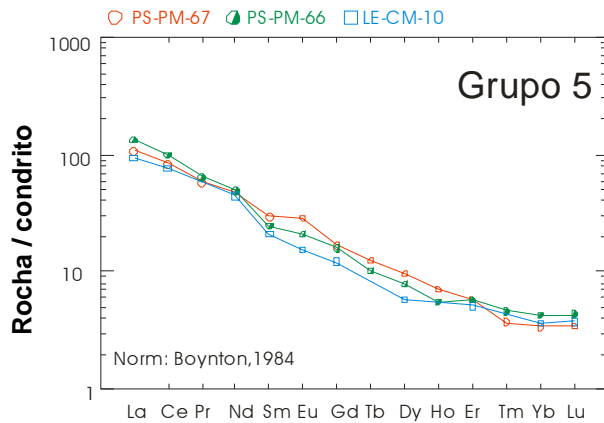
Grupo 4 – Este grupo é representado por seis amostras (quatro de biotita gnaiss e duas de hornblenda-biotita gnaiss) de rochas intermediárias a ácidas (SiO₂ entre 57,39% e 68,49%) de composição granítica em sua maioria, com exceção da amostra VR-5022 (tonalito), que apresenta menor teor de sílica e potássio. Também apresenta um fracionamento (La/Yb)_N moderado e uma tendência de diminuição de (La/Yb)_N conforme o aumento de SiO₂. A variação (La/Yb)_N entre 22,0 e 17,4 é de 1,3 vezes para este grupo. A análise do padrão de ETR normalizado para o condrito mostra similaridades mais representativas entre as amostras de biotita gnaiss (VR-5022B, VR-201A, VR-5099 e TR-MM-71A) com forte anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* = 0,33 - 0,59). As demais amostras apresentaram padrão normal de Eu com valores de Eu/Eu* entre 0,85 - 0,95).



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
VR-5022B	57,39	21,9	2,9
SP-TUP-11	61,94	22,0	3,35
VR-201A	67,25	20,4	4,94
VR-5099	67,65	20,0	4,66
TR-MM-71A	67,72	20,1	3,61
EC-2002-R4	68,49	17,4	3,35

Varição (La/Yb)_N = 1,3 vezes

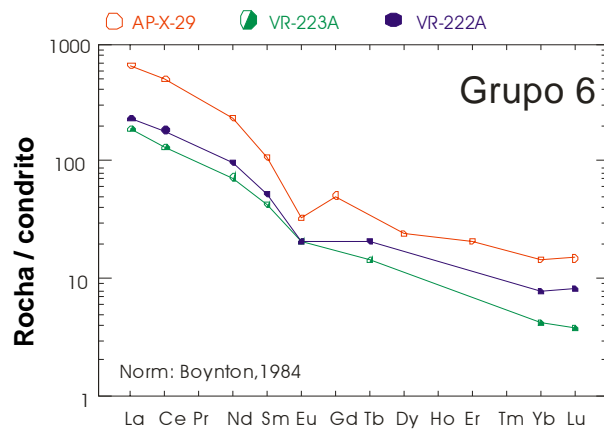
Grupo 5 – Constituído por três amostras de composição granítica/granodiorítica (duas de hornblenda-biotita gnaiss e uma de biotita gnaiss), intermediárias a ácidas (SiO₂ entre 63,82% e 67,70%), e apresenta padrões de ETR mais fracionados com (La/Yb)_N entre 26,2 e 31,9. Esta variação é de 1,2 vezes para este grupo. Nota-se, ainda, um leve enriquecimento de Eu (Eu/Eu* = 0,95 - 1,31).



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
PSPM67	63,82	31,9	4,17
LE-CM-10M	64,72	26,2	3,37
PSPM66	67,70	31,2	4,00

Varição (La/Yb)_N = 1,2 vezes

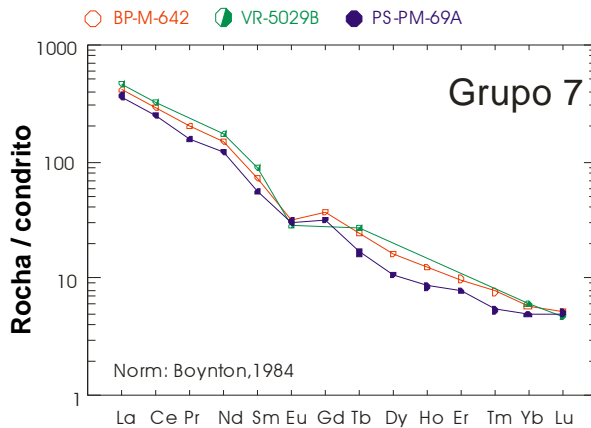
Grupo 6 – Constituído de três amostras ácidas de biotita gnaiss (SiO₂ entre 68,05% e 69,43%), todas de composição granítica. O padrão de ETR encontra-se fortemente fracionado, principalmente para os TRL, com razões (La/Sm)_N entre 4,4 e 6,0, enquanto os TRP apresentam razões (Sm/Lu)_N entre 6,5 e 11,3. A razão (La/Yb)_N entre 30,1 e 44,5 varia 1,5 vezes para este grupo. Anomalias negativas de Eu (Eu/Eu* = 0,44 - 0,83) também são observadas nestas amostras.



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
AP-X-29	68,05	44,49	6,14
VR-222A	68,63	30,11	4,96
VR-223A	69,43	44,47	5,58

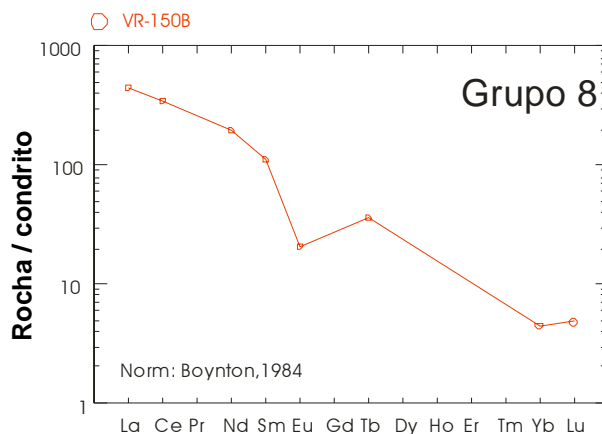
Varição (La/Yb)_N = 1,48 vezes

Grupo 7 – As três amostras que compõem este grupo (duas de biotita gnaiss e uma de hornblenda-biotita gnaiss) possuem SiO₂ entre 64,34% e 66,27% e apresentam composição granítica. Tais amostras são fortemente fracionadas em termos de ETR, tanto para TRL ((La/Sm)_N = 5,2 - 6,6) quanto para TRP ((Sm/Lu)_N = 10,8 - 18,7). As razões (La/Yb)_N entre 72,4 e 77,5 variam muito pouco para este grupo. Todas as amostras apresentam anomalias negativas de Eu (Eu/Eu* = 0,57 - 0,73). Este grupo foi separado do anterior por apresentar padrão de TRP mais diferenciado.



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
PS-PM-69A	64,34	74,7	4,70
VR-5029B	65,57	77,5	4,58
BP-M-642	66,27	72,4	4,13

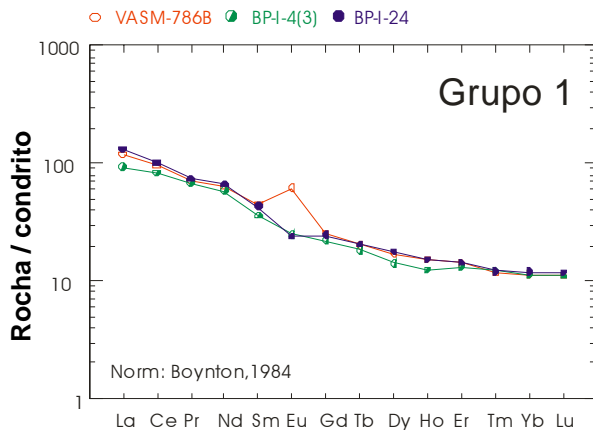
Grupo 8 – Este grupo é representado por uma única amostra (VR-150B) que corresponde a um biotita-gnaiss de composição granítica, apresentando o maior fracionamento (La/Yb)_N dentre todas as demais estudadas ((La/Yb)_N = 101,8) e forte anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* = 0,33). Esta amostra foi datada por Valladares (1996), com interceptos de 2185±8 Ma e 605±3 Ma (U-Pb em zircão, ID-TIMS).



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
VR150B	66,24	101,8	5,40

6.6.3.2 – Série de médio-K

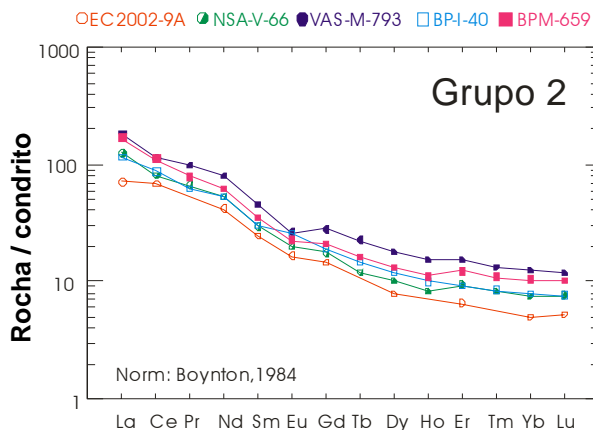
Grupo 1 – O primeiro grupo da série de médio-K é representado por três amostras intermediárias de hornblenda-biotita gnaiss (SiO₂ entre 59,14% e 59,98%) de composição tonalítica. Apresenta um leve fracionamento (La/Yb)_N com razões entre 8,2 e 11,0, variando pouco para este grupo. O padrão de ETR normalizado para o condrito, apesar de muito bem caracterizado graficamente para neste grupo, com razões TRL (La/Sm)_N entre 2,6 e 3,0 e TRP (Sm/Lu)_N entre 3,3 e 3,8, apresenta uma anomalia positiva de Eu (Eu/Eu* = 1,82) para a amostra VAS-786B, o que contrasta com a anomalia levemente negativa das demais (Eu/Eu* = 0,73-0,83).



Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
BP-I-24	59,14	11,0	2,11
VAS-786B	59,92	10,6	2,21
BP-I-4(3)	59,98	8,2	1,77

Varição (La/Yb)_N = 1,3 vezes

Grupo 2 – Constituído por cinco amostras intermediárias de hornblenda-biotita gnaisses (SiO₂ entre 59,77% e 65,86%), todas de composição tonalítica. Apresenta-se moderadamente fracionado com razões (La/Yb)_N entre 14,1 e 16,6, TRL (La/Sm)_N entre 2,9 e 7,5 e TRP (Sm/Lu)_N entre 2,0 e 4,7. A variação da razão (La/Yb)_N é muito pequena para este grupo.



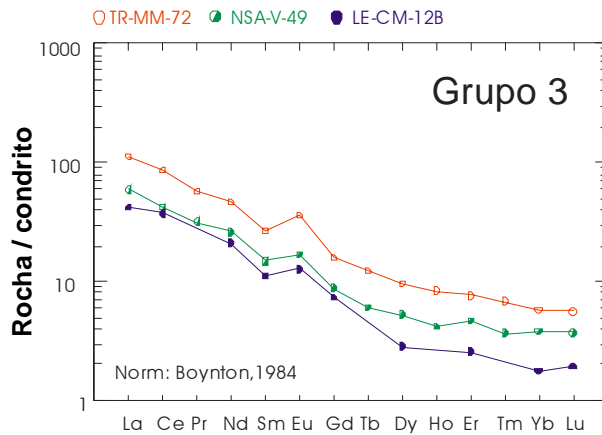
Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
VAS-M-793	59,77	14,7	2,06
BP-M-659	60,64	16,2	1,95
BP-I-40	63,01	14,6	1,18
NSA-V-66	65,29	16,6	2,17
E2002 09-A	65,86	14,1	1,05

Varição (La/Yb)_N = 1,2 vezes

Grupo 3 – Constituído por três amostras de composição tonalítica (duas de hornblenda-biotita gnaiss e uma de biotita gnaiss), com SiO₂ variando entre 65,76% e 67,53%, também apresenta fracionamento moderado de ETR, com razões (La/Yb)_N entre 15,6 e 23,8, TRL (La/Sm)_N entre 3,8 e 4,3 e TRP (Sm/Lu)_N entre 4,0 e 5,8. Todas apresentam anomalia positiva de Eu (Eu/Eu* = 1,4 – 2,0). A variação da razão (La/Yb)_N é de 1,5 vezes para este grupo.

NSA-V-49	65,76	15,62	1,59
LE-CM-12B	66,82	23,76	1,48
TR-MM-72	67,53	19,68	2,45

Amostra	SiO ₂	(La/Yb) _N	K ₂ O
---------	------------------	----------------------	------------------



Variação $(La/Yb)_N = 1,5$ vezes

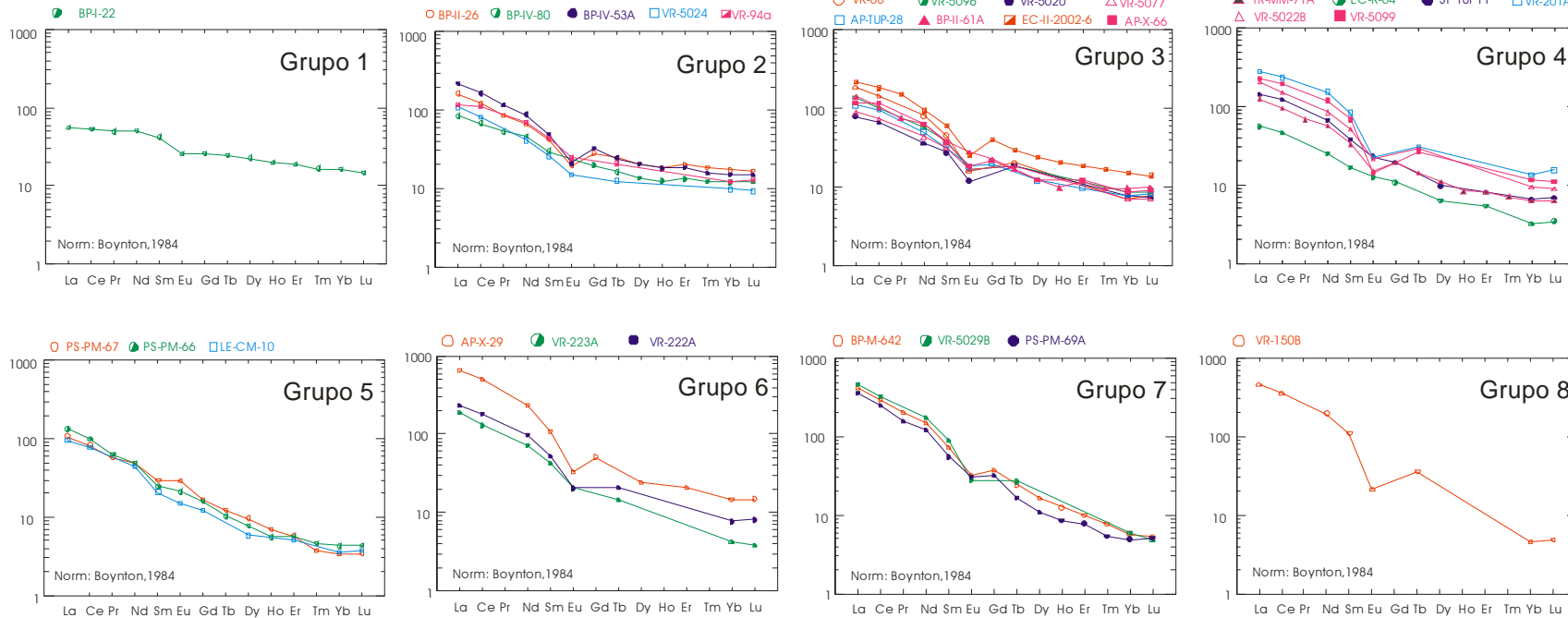
Analisando cada uma das séries originais, a normalização dos ETR pelo condrito de Boynton (1984) mostra que, de um modo geral, a série de alto-K apresenta um forte fracionamento em ETR para a maioria das amostras, com enriquecimento em ETR leves. As anomalias negativas de Eu predominam em 28 das 30 amostras e o conteúdo de La é moderado a alto, com $La_N = 55$ a 650 vezes o valor condrítico.

Para a série de médio-K, a normalização dos ETR pelo condrito mostra um fracionamento moderado e anomalias de Eu tanto positivas como negativas. O conteúdo de La é moderado, com $La_N = 30$ a 180 vezes o valor condrítico.

A simples divisão com base nas razões $(La/Yb)_N$ e padrões de ETR normalizados para o condrito (Boynton, 1984) não significa que as amostras agrupadas sejam cogenéticas. A geocronologia também será utilizada como ferramenta para testar a hipótese de existência de suítes compatíveis com os grupos 1 a 8 da série de alto-K e 1, 2 e 3 da série de médio-K.

Para as investigações geocronológicas, foram selecionadas as amostras: BP-IV-53A; EC-II-2002-6; TR-MM-71A; PS-PM-66; BP-I-40; e LE-CM-12B (Tabela 6.5). Nesta escolha preferiu-se adotar os grupos mais representativos em quantidade de amostra, levando-se em conta a distribuição geográfica, e excluindo-se aquelas que já tivessem datação prévia.

Série cálcio-alkalina alto-K



Série cálcio-alkalina médio-K

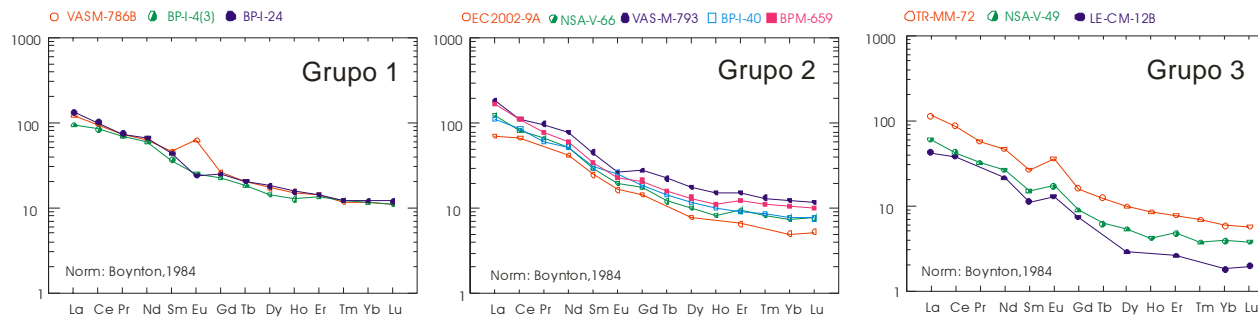


Figura 6.18 – Diagramas multi-elementares para as amostras do Complexo Quirino normalizadas para o condrito de Boynton (1984). Os grupos de cada série são indicados

6.7 – Conclusões

A grande quantidade de dados litogeoquímicos obtidos nos últimos anos para o Complexo Quirino, somada a alguns dados complementares em regiões até então carentes de tais informações (a nordeste do Terreno Paraíba do Sul), permitiu uma completa avaliação das características dessas rochas em âmbito regional,

Esta avaliação confirmou a existência das duas séries cálcioalcalinas já identificadas na literatura (alto-K e médio-K), não só pelo aspecto litogeoquímico, apresentando diferenças significativas entre a proporção de alguns elementos maiores, traços e padrões de terras raras, mas também por características petrográficas relacionadas às relações de minerais máficos (anfíbólio/biotita) e predomínio de feldspatos potássico ou plagioclásio (vide capítulo 5). Tratam-se de ortognaisses oriundos de ambiente compressivo de arco magmático.

Quanto às características de campo, estas duas séries são muito similares, sendo os contatos de difícil caracterização, apresentando as mesmas variações de texturas e deformações visto terem sido submetidas aos mesmos processos metamórficos em eventos posteriores, e apresentarem as mesmas ocorrências de enclaves (anfíbólicos, calcissilicáticos) de tamanhos e formas variadas. Porém, uma avaliação mineralógica identificando o predomínio tanto de anfíbólio ou biotita, quanto do K-feldspato e plagioclásio, pode ser utilizado para uma discriminação preliminar, em campo, a qual tipo de série determinado ortogneisse está relacionado, uma vez que a série cálcioalcalina de alto-K é constituída, predominantemente, de biotita-gnaisses de composição granítica/granodiorítica, enquanto que a série cálcioalcalina de médio-K é constituída, predominantemente, de hornblenda biotita-gnaisses de composição tonalítica.

O mapa 1 do Anexo 5 mostra a localização dos pontos do Complexo Quirino que contêm os dados litogeoquímicos aqui estudados. Neste mapa destaca-se a predominância de amostras pertencentes à série de alto-K em detrimento da série de médio-K, especialmente restrita. Nota-se, ainda, que os pontos pertencentes à série de médio-K ocupam um limitado setor no limite noroeste do Terreno Paraíba do Sul, próximo ao contato com o Terreno Ocidental, com exceção da amostra TR-MM-72, que por sua vez também está próximo a uma “lente” do Terreno Ocidental ao longo da Zona de Cisalhamento Paraíba do Sul.

Apesar do aparente modelo evolutivo de arco imaturo para arco maturo que as duas séries citadas poderiam indicar, gradando de um magmatismo intermediário para ácido, as idades U-Pb (apresentadas no capítulo 7) caracterizam a série de médio-K, como mais nova. Assim, a hipótese de fusão de crosta arqueana pré-existente durante o mesmo evento que gerou crosta juvenil no Paleoproterozóico, tem ganhado força, tendo em visto as idades T_{DM} arqueanas de Valladares *et al.* (2002) para a série de médio-K. Outros dados obtidos nesta tese para a série de médio-K, tais como as análises regressivas pelo método dos mínimos quadrados (sub-item 6.6.1), indicando a possibilidade de processos de assimilação concomitante à cristalização fracionada, e a maior concentração de zircões arqueanos herdados, também corroboram com esta hipótese. Este assunto será melhor abordado no capítulo 7 após a apresentação dos dados obtidos de geocronologia.

A atual pesquisa possibilitou a identificação de onze grupos afins, a partir de critérios petrológicos e geoquímicos, sendo oito pertencentes à série de alto-K e três à série de médio-K. Esta subdivisão foi utilizada para orientar a posterior investigação geocronológica U-Pb com base no método LA-ICP-MS em zircões conforme apresentada na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Relação dos diversos grupos caracterizados para o Complexo Quirino e suas respectivas amostras, com destaque para aquelas utilizadas em investigação geocronológica U/Pb.

SÉRIE ORTOGNAISSICA ALTO K – COMPLEXO QUIRINO					
GRUPO 1	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	OBSERVAÇÕES
	BP I 22	63,7	3,32	3,48	
GRUPO 2	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	BPIV80	55,97	7,06	2,69	
	VR94A	61,06	9,51	3,8	
	VR5024	61,15	11,16	2,64	
	BPIV53A	64,42	14,36	2,92	AMOSTRADO PARA DATAÇÃO
	BPII 26	64,91	9,43	3,57	
GRUPO 3	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	VR5096	58,4	16,05	2,78	
	EC-II-2002-6	59,36	14,56	2,89	AMOSTRADO PARA DATAÇÃO
	BPII61A	60,09	14,67	4,15	
	AP-X-66	61,93	13,49	3,99	
	AP-TUP-28	63,27	13,85	3,43	
	VR-5077	64,13	12,61	2,68	
	VR-5020	67,41	10,38	2,88	
	VR08	71,73	12,31	3,72	
GRUPO 4	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	VR5022B	57,39	21,94	2,9	
	SP-TUP-11	61,94	21,99	3,35	
	VR201A	67,25	20,39	4,94	
	VR5099	67,65	20,03	4,66	
	TRMM71A	67,72	20,13	3,61	AMOSTRADO PARA DATAÇÃO
	EC-2002-R4	68,49	17,42	3,35	
GRUPO 5	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	PSPM67	63,82	31,86	4,17	
	LE-CM-10M	64,72	26,23	3,37	
	VAS786C	65,35	32,45	4,09	
	PSPM66	67,7	31,21	4	AMOSTRADO PARA DATAÇÃO
GRUPO 6	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	AP-X-29	68,05	44,49	6,14	
	VR-223A	69,43	44,47	5,58	
	VR222A	68,63	30,11	4,96	
GRUPO 7	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	PSPM69A	64,34	74,65	4,7	
	VR5029B	65,57	77,48	4,58	
	BPM642	66,27	72,36	4,13	
GRUPO 8	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	VR150B	66,24	101,82	5,4	AMOSTRA DATADA
SÉRIE ORTOGNAISSICA MÉDIO K – COMPLEXO QUIRINO					
GRUPO 1	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	OBSERVAÇÕES
	BP-I-24	59,14	10,95	2,11	
	VAS-786B	59,92	10,56	2,21	AMOSTRA DATADA
	BP-I-4(3)	59,98	8,2	1,77	
GRUPO 2	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	VAS-M-793	59,77	14,67	2,06	
	BP-M-659	60,64	16,19	1,95	
	BP-I-40	63,01	14,63	1,18	AMOSTRADO PARA DATAÇÃO
	NSA-V-66	65,29	16,57	2,17	
	E2002 09-A	65,86	14,10	1,05	
GRUPO 3	Amostra	SiO₂	(La/Yb)_N	K2O	
	NSA-V-49	65,76	15,62	1,59	
	LECM 12B	66,82	23,76	1,48	AMOSTRADO PARA DATAÇÃO
	TR-MM-72	67,53	19,68	2,45	

