



**GEOLOGIA E PETROLOGIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS
DO CERRO ANA DIAS, REGIÃO DE QUITÉRIA, SUDESTE DO RS**

Porto Alegre, 2012

DIEGO SKIERESZ DE OLIVEIRA

**GEOLOGIA E PETROLOGIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS
DO CERRO ANA DIAS, REGIÃO DE QUITÉRIA, SUDESTE DO RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer
Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima

Supervisor: Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Porto Alegre, 2012

Oliveira, Diego Skieresz de
Geologia e petrologia das rochas riolíticas do Cerro
Ana Dias, região de Quitéria, sudeste do RS. / Diego
Skieresz de Oliveira - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2012.
[102 f]. il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. -
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2012.
Orientadores: Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer
Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima

1. Cinturão Dom Feliciano. 2. Batólito Pelotas. 3. Suíte Dom Feliciano. 4.
Riolitos. 5. Diques. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Miriam Alves CRB 10/1947

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “GEOLOGIA E PETROLOGIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DO CERRO ANA DIAS, REGIÃO DE QUITÉRIA, SUDESTE DO RS”, elaborado por “DIEGO SKIERESZ DE OLIVEIRA”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Edinei Koester

Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira

Dedico aos meus pais Moises e Maria Lucia, que de longe são as pessoas mais legais que já conheci, e a todas as pessoas que têm coragem.

AGRADECIMENTOS

A todos que acreditaram em mim e aos que contribuíram de alguma forma, possibilitando a realização deste trabalho.

Ao meu pai, Moises Vieira de Oliveira (*In memoriam*), meu mentor e ídolo; minha mãe, Maria Lucia Skieresz de Oliveira, por ser minha melhor amiga e nunca duvidar de mim; ao meu irmão, Wagner Skieresz de Oliveira, que sempre esteve ao meu lado; e minha avó, Martha Pesegoginski Skieresz, pelas longas conversas e risadas. Obrigado por me ensinarem tudo que sou hoje e pelo amor que foi me dado.

Ao Carlos Alberto Ferreira da Silveira, por todo apoio e confiança que me deu desde o início do curso.

Aos meus amigos que escolhi como irmãos que contribuíram muito mais que seu tempo para eu realizar este trabalho: Alessandro Chmiel dos Santos, Alex Vicente Spadini e Carla Treib Sarmento. Obrigado por fazerem a construção deste trabalho tão divertida.

A todo apoio dos meus amigos e compreensão pela minha ausência; aos Ivos; aos Feras, em especial a Cris Zatt Costa e Leonardo Pavlak Neis, meus colegas e amigos que trago desde sempre.

A UFRGS, pelo ensino de qualidade; ao Instituto de Geociências; e aos meus professores dedicados que tive durante o curso, em especial meu co-orientador, Prof. Evandro Fernandes de Lima, e supervisor, Prof. Ruy Paulo Philipp.

Agradeço muito ao Prof. Carlos Augusto Sommer, por me orientar durante os quatro anos de curso, pela paciência e dedicação em me guiar durante todo este trabalho. A quem sempre irei me espelhar.

Obrigado a todos por tudo.

*Não importa o quanto te subestimem, o quanto te chamem de fracassado.
Você deve sempre seguir e lutar pelos seus sonhos.*

Uzumaki Naruto

RESUMO

O Riolito Ana Dias situa-se na região de Quitéria, localizada cerca de 40 km ao sul do município de Butiá, RS. Está inserido no contexto do Batólito Pelotas, que é definido como uma associação petrotectônica, caracterizada por suítes graníticas com ocorrência subordinada de rochas máficas e xenólitos de rochas metamórficas, gerada desde o final do Neoproterozoico até o início do Paleozóico. As suítes graníticas estão afetadas por zonas de cisalhamento dúcteis de direção NE-SW, representando os principais condutos para a ascensão do magmatismo do batólito. O magmatismo ácido responsável pela geração do Riolito Ana Dias é normalmente relacionado às fases mais diferenciadas da Suíte Dom Feliciano (550-570 Ma), vinculada aos estágios finais de evolução do Batólito Pelotas, na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense. O Riolito Ana Dias é caracterizado como um corpo intrusivo, alongado na direção SW-NE, com dimensões de 18 x 4,5 km, intrusivo nos gnaisses do Complexo Arroio dos Ratos, Granito Quitéria, Granitoides Passo da Divisa e Granito Serra do Eral. Os riolitos ocorrem ainda na forma de diques métricos como manifestações tardias, intrudindo o corpo principal e as rochas encaixantes em direção NE-SW. As rochas riolíticas, no geral, apresentam textura porfírica a seriada e variação gradacional para rochas equigranulares finas. Os fenocristais são subédricos a euédricos de quartzo facetado, K-feldspato e subordinadamente plagioclásio e/ou hornblenda e perfazem cerca de 20% a 40% do volume da rocha. A matriz é afanítica a equigranular muito fina, de composição quartzo-feldspática, com presença subordinada de biotita. Os riolitos que ocorrem como diques apresentam invariavelmente uma textura porfírica, com fenocristais euédricos (40-50%) de K-feldspato (1-1,5cm) e quartzo (0,3cm), envoltos por uma matriz microcristalina quartzo-feldspática. No diagrama TAS as rochas estudadas ocupam o campo dos riolitos, próximo ao limite entre as séries alcalinas e subalcalinas. Apresentam um caráter metaluminoso a peraluminoso e teores elevados de SiO₂, álcalis, FeO_t/FeO_t+MgO e índice agpaítico e baixos conteúdos de Al₂O₃, CaO e MgO. Os valores de Zr, Rb, Y, Nb e Ga são moderados em comparação com os conteúdos relativamente baixos de Ba e Sr. Estas características geoquímicas de elementos maiores e traços são comuns em magmas ácidos de afinidade alcalina. O comportamento de alguns elementos-traços e ETR, quando normalizados segundo valores de ORG, mostra um enriquecimento em elementos mais incompatíveis, o que juntamente com a anomalia negativa em Ba, o leve enriquecimento em Ce em relação aos elementos adjacentes e o enriquecimento de K₂O e Rb em relação ao Nb são característicos de magmas derivados de fontes mantélicas, enriquecidas em elementos incompatíveis com alguma forma de participação crustal. O padrão de ETR mostra um moderado enriquecimento de ETR leves e uma forte anomalia em Eu. Em diagramas discriminantes de ambientes tectônicos, as amostras ocupam o campo dos granitos tipo A e dos ambientes pós-colisionais. Os dados litoquímicos obtidos indicam, preliminarmente, uma vinculação genética com as rochas graníticas mais diferenciadas da Suíte Dom Feliciano do Batólito Pelotas, associadas ao magmatismo Neoproterozoico pós-colisional do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Palavras-Chave: Cinturão Dom Feliciano, Batólito Pelotas, Suíte Dom Feliciano, Riolitos, Diques

ABSTRACT

Ana Dias Rhyolite is situated in the region of Quitéria, located nearly 25 miles South of Butiá, Rio Grande do Sul, Brazil. It is inserted in the context of Pelotas batholite, defined as a petroctonic association characterized by granite suits with subordinate occurrence of mafic rocks and xenoliths of metamorphic rocks, generated since the ending of Neoproterozoic until the beginning of Paleozoic. Granite suites are affected by zones of NE-SW ductile shear direction, representing the main conducts for the ascension of batholite's magmatism. The acid magmatism responsible for Ana Dias Rhyolite's generation is commonly related to the most differentiated phases of Dom Feliciano suite (550-570 Ma), entailed to the final stages of Pelotas batholite, East of Sul-Rio-Grandense Shield. Ana Dias Rhyolite is characterized as an intrusive body, lengthened on NE direction, dimensions 11 x 3 miles, intrusive on gneisses of Arroio dos Ratos Complex, Quitéria granite, Passo da Divisa granitites, and Serra do Erval granite. Rhyolites also occur in the form of metric dykes as late manifestations, intruding the main body and the fitting rocks on NE-SW direction. Generally, rhyolite rocks present porphyritic to serialized texture and gradational variation to fine-equigranular rocks. The phenocrysts are suberic to euhedral of faceted quartz, K-feldspar and subordinately plagioclase and/or hornblend and constitute about 20% to 40% of the volume of the rock. Its matrix is aphanite to very fine-equigranular, with quartz-feldspar composition, along with subordinate presence of biotite. The rhyolites that occur as dykes invariably present a porphyritic texture, with euhedral phenocrysts (40-50%) of K-feldspar (1-1,5cm) and quartz (0,3cm), wrapped by a microcrystalline, feldspar-quartz matrix. On TAS diagram, the studied rocks occupy the rhyolite field, next to the limit between alkaline and subalkaline series. They present a metaluminous to peraluminous character and elevated content of SiO₂, alkali, FeO_t/FeO_t+MgO and agpaitic index and low contents of Al₂O₃, CaO, and MgO. The values of Zr, Rb, Y, Nb, and Ga are moderate in comparison to the relatively low contents of Ba and Sr. These geochemistry characteristics of larger elements and traces are common in acid magmas of alkaline affinity. The behavior of some trace elements and REE, when normalized according ORG values, shows an enrichment in more incompatible elements, which along the negative anomaly in Ba, the slight enrichment in Ce related to adjacent elements, and the enrichment of K₂O and Rb related to Nb, are characteristics of magmas derivate of mantelic sources, enriched in incompatible elements with some degree of crustal participation. The REE pattern shows a moderate enrichment of light REE and a strong anomaly in Eu. On decriminalizing diagrams of tectonic environments, the samples occupy the granite field type A and post-collision environment. The litochemical data obtained preliminarily indicate a genetic entailment with the most different granite rocks of Dom Feliciano suite of Pelotas batholite, associated to neoproterozoic post-collision magmatism of Sul-Rio-Grandense Shield.

Keywords: Dom Feliciano's Belt, Pelotas batholite, Dom Feliciano suite, Rhyolites, Dykes

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização do município de Butiá e principais rodovias de acesso, onde A= Porto Alegre; e b = Butiá. A área de estudo está demarcada no quadrado vermelho. 19
- Figura 2 – Panorama paleogeográfico do Gondwana Sul-ocidental, mostrando as massas cratônicas (cinza claro) e os cinturões orogênicos Neoproterozoicos (escuro) e a posição aproximada do perfil paleotectônicos (faixa branca) mostrado na Figura 3; crátons: CAM – Amazônico; CSF – São Francisco; CC – Congo; CK – Kalahari; CLP – Rio de La Plata; cinturões Neoproterozoicos: DF – Dom Feliciano; RB – Ribeira; DA – Damara; G – Gariep; S – Saldania; o Cinturão Andino teve sua evolução posicionada no Fanerozoico. Fonte: Borba (2006). 23
- Figura 3 – Modelo evolutivo para o Cinturão Dom Feliciano, orógeno formado pela convergência dos crátons Rio de la Plata (América do Sul) e Kalahari (sul da África), e responsável pela configuração do Escudo Sul-Rio-Grandense (modificado de Chemale Jr., 2000); posição aproximada no Gondwana sul-ocidental na Figura 2. Fonte: Borba (2006). 24
- Figura 4 – A) Localização da área estudada na América do Sul. B) Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajai-Perimbó; 2- Major Gercino; 3- Santana da Boa Vista; 4- Dorsal de Canguçu; 5- Passo do Marinheiro; 6- Ibaré; 7- Sarandi Del Y; 8- Sierra Ballena; 9- Cerro Amaro; 10- Arroio Grande. Modificado de Hartmann *et al.* (2007) e Oyhantçabal *et al.* (2010). 25
- Figura 5 – Mapa geológico do batólito pelotas (a partir de Philipp *et al.*, 2009)..... 27
- Figura 6 - Fluxograma do projeto..... 35
- Figura 7– Modelo digital de elevação (MDE) da região do Cerro Ana Dias. 45
- Figura 8 – Mapa geológico simplificado da região do Cerro Ana Dias (Modificado de UFRGS 2006 & 2007 e Gregory, 2010)..... 46
- Figura 9 – Foto Panorâmica do Cerro Ana Dias de direção SE a partir da estrada para o Cerro. 47
- Figura 10 – Aspectos gerais de campo: a) afloramento de lajeado intensamente fraturado (SE-NW); b) riolito cataclasado. 47
- Figura 11 – Aspectos de campo: a) Afloramento de lajeado característico do RAD, ponto mais alto do ESRG; B) Afloramento de blocos, característico do RAD, com forte fraturamento (NW-SE) e cataclase..... 47
- Figura 12 – Foto Panorâmica para E a partir do topo do Cerro Ana Dias, mostrando contato com o Granito Serra do Erval. 48

Figura 13 – Foto Panorâmica para E a partir do topo do Cerro Ana Dias, mostrando a quebra do relevo no contato com o Granito Quitéria.....	48
Figura 14 – Amostras representativas do Riolito Ana Dias. a) e b) Fácies porfirítica com matriz equigranular fina e aparência plutônica; c) e d) Fácies porfirítica com matriz afanítica; e) e f) Diques de riolito porfirítico com fenocristais euédricos, envoltos em matriz afanítica.....	52
Figura 15 - Fotomicrografias mostrando: a) e b) c) Textura equigranular fina, onde cristais de quartzo e K-Feldspato apresentam-se facetados. LP; d) Cristal de quartzo com intercrescimento micrográfico nas bordas e granofírico (seta amarela). LP; e) e f) Anfibólios (hornblenda) alterados parcialmente para biotita, Clorita e Epidoto. LP.....	54
Figura 16 – a) Análise de anfibólio (2) e zircão (1) no MEV; b) e c) Fotomicrografia com cristal de zircão envoltos por anfibólio (Hornblenda). LP-LN.....	57
Figura 17 – Minerais analisados da amostra PAD003 no MEV: Pontos 1-4 = anfibólios; 5-6 = zircão; 7-8-10 = apatitas; 9: quartzo.....	58
Figura 18 – Minerais analisados da amostra PAD 003 no MEV: Pontos 1-2 = anfibólios; 3-4 = opacos; 5-6 = plagioclásio; 7 = ortoclásio.....	60
Figura 19 – Fotomicrografias mostrando feições típicas do RAD: a) Textura porfirítica com fenocristais de quartzo e microclínio em matriz afanítica. LP; b), c) e d) Quartzo facetado e com reentrâncias junto de K-feldspato sofrendo reabsorção em matriz afanítica, com alguns fenocristais quebrados. LP; e) Textura micrográfica e mirmequítica (seta amarela). LP; f) Fenocristais de quartzo, K-feldspato, plagioclásio com textura poiquilítica marcada pela inclusão do epidoto e biotita na matriz. LP.	62
Figura 20 – Fotomicrografias mostrando feições típicas dos Diques: a) Textura glomeroporfirítica dos cristais de quartzo. LP; b) Cristal de quartzo oval com sofrendo reabsorção. LP; c), d) e e) Textura geral da lâmina; f) Textura esferulítica (seta vermelha) de desvitrificação em alta temperatura. LP.	64
Figura 21 – Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo a razão Álcalis vs. Sílica, segundo Le Bas <i>et al.</i> (1986).....	70
Figura 22 – Diagramas de classificação e afinidade geoquímica; A) Diagrama R1 vs. R2 como proposto por De La Roche <i>et al.</i> (1980); B) Diagrama de classificação SiO ₂ vs. Zr/TiO ₂ como proposto por Winchester & Floyd (1977); C) Diagrama de classificação Zr/Ti vs. Nb/Y modificado de Pearce (1996). Círculo – Corpo principal; Triângulo – Diques.....	71
Figura 23 - Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório K ₂ O+Na ₂ O e razões K ₂ O/Na ₂ O, FeOt/FeOt+MgO e índice agpaítico (wt.%) em função da SiO ₂ (wt.%). Círculo – Corpo principal; Triângulo – Dique.....	72

Figura 24 – Diagrama de Shand com as razões molares entre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$, segundo Maniar e Piccoli (1989).	73
Figura 25 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação dos elementos maiores (wt.%) em função da SiO_2 (wt.%). Circulos – Corpo principal; Triângulos – Diques.....	74
Figura 26 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traço (ppm) com os teores de SiO_2 (wt.%). Legenda como a da Figura 25.....	76
Figura 27 – Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, segundo Pearce <i>et al.</i> (1984).	77
Figura 28 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas normalizadas pelo padrão condrítico (Nakamura, 1974).	78
Figura 29 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos segundo Pearce <i>et al.</i> (1984): Diagrama Rb vs. Y+Nb o círculo representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda como a da Figura 25.....	79
Figura 30 – Diagramas de classificação de granitoides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen <i>et al.</i> (1987): A) Nb vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; B) FeOt/MgO vs. $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$; C) $(\text{K}_2\text{O}) + \text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ D) Y vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; E) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; F) $(\text{K}_2\text{O}) + \text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$ G) IAGP vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; H) $\text{K}_2\text{O} / \text{MgO}$ vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; I) FeOt/MgO vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$. Legenda como a da Figura 25.....	80
Figura 31 – A) Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo a razão Álcalis vs. Sílica, segundo Le Bas <i>et al.</i> (1986). B) Diagrama R1 vs. R2 como proposto por De La Roche <i>et al.</i> (1980). Círculo vermelho Ana Dias, triângulo preto: diques Ana Dias; cruces verdes: diques Piratini; triângulo azul: granitoides da Suíte Dom Feliciano.	81
Figura 32 – Diagramas de classificação como proposto por Winchester & Floyd (1977). A) SiO_2 vs. Zr/TiO_2 . B) Zr/TiO_2 vs. Nb/Y. Legenda como a da Figura 31.....	82
Figura 33 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ e razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/\text{FeOt}+\text{MgO}$ e índice agpático (wt.%) em função da SiO_2 (wt.%).	83
Figura 34 – Diagramas Harker de variação dos elementos maiores (wt.%) em função da SiO_2 (wt.%). Legenda como a da Figura 31.	84
Figura 35 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traço (ppm) com os teores de SiO_2 (wt.%). Legenda como a da Figura 31.....	85

Figura 36 – Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, segundo Pearce <i>et al.</i> (1984). Legenda como a da Figura 31.....	86
Figura 37 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas normalizadas pelo padrão condrítico (Nakamura, 1974). Legenda como a da Figura 31.....	87
Figura 38 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos segundo Pearce <i>et al.</i> (1984): A) Diagrama Rb vs. Y+Nb o círculo representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda como a da Figura 31.	88
Figura 39 – Diagramas de classificação de granitoides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen <i>et al.</i> (1987): A) Zr vs. 10000*Ga/Al; B) Nb vs. 10000*Ga/Al; C) IAGP Vs. 10000*Ga/Al. Legenda como a da Figura 31.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa visual da composição mineralógica dos Riolitos porfíricos com matriz equigranular fina e aparência plutônica.	56
Tabela 2 – Dados qualitativos do MEV para a amostra PAD003-pto1_pt2,. 57	
Tabela 3 – Dados qualitativas obtidos pelo MEV para os pontos analisados em minerais conforme a Figura 17 (amostra PAD003).....	59
Tabela 4 – Dados qualitativas obtidos pelo MEV para os pontos analisados em minerais conforme a Figura 18 (amostra PAD003).....	60
Tabela 5 – Estimativa visual da composição mineralógica dos Riolitos porfíricos	63
Tabela 6 – Estimativa visual da composição mineralógica dos diques do Riolito Ana Dias.	65
Tabela 7 – Resultados de litoquímica para elementos maiores, menores,..	67
Tabela 8 – Resultados de litoquímica para menores, traços e terras raras nas amostras do corpo principal do Riolito Ana Dias.....	68
Tabela 9 – Resultados de litoquímica para elementos maiores, menores, traços e terras raras nas amostras dos diques do Riolito Ana Dias.....	69

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	18
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.3 PRESSUPOSTO	19
1.4 HIPÓTESE.....	20
1.5 OBJETIVOS.....	20
2. ESTADO DA ARTE – CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 CINTURÃO DOM FELICIANO.....	22
2.2 BATÓLITO PELOTAS	26
2.2.1 <i>Sistemas riolíticos Neoproterozoicos do Batólito Pelotas</i>	30
3. METODOLOGIA.....	34
3.1 ETAPA DE AQUISIÇÃO/COMPILAÇÃO DE DADOS.....	34
3.1.1 <i>Revisão Bibliográfica</i>	36
3.1.2 <i>Sensoriamento Remoto</i>	36
3.1.3 <i>Cartografia Digital</i>	36
3.2 ETAPA DE CAMPO	37
3.3 TRABALHOS DE LABORATÓRIO	37
3.3.1 <i>Petrografia</i>	38
3.3.1.1 <i>Laminação</i>	38
3.3.1.2 <i>Descrições Petrográficas</i>	38
3.3.2 <i>Litoquímica</i>	39
3.3.2.1 <i>Preparação das Amostras</i>	39
3.3.2.2 <i>Análise por ICP-AES</i>	40
3.3.2.3 <i>Análise por ICP-MS</i>	41
3.3.2.4 <i>Tratamento dos Dados</i>	42
3.3.3 <i>MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	42
3.3.4 <i>Sistema de Informações Geográficas (SIG)</i>	43
3.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO FINAL	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44

4.1 GEOLOGIA DA REGIÃO DO CERRO ANA DIAS	44
4.2 ASPECTOS PETROGRÁFICOS DO RIOLITO ANA DIAS (RAD)	51
4.2.1 Riolitos porfiríticos com matriz equigranular fina e aparência plutônica	53
4.2.2 Riolitos porfiríticos com matriz afanítica	61
4.2.3 Diques de riolitos porfiríticos de matriz afanítica	63
5. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA	66
5.1 LITOQUÍMICA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DO CERRO ANA DIAS	66
5.2 CORRELAÇÃO COM O MAGMATISMO GRANÍTICO DO BATÓLITO PELOTAS	80
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	94

1. INTRODUÇÃO

O Escudo Sul-Rio-Grandense, localizado na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, com aproximadamente 65.000 km², é composto por uma variedade de associações petrotectônicas geradas desde o período Pré-cambriano até o início do Paleozóico. Estas associações fazem parte do Cinturão Dom Feliciano, uma unidade gerada no final do Neoproterozoico e composta pelos terrenos São Gabriel, Tijucas, e pelo Batólito Pelotas. Esta última unidade é caracterizada por um intenso magmatismo associado ao período pós-colisional (Nardi & Bitencourt, 2009), responsável pela geração de significativas sequências vulcânicas e intrusivas associadas. As principais e mais abundantes manifestações vulcânicas ocorrem na porção oeste do escudo e são vinculadas a Bacia do Camaquã. Registros vulcânicos e subvulcânicos, principalmente de composição riolítica, também ocorrem no Batólito Pelotas.

O Batólito Pelotas foi definido por Fragoso César *et al.* (1986) como um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico, relacionado à evolução final do Ciclo Brasileiro. Segundo vários autores (Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2005; Fragoso César, 1991), o Batólito Pelotas é composto predominantemente por suítes granitoides associadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau. Esta complexa estrutura granítica é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno de NE-SW. As rochas vulcânicas ácidas e hipabissais de composição básica e ácida ocorrem associadas aos granitoides do Batólito, onde os termos riolíticos têm sido correlacionados principalmente com as suítes graníticas mais diferenciadas (Suíte Dom Feliciano) (Picada, 1971; Fragoso-Cesar *et al.*, 1986; Philipp,

1998; Philipp & Machado, 2001; Zanon, 2005; Zanon *et al.*, 2006). As manifestações vulcânicas deste magmatismo estão restritas a região do Cerro Chato (Herval, RS), ao passo que as ocorrências subvulcânicas ocorrem principalmente na região de Quitéria (Riolito Ana Dias) e na região de Piratini e Pinheiro Machado (enxame de diques básicos e ácidos Asperezas e Piratini). O Cerro Ana Dias é uma feição geomorfológica situada na região de Quitéria. É caracterizado por corpo intrusivo, de características subvulcânicas, alongado na direção NE, constituído por diques e rochas hipabissais riolíticas, estratigraficamente definido como Riolito Ana Dias.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A região do Cerro Ana Dias está localizada ao sul do município de Butiá, RS. A área do projeto é delimitada pelos meridianos 53°45'W e 53°50'W e paralelos 30°05'S e 30°15'S, abrangida pelas cartas topográficas (1:50.000) Passo das Canas (Folha SH-22-Y-A-III-4) e Quitéria (Folha SH-22-Y-B- I-4), da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

O principal acesso à região, partindo-se de Porto Alegre, é feito pela BR-290, por cerca de 83 km até o município de Butiá (Fig.1). A partir deste, segue-se por estrada secundária em direção ao sul, por aproximadamente 40 km, até as proximidades da região de Quitéria.



Figura 1 – Mapa de localização do município de Butiá e principais rodovias de acesso, onde A= Porto Alegre; e b = Butiá. A área de estudo está demarcada no quadrado vermelho.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O presente trabalho envolve o Cerro Ana Dias, que representa um corpo intrusivo riolítico de expressivas dimensões. Trabalhos anteriores têm caracterizada esta unidade como sendo constituída por rochas vulcânicas efusivas e piroclásticas e correlacionando-as às suítes mais diferenciadas do Batólito Pelotas. No entanto, estudos mais detalhados sobre o Riolito Ana Dias eram inexistentes. Os novos dados faciológicos, petrográficos e geoquímicos obtidos, juntamente com os existentes, possibilitarão uma interpretação mais precisa do ponto de vista vulcanológico e petrológico, com a consequente correlação com o magmatismo granítico do Batólito Pelotas.

1.3 PRESSUPOSTO

Trabalhos sobre a área do projeto são raros. Segundo alguns autores (e.g. Fragoso César, 1986), o Riolito Ana Dias seria caracterizado por tufos,

ignimbritos e diques riolíticos, e o magmatismo associado a ele tem semelhança composicional e geoquímica com corpos graníticos mais diferenciados da Suíte Granítica Dom Feliciano (Philipp, 1998).

1.4 HIPÓTESE

Pretende-se, a partir dos dados obtidos em campo e laboratório, fazer a caracterização faciológica e petrográfica do Riolito Ana Dias, de modo a propor os regimes de erupção, se efusivo ou explosivo, os mecanismos de transporte e, conseqüentemente, os tipos de depósitos associados. Os dados geoquímicos permitirão caracterizar o magmatismo riolítico e possibilitará tecer consideração sobre seus aspectos genéticos e evolutivos. Isso permitirá propor correlações do Riolito Ana Dias com as suítes graníticas mais diferenciadas do Batólito Pelotas.

1.5 OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo geral a caracterização geológica e petrológica das rochas subvulcânicas ácidas relacionadas ao Cerro Ana Dias, na região de Quitéria, RS. Como objetivos específicos, destacam-se:

a) mapeamento geológico de detalhe do corpo subvulcânico, investigando a relação deste corpo com as rochas encaixantes e geração de um mapa geológico que represente a distribuição espacial das rochas;

b) descrição petrográfica de detalhe da variação litológica relacionado ao corpo subvulcânico, destacando-se estruturas, variações texturais e mineralógicas, de forma a permitir a individualização de prováveis fácies;

c) caracterização geoquímica dos elementos maiores, traços e elementos terras raras, quanto a sua afinidade geoquímica, e a construção de hipóteses sobre a gênese e evolução do magmatismo.

d) correlação dos dados obtidos com os descritos para outras ocorrências de riolitos no Batólito Pelotas. Estes resultados serão fundamentais no estudo com o magmatismo granítico tardio, vinculado aos eventos finais de evolução do Batólito de Pelotas e relacionado aos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-africano.

2. ESTADO DA ARTE – CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 CINTURÃO DOM FELICIANO

A porção meridional da província Mantiqueira no Estado do Rio Grande do Sul é representada pelo Escudo Sul-Rio-Grandense (Almeida *et al.*, 1981), que é constituído, principalmente, por rochas relacionadas ao ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano (Neoproterozoico), com um embasamento metamórfico de idade Paleoproterozoica (Hartmann *et al.*, 1999; Soliani Jr. *et al.*, 2000).

O Escudo Sul-Rio-Grandense é composto por um antigo núcleo cratônico denominado de Cráton Rio de La Plata, representado pelo Terreno Taquarembó, que encontra-se envolto pelo Cinturão Dom Feliciano (Hartmann *et al.*, 2007). Este cinturão é composto, de oeste para o leste, pelos Terrenos São Gabriel e Tijucas e pelo Batólito Pelotas.

Fragoso César (1991) propôs um modelo de evolução mais detalhado, no qual o Escudo Sul-Rio-Grandense seria formado por dois cinturões móveis brasileiros, justapostos tectonicamente e com evoluções distintas. Estes cinturões estariam relacionados à superposição de orogénias produzidas pelos oceanos Adamastor e Charrua, marginais ao Continente Rio de La Plata. O Oceano Adamastor, situado a leste, seria responsável pelas orogénias do Cinturão Dom Feliciano, e o Oceano Charrua, situado a oeste, estaria envolvido nas orogénias da região ocidental do escudo.

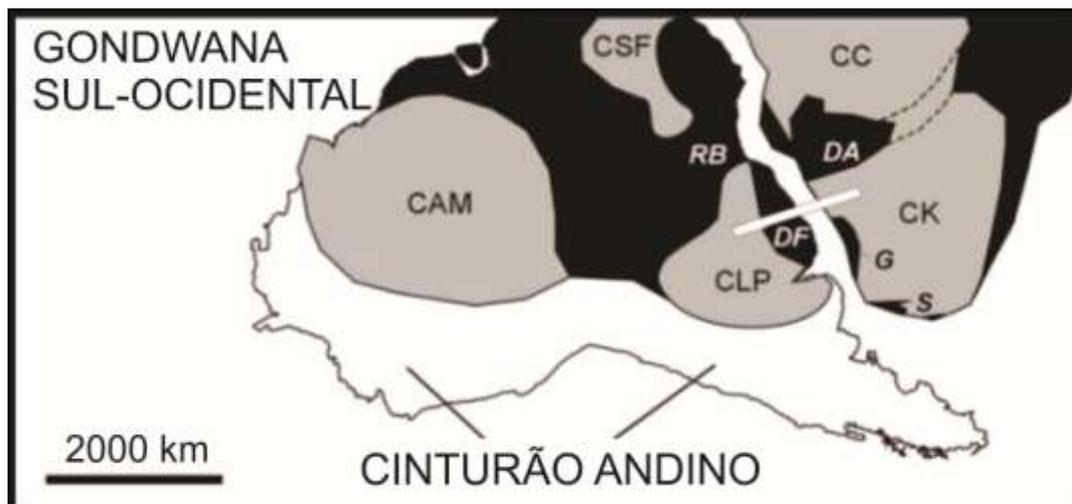


Figura 2 – Panorama paleogeográfico do Gondwana Sul-ocidental, mostrando as massas cratônicas (cinza claro) e os cinturões orogênicos Neoproterozoicos (escuro) e a posição aproximada do perfil paleotectônicos (faixa branca) mostrado na Figura 3; crátons: CAM – Amazônico; CSF – São Francisco; CC – Congo; CK – Kalahari; CLP – Rio de La Plata; cinturões Neoproterozoicos: DF – Dom Feliciano; RB – Ribeira; DA – Damara; G – Gariiep; S – Saldania; o Cinturão Andino teve sua evolução posicionada no Fanerozoico. Fonte: Borba (2006).

Uma interpretação evolutiva foi proposta por Fragoso César *et al.*, (1986; 1991), a partir de conceitos de Tectônica de Placas, no qual as rochas granitoides da porção central do Cinturão Dom Feliciano (Batólito Pelotas) representaria uma raiz de um arco magmático exumado, seguido de um evento de colisão com os Crátons Rio de La Plata e Kalahari (Fig. 3). O início da subducção da litosfera oceânica sob uma margem continental ativa se daria após a colisão. Este processo teria provocado um grande encurtamento e espessamento crustal, correspondente ao período de colisão continental que seria responsável pela geração de grandes volumes de magmas ácidos correspondentes a Suíte Pinheiro Machado e Suíte Cordilheira. A transição do período de colisão para o soerguimento pós-colisional teria sido marcada pela última fase compressiva do Cinturão Dom Feliciano, seguida por reativações de grandes lineamentos e deformações rúpteis associadas e formação de vários plutonitos como os da Suíte Dom Feliciano e Encruzilhada do Sul.

Dois eventos tectônicos foram propostos por Chemale (2000) e Fernandes *et al.* (1995) para explicar a configuração atual do Escudo Sul-Rio-Grandense. O primeiro constituiria um evento deformacional transversal ao alongamento do orógeno Dom Feliciano, definido por processos de

empurrão que gerariam zonas de cisalhamento sub-horizontais com transporte tectônico de E para W. O segundo evento seria caracterizado como uma deformação longitudinal ao orógeno, onde a deformação seria acomodada por zonas de cisalhamento transcorrentes, com lineações de estiramento paralelas ao alongamento do Cinturão Dom Feliciano. Este evento estaria associado à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal Canguçu, durante suas diversas fases de reativações (Fernandes *et al.*, 1989).

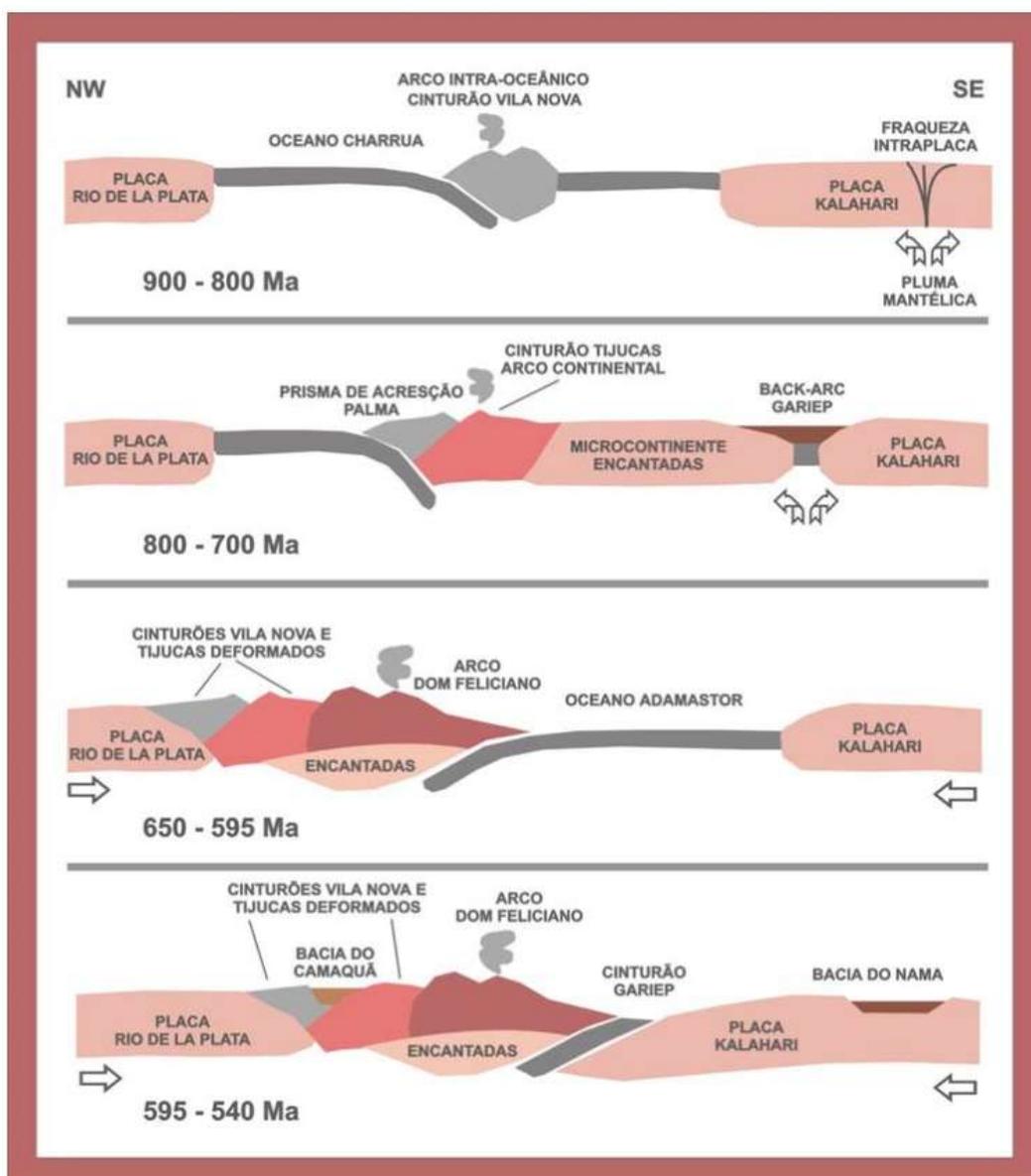


Figura 3 – Modelo evolutivo para o Cinturão Dom Feliciano, orógeno formado pela convergência dos crátons Rio de la Plata (América do Sul) e Kalahari (sul da África), e responsável pela configuração do Escudo Sul-Rio-Grandense (modificado de Chemale Jr., 2000); posição aproximada no Gondwana sul-ocidental na Figura 2. Fonte: Borba (2006).

Nardi & Bitencourt (2007) e Philipp *et al.* (2007) sugerem, através de dados estruturais, geoquímicos e geocronológicos, que a formação do Cinturão Dom Feliciano seria resultante predominantemente por episódios magmáticos associados ao período pós-colisional, relacionados ao final da evolução do Neoproterozoico do sul do Brasil. O magmatismo pós-colisional seria controlado em diversas etapas, pela mesma descontinuidade de escala litosférica, ativa entre 650 e 580 Ma, denominado Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro (CCSb) (Fig. 4) (Nardi & Bitencourt, 2007). Este cinturão é representado por diversas zonas de cisalhamento anastomosadas, de espessura quilométrica e cinemática predominantemente transcorrente. A maior parte dessas zonas é subvertical, com direção variável entre NS e N60E, e deslocamento horário ou anti-horário.

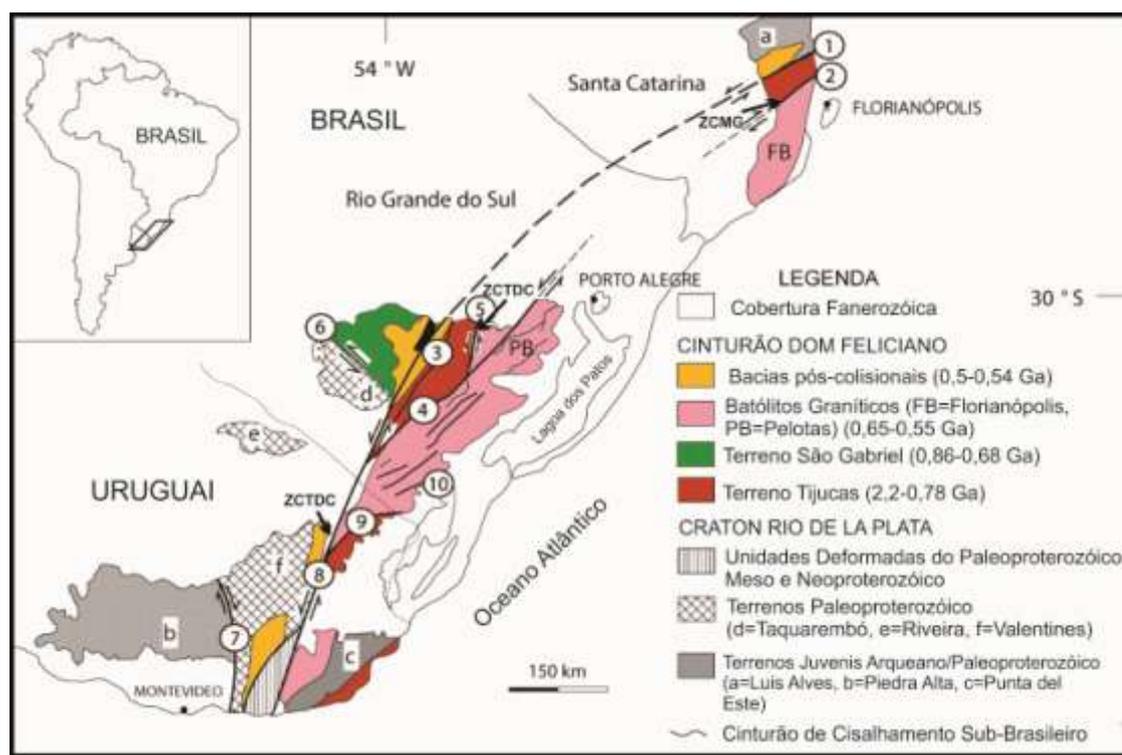


Figura 4 – A) Localização da área estudada na América do Sul. B) Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajai-Perimbó; 2- Major Gercino; 3- Santana da Boa Vista; 4- Dorsal de Canguçu; 5- Passo do Marinheiro; 6- Ibaré; 7- Sarandi Del Y; 8- Sierra Ballena; 9- Cerro Amaro; 10- Arroio Grande. Modificado de Hartmann *et al.* (2007) e Oyhantçabal *et al.* (2010).

2.2 BATÓLITO PELOTAS

O Batólito Pelotas (Fig. 5) localiza-se na porção central do Cinturão Dom Feliciano e foi descrito originalmente como uma área estável, composta por uma associação de rochas cristalinas Pré-cambrianas e denominada “Cráton Dom Feliciano” (Picada *et al.*, 1971; Issler *et al.*, 1972 apud Philipp *et al.*, 2000). O termo Batólito Pelotas foi definido por Fragoso César *et al.* (1986) para agrupar o complexo plutônico como um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico, cuja evolução estaria relacionada à evolução do Ciclo Brasileiro (Frantz & Remus, 1986; Soliani Jr., 1986; Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990).

O magmatismo de grande volume no Batólito Pelotas teria sua origem entre 650 e 580 Ma, e foi atribuído a um ambiente de arco magmático acima de zona de subducção do Oceano Adamastor, com mergulho para oeste (Fernandes *et al.*, 1995) ou de um oceano localizado a oeste do Batólito Pelotas e mergulhando para leste (Chemale Jr., 2000). Entretanto, Philipp *et al.* (2000), Philipp & Machado (2002), assim como Bitencourt & Nardi (2000), sugerem que a geração do magmatismo do Batólito Pelotas estaria associado a ambientes pós-colisionais associados aos processos finais do ciclo orogênico Brasileiro-Panafricano.

O Batólito Pelotas, segundo levantamentos geológicos e geofísicos de Shukowsky & Mantovani (1991) e Hallinan (1993), tem cerca de 400 km de comprimento e larguras, variando de 80 a 120 km. Possui continuidade para norte, no estado de Santa Catarina, e para sul, no Uruguai. O Batólito Pelotas é composto essencialmente por suítes granitoides relacionadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau (Philipp, 1998; 2001). Esta estrutura granítica complexa é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno de NE-SW (Fragoso César, 1991).

Philipp *et al.* (2002, 2005) e Oliveira *et al.* (2001) propõem, a partir de dados geoquímicos e petrológicos, a subdivisão do Batólito Pelotas em um complexo granítico (Complexo Pinheiro Machado), com idades de 625-635 Ma, e sete suítes principais (Suíte Cordilheira, Suíte Erval, Suíte Viamão,

Suíte Piquiri, Suíte Encruzilhada do Sul, Suíte Dom Feliciano e Suíte Itapuã), com idades mais novas variando entre 550 e 600 Ma.

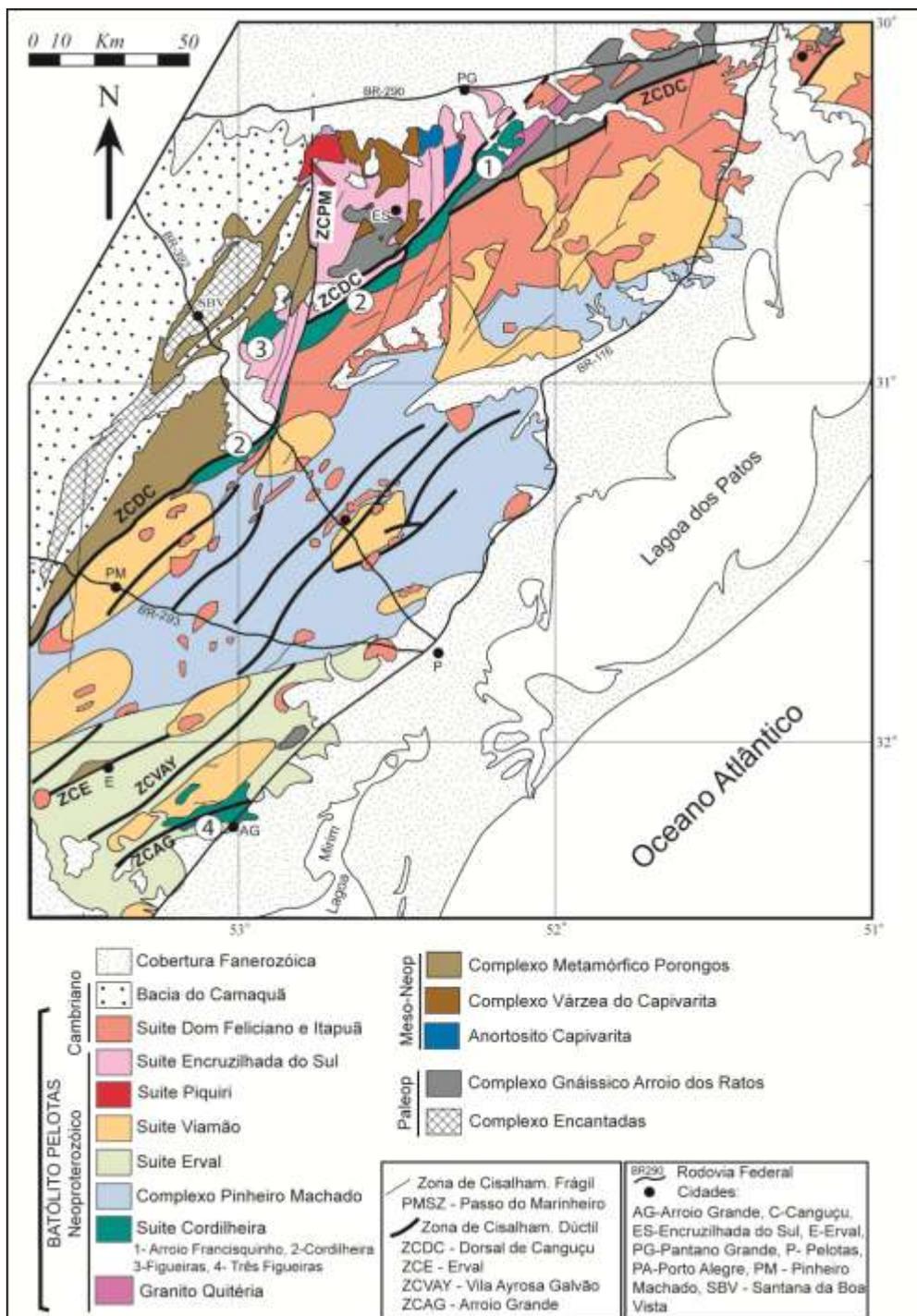


Figura 5 – Mapa geológico do batólito pelotas (a partir de Philipp *et al.*, 2009).

Os granitoides da **Suíte Cordilheira (SC)** afloram no extremo oeste do Batólito Pelotas e apresentam composição monzo a sienograníticas, com textura equigranular a heterogranular, composição cálcico-alkalina alto-K e caráter peraluminoso (Philipp *et al.*, 2007). A suíte possui idades Rb-Sr de

617 ± 48 Ma e 630 ± 22 Ma, (Koester, 1995) e U-Pb TIMS em cristais de zircão entre 634 e 625 ± 6 Ma (Frantz *et al.*, 2003), obtidas ambas idades nos granitos Cordilheira e Francisquinho.

O **Complexo Pinheiro Machado (CPM)** ocupa uma faixa alongada na direção NE-SW na porção central do Batólito Pelotas. É constituída de granitoides, enclaves máficos e um amplo grupo de xenólitos de rochas gnáissicas e migmatíticas, sendo o metamorfismo restrito às zonas de cisalhamento dúctil. Próximo aos granitos da Suíte Granítica Dom Feliciano, os granitoides do CPM apresentam-se densamente fraturados. Estruturalmente, o CPM é afetado por dois eventos deformacionais: evento deformacional D1, correspondente às zonas de cisalhamento dúcteis sub-horizontais, e evento deformacional D2, relacionado às zonas de cisalhamento dúcteis subverticais. Durante este evento, as rochas da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado são truncadas pelos granitos da Suíte Intrusiva Viamão e da Suíte Granítica Dom Feliciano. Dados geocronológicos disponíveis indicam idades U-Pb e Pb-Pb em zircão entre 630 e 620 Ma para os granitoides da suíte (Babinski *et al.*, 1997; Philipp *et al.*, 2002) e cerca de 800-830 Ma para os xenólitos gnáissicos e migmatíticos (Soliani Jr, 1986) Pb-Pb.

A **Suíte Intrusiva Erval (SIE)** é localizada na porção sul do batólito e é composta por rochas graníticas com composição monzogranítica. Os xenólitos são de rochas metamórficas de baixo grau como mármore, rochas calci-silicáticas, quartzitos e mica xistos (Philipp, 1998). As litologias graníticas estão intensamente afetadas pelas zonas de cisalhamento dúctil subverticais e rúptil (D2) e rúptil dúctil (D3), ocorrendo registro de três grandes zonas de cisalhamento sobre as rochas da SIE: Zona de Cisalhamento Erval (ZCE); Zona de Cisalhamento Vila Ayrosa Galvão (ZCYAG); e Zona de Cisalhamento Arroio Grande (ZCAG) (Machado *et al.*, 1995).

A **Suíte Intrusiva Viamão (SIV)** é composta por termos monzograníticos, com raros granodioritos e sienogranitos subordinados que afloram em diferentes porções do Batólito Pelotas. Constituem corpos

alongados na direção N40° – 60°E, com 25 a 40 km de comprimento e 5 a 15 km de largura (Philipp, 2007). Dados geocrológicos disponíveis apontam idades U-Pb TIMS (Thermal ionization mass spectrometry), em zircão, entre 595 ± 1 Ma para o Granito Arroio Moinho (Babinski *et al.* 1997; Philipp *et al.*, 2002) e de 630 ± 6 Ma, para o Granito Viamão (Philipp *et al.*, 2007). Outros valores obtidos por Koester *et al.* (2008) para o Metagranito Quitéria (647 ± 4 Ma) podem indicar um amplo intervalo de geração, ou ainda, a existência de duas suítes distintas.

A **Suíte Piquiri** é composta pelos Sienitos Piquiri e Arroio do Silva, sendo representantes de um evento magmático de natureza alcalina potássica saturada com afinidade shoshonítica. Os sienitos foram datados pelo método Pb-Pb (TIMS, em zircão) em 611 ± 3 Ma, para o Sienito Piquiri, e 612 ± 3 Ma, para o Sienito Arroio do Silva (Philipp *et al.*, 2002) mais antiga, como já sugerido pela idade Rb-Sr de 615 ± 99 obtida por Soliani Jr. (1986).

A **Suíte Encruzilhada do Sul (SES)** está restrita à porção noroeste do batólito, perfazendo cerca de 10% de sua área. É constituída pelos granitos Encruzilhada do Sul, Pinheiros, Campinas e Pitangueiras. Petrograficamente, as rochas variam desde granodiorito até álcali feldspato granito. As idades geradas pelos granitos da Suíte Encruzilhada do Sul são de Rb-Sr de 587 ± 7 Ma (Vasquez, 1997), e idade U-Pb (TIMS) de 595 ± 4 Ma (Babinski *et al.*, 1997).

A **Suíte Dom Feliciano (SDF) e Itapuã** é a mais jovem do Batólito Pelotas. Embora seus granitos apresentem composições muito próximas das encontradas nas Suítes Viamão e Encruzilhada do Sul, são intrusivos nas demais suítes e apresentam seu posicionamento tardio a posterior às zonas de Cisalhamento D2. A SDF ocupa cerca de 20% em área do batólito e suas exposições se concentram na porção norte, onde fazem contato a oeste com a SC e o Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos, enquanto a leste o contato é com a SIV e SIPM. A SDF caracteriza-se por uma grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica, com a presença restrita de enclaves microgranulares e submicáceos. O principal corpo da suíte é lenticular e orientado na direção N50E, com cerca de 180 km de comprimento e 15 a

45 km de largura. Os corpos desta ocorrência, embora alongados, mostram colocação posterior às zonas de Cisalhamento D2, registrando apenas em alguns deles uma deformação dúctil incipiente. Os sienogranitos predominam sobre os ortoclásio-microclínio granitos, quartzo-sienitos e sienitos. Segundo Philipp (1998), a semelhança composicional e geoquímica da porção mais diferenciada desta suíte com os diques riolíticos encontrados em várias regiões do batólito (Pedras Altas, Coxilha do Fogo, Canguçu, Mariana Pimentel, Barão do Triunfo, Barra do Ribeiro e Porto Alegre), sugere o vínculo genético entre ambos. Os enxames de diques félsicos das regiões de Porto Alegre, Mariana Pimentel, Canguçu, Piratini e Pinheiro Machado estão intimamente associados com diques máficos, constituindo diques compostos (Philipp *et al.*, 1995; Philipp, 1998). A relação dos diques com os granitos da suíte é, até o momento, apenas espacial e carece de dados que permitam a sua correlação. Dados Rb-Sr mostram idades de referência de 572 ± 10 Ma (Cordani, 1974) e 550 Ma (Teixeira, 1982), com idade isocrônica de 547 ± 17 Ma (granitos e pegmatitos da cidade de Cristal), 544 ± 5 Ma (Granito Arroio dos Ladrões – Soliani Jr., 1986), 550 ± 6 Ma dos granitos equigranulares de Cristal e Dom Feliciano (Fragoso Cesar, 1991) e 560 ± 12 Ma dos riolitos da Serra das Asperezas (Soliani Jr., 1986). A idade obtida pelo método U-Pb TIMS em zircão para o Granito Ponta Grossa, indicou 600 Ma (Philipp *et al.*, 2007).

2.2.1 Sistemas riolíticos Neoproterozoicos do Batólito Pelotas

As manifestações vulcânicas e subvulcânicas riolíticas de idade neoproterozoica do Rio Grande do Sul são correlacionadas a um intenso magmatismo ácido, vinculado a diferentes associações petrotectônicas do Escudo Sul-Rio-Grandense. Os maiores volumes deste vulcanismo ocorrem na Bacia do Camaquã (centro-oeste do Escudo) e, subordinadamente, no Batólito Pelotas (leste do Escudo) (Sommer *et al.*, 2012).

Embora as rochas vulcânicas e subvulcânicas de composição ácida do Batólito Pelotas tenham sido geneticamente relacionadas com os

granitoides mais diferenciados do Suíte Dom Feliciano (550-570 Ma) (Fragoso-César, 1991; Philipp, 2000), poucos dados têm sido apresentados para corroborar esta hipótese (Philipp *et al.*, 1998; Zanon *et al.*, 2006). Segundo Sommer *et al.* (2012), os sistemas vulcânicos e subvulcânicos do Batólito Pelotas estão geograficamente associados a três domínios principais, que ocorrem normalmente paralelos a estruturas NE-SW: domínio sudoeste, domínio central e domínio nordeste.

No domínio sudoeste, na região de Herval - RS ocorrem os únicos registros de manifestações vulcânicas do Batólito Pelotas, representados por depósitos efusivos e piroclásticos, distribuídos em duas feições geomorfológicas de destaque: Cerro Chato e Cerro Partido.

O Cerro Chato é constituído por depósitos piroclásticos e efusivos. A seqüência piroclástica é caracterizada por ignimbritos com elevado grau de soldagem e com predomínio da fácies enriquecidas em cristais. São caracterizados pela abundância de cristaloclastos e fenocristais de feldspato alcalino e quartzo e pela textura eutaxítica, marcada pela orientação dos fiammes. A matriz é constituída por shards e cristaloclastos. Esferulitos são comuns e indicativos de processos de desvitrificação em alta temperatura. Subordinadamente ocorrem ignimbritos reomórficos e ricos em líticos. Os depósitos efusivos são caracterizados por derrames riolíticos, de textura porfirítica, com fenocristais de quartzo e feldspatos, envoltos por matriz afanítica hemicristalina. Estruturas de fluxo subverticais são comuns, e em algumas porções a rocha mostra-se holohialina com notável textura esferulítica.

O Cerro Partido é caracterizado por um corpo subvulcânico, alongado na direção NE-SW. É constituído por rochas riolíticas, com textura equigranular fina a glomeroporfirítica, com fenocristais de quartzo, K-feldspato e plagioclásio, envoltos por uma matriz equigranular fina, composta de plagioclásio, quartzo e K-feldspato. Dados químicos preliminares obtidos para as rochas vulcânicas da região do Cerro Chato indicam teores elevados de SiO₂ (68,85 até 77,14%), FeO_t, Na₂O, K₂O, Rb, Zr, Nb, Y, ETR, altos valores para as razões FeO_t/FeO_t+MgO e índice agpaítico (> 0,75) e baixos

valores para Al_2O_3 , MgO, CaO, Sr e Ba. Estes dados permitem caracterizar este magmatismo como de afinidade alcalina e caráter metaluminoso a peraluminoso (Rocha, 2009).

O domínio central é caracterizado por um enxame de diques ácidos métricos a decamétricos, com orientação dominante N10°W e N-S que ocorrem na região dos municípios de Pinheiro Machado e Piratini, RS (Riolito Asperezas; Enxame de diques de Piratini) (Almeida *et al.*, 1990; 1991; Zanon *et al.*, 2005). Esses diques são intrusivos em unidades do Batólito Pelotas, mas ocorre preferencialmente na Suíte Granítica Dom Feliciano. Em algumas porções, estes corpos são afetados por zonas de cisalhamento rúptil-ducteis (N40-50°E). Os riolitos têm texturas porfirítica, a glomeroporfirítica, com matriz afanítica ou muito fina. A textura esferulítica é comum, principalmente nos diques menos espessos. Possuem afinidades cálcio-alcalina alto-K, e caráter metaluminoso a levemente peraluminoso, com A/CNK entre 0,9 e 1,1, e A/NK entre 1,0 a 1,6, tendo teores de SiO_2 entre 67 e 77% (Zanon *et al.*, 2005). A origem dos Diques Riolíticos Asperezas conforme Frago Cesar (1991) seria sin-plutônicas e, portanto, a idade dos diques deve ser a mesma obtida nos granitos da Suíte Granítica Dom Feliciano. Através de evidências de contemporaneidade entre o magmatismo dos diques félsicos e máficos e pelo seu caráter tardio em relação às suítes graníticas mais jovens do Batólito Pelotas, Zanon *et al.* (2005) sugere que estes dois tipos de magmatismo da região de Piratini foram gerados em ambiente intra-placa.

No domínio nordeste, ocorre o Riolito Ana Dias (RAD), objeto deste trabalho. Esta unidade foi primeiramente descrita por UFRGS (1978) e posteriormente por UFRGS (2006, 2007) como sendo constituído por rochas hipabissais que ocorrem como um corpo intrusivo raso alongado na direção principal SW-NE com dimensões de 18 x 4,5 km no acidente geográfico Cerro Ana Dias (região de Quitéria), e na forma de diques métricos cortando as unidades Granito Arroio Francisquinho, Granito Quitéria, Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos e Granodiorito Cruzeiro do Sul (UFRGS, 2006). Os diques possuem direção principal S-SW e dimensões variadas. Segundo

UFRGS (2006), a unidade Riolito Ana Dias é constituída por rochas de cor avermelhada e textura porfirítica, caracterizada por fenocristais de quartzo facetado, plagioclásio e K-feldspato subédricos, perfazendo cerca de 30% da rocha, em matriz microcristalina quartzo-feldspática, com teor subordinado de biotita. Os fenocristais de feldspato alcalino possuem textura de desequilíbrio, como corrosão parcial a total.

Vários autores sugerem uma correlação do Riolito Ana Dias com as manifestações tardias da Suíte Dom Feliciano (Fragoso, 1978; Philipp, 1998), embora poucos dados tenham sido apresentados até agora para confirmar esta hipótese. Neste trabalho serão apresentados e interpretados novos dados que permitirão tecer consideração sobre aspectos genéticos e evolutivos do Riolito Ana Dias e sua possível correlação com o magmatismo mais diferenciado do Batólito Pelotas.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os materiais, equipamentos, técnicas e métodos de trabalho utilizados na obtenção dos dados geológicos e petrológicos do Riolito Ana Dias na região de Quitéria.

Devido à carência de dados sobre a área de estudo, a metodologia envolveu diversas escalas de trabalho, com diferentes ferramentas disponíveis nas geociências, a fim de desenvolver uma interpretação da área através de uma abordagem petrológica integrada.

A metodologia está separada em quatro etapas: aquisição/compilação de dados (pré-campo), campanha de campo, trabalhos de laboratório e integração final. Estas etapas podem ser visualizadas detalhadamente no fluxograma da Figura 6.

3.1 ETAPA DE AQUISIÇÃO/COMPILAÇÃO DE DADOS

Esta etapa do trabalho – pré-campo – envolveu, além de uma revisão bibliográfica, técnicas de sensoriamento remoto e cartografia digital. O objetivo desta fase do projeto foi agrupar e organizar todas as informações disponíveis publicadas sobre o Riolito Ana Dias, a fim de, inicialmente, realizar uma interpretação geológica preliminar da área e delimitar locais apropriados para a coleta dos dados de campo.

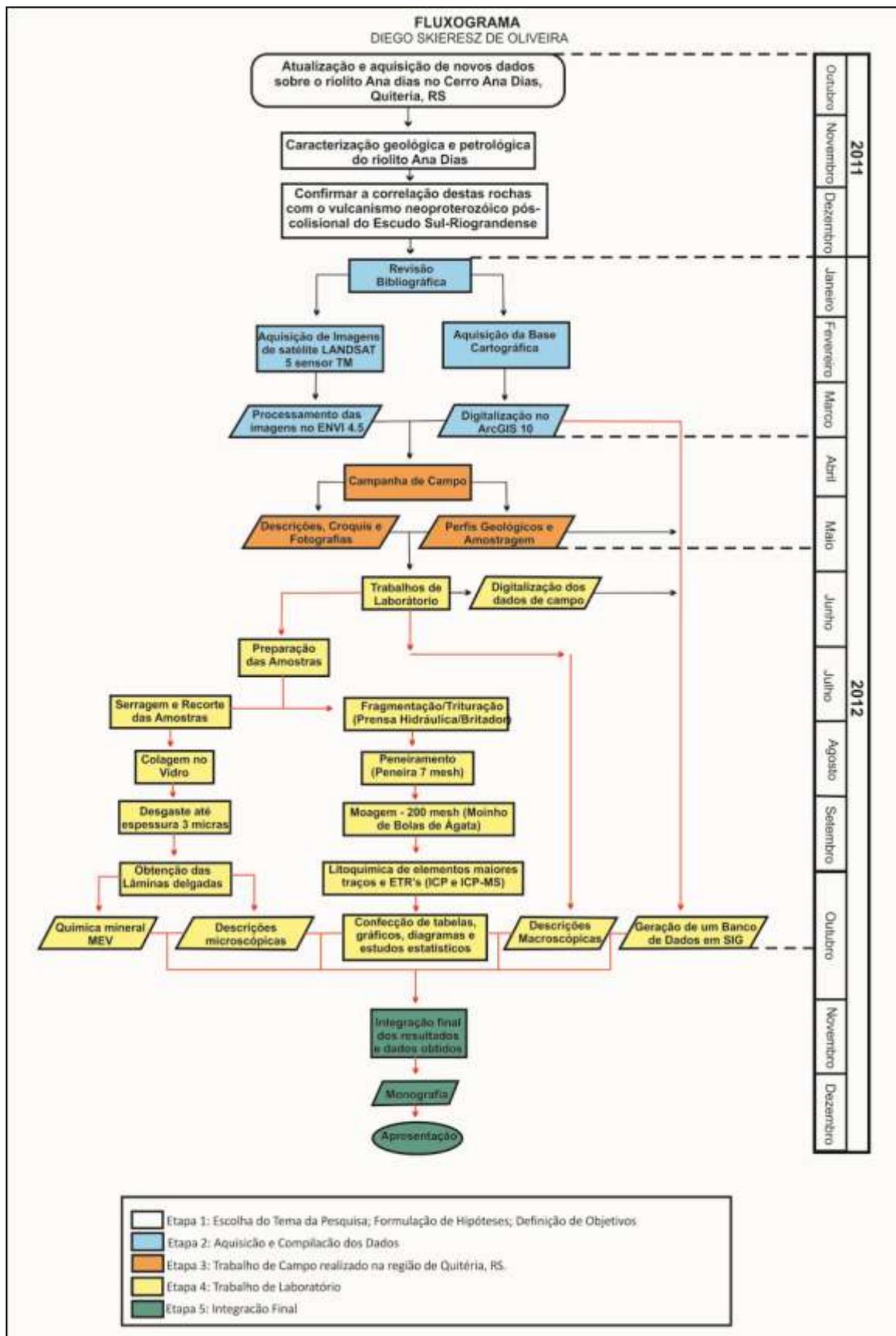


Figura 6 - Fluxograma do projeto.

3.1.1 *Revisão Bibliográfica*

Esta foi à primeira etapa do trabalho, na qual foi realizada a leitura de livros, periódicos científicos, resumos publicados em anais de eventos, teses, dissertações, monografias. Também foram feitos, bem como a aquisição de informações, mapas e figuras relativos ao contexto geológico regional da área estudada e qualquer outra informação adicional disponível sobre este trabalho.

3.1.2 *Sensoriamento Remoto*

Segundo Gupta (2003, p. 01), sensoriamento remoto pode ser definido como a “coleta de informações sobre um objeto na superfície terrestre sem que haja contato físico com ele”, sendo estas informações derivadas a partir da captação, através de um sensor, da radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida por este objeto.

Foi utilizado o recorte da Sub-cena da imagem do satélite LandSat-5, TM, órbita 222/081 de data 19/12/1995, e o programa ENVI 4.5. O resultado alcançado não foi satisfatório, devido a uma alta quantidade de corpos graníticos cuja assinatura espectral era muito semelhante ao corpo riolítico estudado.

3.1.3 *Cartografia Digital*

Os dados planialtimétricos foram obtidos através das folhas Passo das Canas (SH-22-Y-A-III-4) e Quitéria (SH-22-Y-B- I-4), da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, escala 1:50.000, do Serviço Geográfico do Exército do Brasil, junto à mapoteca do Departamento de Geodésia do IGEO/UFRGS. A carta topográfica foi utilizada como mapa base, na escala 1:50.000 e digitalizada no software ArcGIS 10. Para a digitalização das cartas, foi utilizado um escâner de rolo para escanear a carta e obter as imagens digitais da mesma em formatos “TIFF”. Após, esta carta foi

georreferenciada e foram criados arquivos vetoriais sobrepostos, constituídos por pontos, linhas e polígonos, com diferentes valores de latitude, longitude e cota altimétrica (x, y e z, respectivamente).

Esta digitalização teve a finalidade gerar um projeto em ambiente SIG, associado a um banco de dados digital que foi atualizado constantemente até o final do trabalho, com a inserção dos dados gerados em todas as etapas, com o auxílio de diversos softwares.

3.2 ETAPA DE CAMPO

A etapa de campo foi realizada entre os dias 16 e 17 de janeiro (dois dias) e dias 26 a 29 de abril de 2012 (quatro dias), tendo em vista que os principais aspectos abordados no projeto requereram amostragem, descrições de rocha, análise das relações estratigráficas e faciológicas.

Foram realizados perfis geológicos a fim de mapear o corpo do Riólito Ana Dias, com a descrição de afloramentos e aquisição de fotografias gerais, panorâmicas e de detalhe. Também foi realizada a coleta de amostras de rochas frescas para os trabalhos de petrografia e litoquímica. Um total de 36 afloramentos foi descrito, georreferenciados com um receptor GPS e plotados no sistema de coordenadas UTM na carta topográfica Quitéria.

Os dados gerados nesta etapa (descrições, croquis, fotografias e medidas estruturais) foram anexados ao banco de dados do projeto, no software Microsoft Excel 2007.

3.3 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Os trabalhos de laboratório foram essenciais para a organização dos dados e amostras coletadas em campo, além da geração do maior volume

de informações apresentadas neste trabalho. Os métodos de trabalho desta etapa são diversos, sobrepondo-se e complementando um ao outro; porém, para o melhor entendimento, estão separados em quatro grupos principais: petrografia, litoquímica, química mineral e SIG.

3.3.1 *Petrografia*

A seguir são listados os materiais e métodos que foram utilizados para a realização dos trabalhos de petrografia (obtenção das lâminas delgadas e descrições petrográficas) das rochas riolíticas.

3.3.1.1 *Laminação*

A laminação foi realizada no Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências/UFRGS. As amostras foram serradas e cortadas em fatias retangulares de aproximadamente 1 cm de espessura denominada esquírola. Posteriormente, esta fatia foi desbastada com lixas de diferentes granulações (120, 220, 600, 1.200, 2.500 e 4.000 grana) e submetida a processos de abrasão com abrasivos progressivamente mais finos, a base de carbetto de silício (900 μm) e óxido de alumínio (9,5 μm). O polimento foi feito através da politriz, com uma frequência de 100 rotações por minuto (rpm), durante 5 minutos, com a utilização de um abrasivo a base de alumina (0,3 μm). Ao final desta sequência de procedimentos, a fatia de rocha colada no vidro com a espessura correta (0,30 mm) está apta para a observação ao microscópio petrográfico de luz transmitida.

3.3.1.2 *Descrições Petrográficas*

As descrições petrográficas e fotografias foram realizadas junto ao Departamento de Mineralogia e Petrologia (DEMIPE) do Instituto de

Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Ao total, foram descritas 14 lâminas delgadas.

Com o auxílio de uma lupa binocular da marca Carl Zeiss Jena, com possibilidades de aumento variando de 10 a 100x, foram descritas as amostras e posteriormente fotografadas.

Foi utilizado para as lâminas delgadas um microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca Meiji Techno, modelo ML9720, objetivas com 10x de aumento e três possibilidades de lentes de aumento (2,5x, 10x e 40x). As fotomicrografias foram adquiridas por uma câmera acoplada a um microscópio petrográfico de luz transmitida da marca Leica e a um computador, junto ao Departamento de Mineralogia e Petrologia do IGEO/UFRGS.

O principal objetivo das descrições petrográficas, tanto macro quanto microscópicas, foi a separação dos litotipos vulcânicos de acordo com suas principais características litológicas, minerais, estruturais e texturais.

3.3.2 *Litoquímica*

A seguir são listados os materiais, equipamentos e técnicas utilizados para a realização dos trabalhos de litoquímica nas 31 amostras de rocha selecionadas.

3.3.2.1 *Preparação das Amostras*

As amostras foram enviadas ao Acme Analytical Laboratories Ltda., localizado em Vancouver, no Canadá, visando à identificação dos elementos maiores, traços e terras raras (ETR).

Primeiramente, foi utilizada uma prensa hidráulica para fragmentar as amostras em pedaços menores. Após isso, estes fragmentos foram reduzidos mais uma vez com o auxílio do almofariz (gral) de ágata com pistilo. Logo após, a amostra foi quarteada e encaminhada para a pulverização em um pulverizador (moinho) de bolas de ágata, permitindo

assim a obtenção de frações inferiores a 200 *mesh*, portanto, ficando apta para análises químicas nos equipamentos adequados, descritos a seguir.

3.3.2.2 Análise por ICP-AES

A técnica de espectrometria de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado (*ICP-AES – Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*) foi utilizada para a quantificação de óxidos de elementos maiores (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti e P), com limite de detecção de 0,01% e alguns elementos traço (Sc, Be, V, Ba, Sr, Y e Zr), com limite de detecção variando de 1 até 5 ppm.

A espectrometria de emissão atômica mede a intensidade da luz emitida por átomos ou íons excitados, quando ocorre uma transição de seu elétron de valência para um estado de energia mais baixa (fundamental). Esta transição é acompanhada da emissão de um fóton de energia característica na faixa da luz visível ou ultravioleta (espectro de emissão atômico, único para cada elemento).

A dificuldade de medir emissão atômica em chamas comuns é que a temperatura é baixa demais para excitar uma fração grande da maioria dos elementos. Praticamente apenas os metais alcalinos têm energias de excitação tão baixas que emitam luz em níveis detectáveis em temperaturas de chama comuns. Para atingir esta alta temperatura necessária, foram desenvolvidas as tochas de plasma de altíssima temperatura (~8000 K) acoplada indutivamente (ICP). Seu plasma é formado por elétrons e íons de argônio e é sustentado pelo movimento circular de íons e elétrons no campo magnético oscilante (radiofrequência de 27 ou 40 MHz) de uma bobina de indução (2 - 3 kW). A temperatura (de íons) no plasma atinge até 10.000 K, suficiente para excitar todos os tipos de átomos da amostra.

Através de três fluxos distintos de argônio em três cilindros concêntricos de quartzo, a tocha de plasma é alimentada. No mais interno é inserida a amostra através de um nebulizador (pneumático ou tangencial, com uma taxa controlada por uma pequena bomba peristáltica). No cilindro

intermediário passa um segundo fluxo de argônio auxiliar, que é “semeado” com elétrons livres, interagindo com o campo magnético e adquirindo energia suficiente para a ionização inicial do gás. Os íons de argônio percorrem trajetórias circulares (helicoidais) em torno das linhas de força axiais do campo magnético induzido, impactando nos átomos de argônio e produzindo constantemente novos íons para repor os que se recombinaram com elétrons. O cilindro externo tem como função canalizar argônio para refrigeração e estabelecer um fluxo tangencial dentro da tocha, evitando que o plasma entre em contato direto com os cilindros de quartzo. O consumo de argônio é de aproximadamente 1m³/h. A amostra passa pelo meio do plasma toroidal e a região de emissão máxima da amostra fica acima da região mais quente. A luz emitida é focalizada para um espectrômetro, onde as linhas de emissão são dispersas para diferentes posições angulares com auxílio de uma grade de altíssima resolução espectral. A detecção destas linhas é comparada às linhas de calibração e suas intensidades convertidas em concentrações (Hinrichs, 2009).

3.3.2.3 *Análise por ICP-MS*

A Espectrometria de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado foi utilizada para a quantificação dos demais elementos traço e elementos terras raras (ETR), com limite de detecção de 0,005 a 2 ppm.

A Espectrometria de massa funciona por meio da ionização das substâncias pelo plasma indutivamente acoplado. Estes íons gerados atravessam um campo magnético que curva suas trajetórias de modos diferentes, dependendo de suas massas. O campo separa os íons em um padrão chamado espectro de massa. A massa e a carga dos íons podem ser medidas por sua posição no espectro, possibilitando a identificação dos elementos e isótopos presentes na amostra.

O ICP-MS pode determinar concentrações da ordem de grandeza 1 a 2 vezes menor em comparação ao ICP-AES. A vantagem destas técnicas é a medição da maioria dos elementos da tabela periódica com baixos limites

de detecção e boa precisão, em um intervalo de tempo rápido (~2 minutos). As desvantagens consistem na destruição da amostra, no custo elevado, na dependência da calibração e no alto risco de contaminação.

3.3.2.4 *Tratamento dos Dados*

Os dados de elementos maiores, traços e ETR obtidos através das análises litoquímicas de rocha total foram organizados no banco de dados do projeto, no software Microsoft Excel 2007.

O software *Geochemical Data Toolkit* (GCDKit), versão 2.3, elaborado por Janoušek *et al.* (2006), foi utilizado para a visualização das composições químicas das amostras em gráficos binários e diagramas e para o cálculo da mineralogia normativa. Foi de fundamental importância a geração destes gráficos, diagramas e cálculos, para o desenvolvimento do trabalho, permitindo assim classificar os litotipos de acordo com sua composição química e, de uma maneira geral, o magmatismo quanto a sua afinidade química e provável ambiente tectônico.

3.3.3 *MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura*

Duas lâminas delgadas foram analisadas no Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS (CME/UFRGS), com um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca JEOL, modelo JSM 5800. Esta etapa teve como objetivo as análises químicas pontuais, a fim de caracterizar os minerais máficos e opacos.

O procedimento para análises no MEV é a metalização da lâmina ou amostra com C, Pd ou Au, realizado para a condução de elétrons pela amostra.

O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de um feixe de elétrons por um filamento de tungstênio, por meio da aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 KV. Este feixe de elétrons é colimado para que sua parte mais coesa e sem interferências possa atingir a amostra. Quando esse feixe atinge a amostra, os elétrons

dos elementos são arrancados, podendo ser das partes mais superficiais da amostra, gerando a imagem de elétrons secundários ou da parte mais interna, chamada imagem de elétrons retroespalhados (*backscattered electrons*), sendo os elétrons analisados, neste caso, aqueles arrancados por colisão elástica com o feixe.

Além disso, o MEV também possibilita uma análise química semiquantitativa por meio do EDS (*energy dispersive x-ray detector*). Esta técnica funciona por meio de um detector que capta a energia liberada pelas mudanças de níveis energéticos dos átomos excitados quando atingidos pelo feixe de elétrons. O pequeno diâmetro do feixe gera análises pontuais, excelentes para análises de pequenos minerais e zonações internas, porém esta técnica não possibilita a utilização de padrões, o que a torna semiquantitativa.

3.3.4 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Foi gerado um banco de dados com as informações geológicas de todos os pontos checados e georreferenciados em campo, visando à plotagem no mapa digital. A partir disso, foram gerados produtos como o mapa geológico da área estudada e o mapa de pontos e localização, ambos na escala 1:50.000.

3.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO FINAL

Nesta etapa foi realizada a integração de todos dados coletados, visando à caracterização faciológica e petrológica das rochas associadas ao Riolito Ana Dias, envolvendo aspectos estratigráficos e petrológicos. Esta integração final resultou na redação da monografia e na apresentação do trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 GEOLOGIA DA REGIÃO DO CERRO ANA DIAS

O Riolito Ana Dias (RAD) ocorre como uma feição geomorfológica de destaque na região de Quitéria, com aproximadamente 18 km por 4,5 km de largura. Apresenta orientação N70-E, sendo limitado por falhas com orientação preferencial NE-SW e N-S. O RAD aflora predominantemente em lajeados, geralmente em encostas de morros e como blocos. As altitudes variam desde áreas baixas, com cota de aproximadamente 300 metros no SW, até áreas mais altas, com cota de até 600 m, predominantemente no NE do Cerro, onde se tem o ponto mais alto do Escudo Sul-Rio-Grandense (Fig. 7).

O Riolito Ana Dias é caracterizado por duas formas de ocorrência principais: riolitos do corpo principal e diques de riolito. As rochas riolíticas do corpo principal apresentam uma variação faciológica não muito pronunciada, onde dominam os termos porfiríticos, com aparência plutônica e abundância (30-40%) em fenocristais de quartzo e feldspato alcalino, envolvidos por uma matriz inequigranular fina. Em algumas porções são observados riolitos porfiríticos, onde predominam fenocristais de quartzo (< 15%) em uma matriz muito fina à afanítica, podendo representar restos de margens resfriadas félsicas. Diques métricos de riolitos ocorrem como manifestações tardias, intrudindo o corpo riolítico principal e as rochas encaixantes em direções NE-SW. As rochas têm uma textura porfirítica,

caracterizada por fenocristais euédricos de feldspato alcalino e quartzo, envolvidos por matriz afanítica.

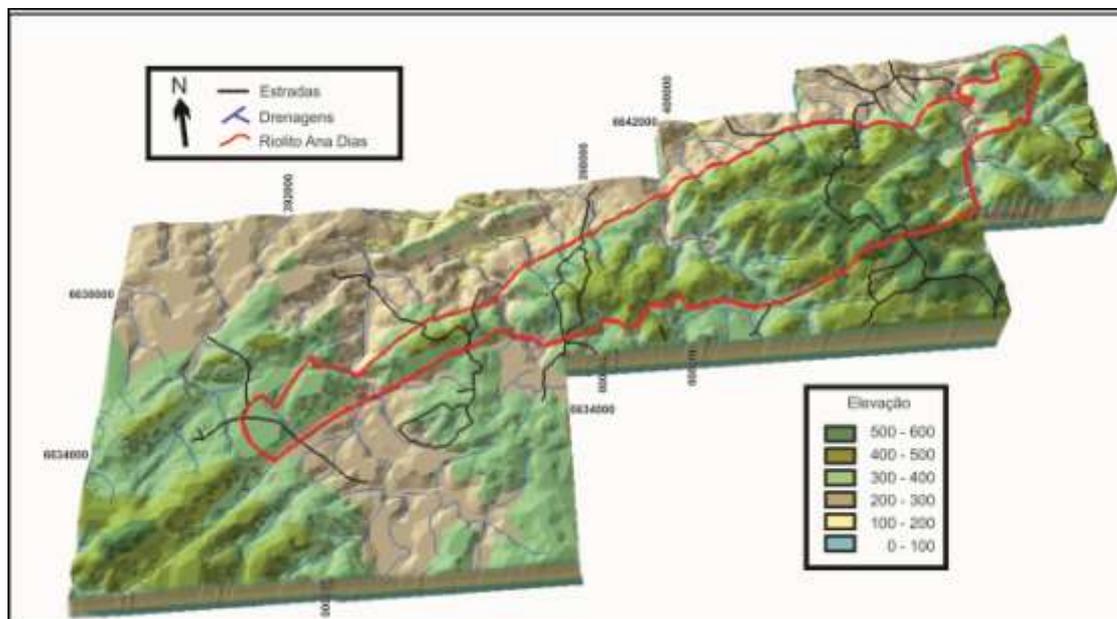


Figura 7– Modelo digital de elevação (MDE) da região do Cerro Ana Dias.

O Riolito Ana Dias (Fig. 8) é intrusivo nas suítes graníticas do Batólito Pelotas e apresenta as seguintes relações de contato: ao norte, o corpo principal faz contato com os Granitoides do Passo da Divisa por uma faixa de cataclasitos associados às zonas de deformação dútil; a leste, o corpo principal faz contato intrusivo no Granito Serra do Eral (Fig.12); ao sul, faz contato com o Granito Quitéria (Fig.13), Granitoides da Fazenda Varig e Riolito Cerrito, por um contato de natureza brusca, o que sugere um contato por falhamento. Estas zonas de falha são visivelmente marcadas por lineamentos observados em imagens orbitais e concordantes com as atitudes das fraturas observadas em campo (E-W a NE-SW e subordinadamente N-S).

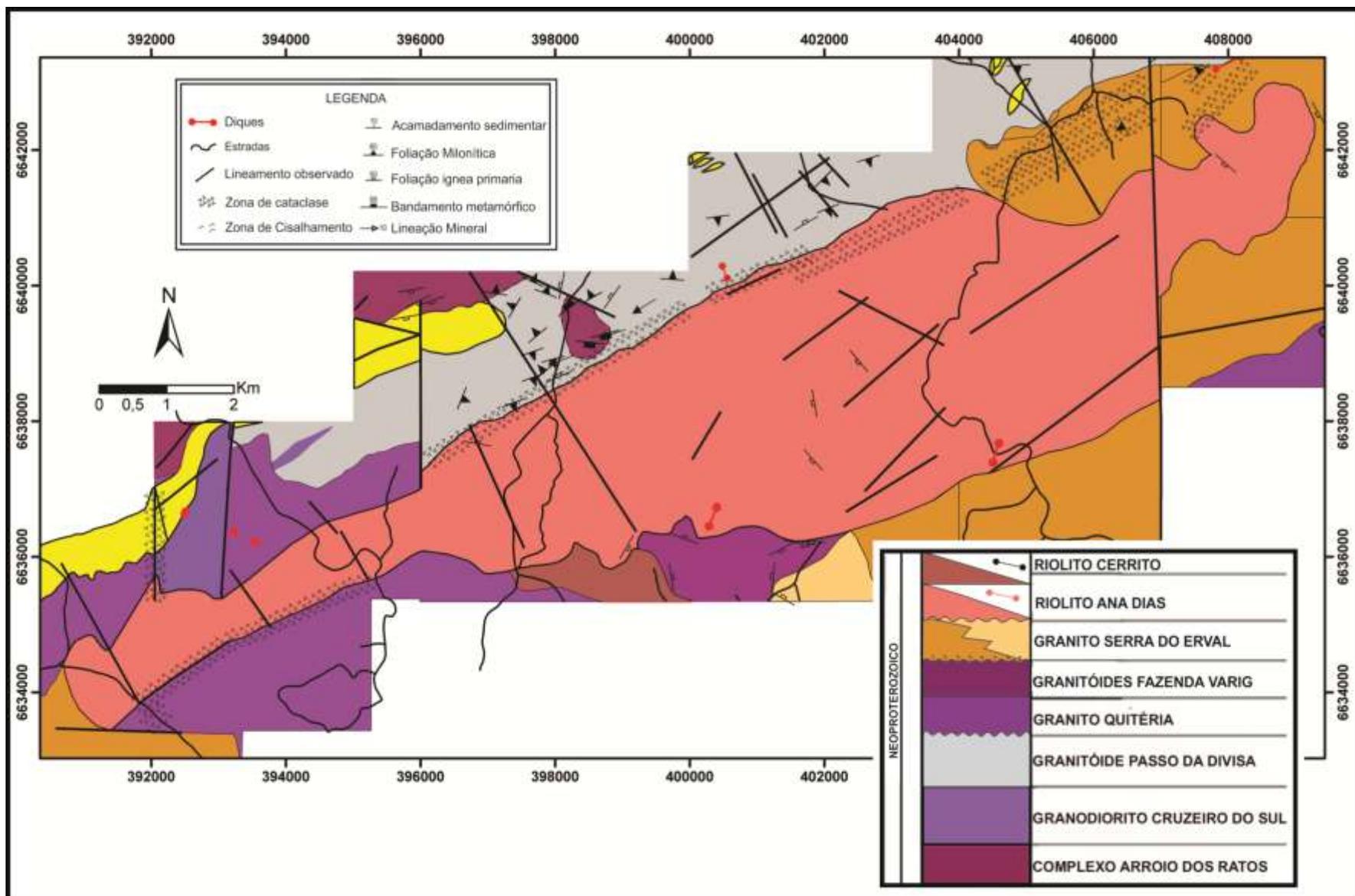


Figura 8 – Mapa geológico simplificado da região do Cerro Ana Dias (Modificado de UFRGS 2006 & 2007 e Gregory, 2010).



Figura 9– Foto Panorâmica do Cerro Ana Dias de direção SE a partir da estrada para o Cerro.

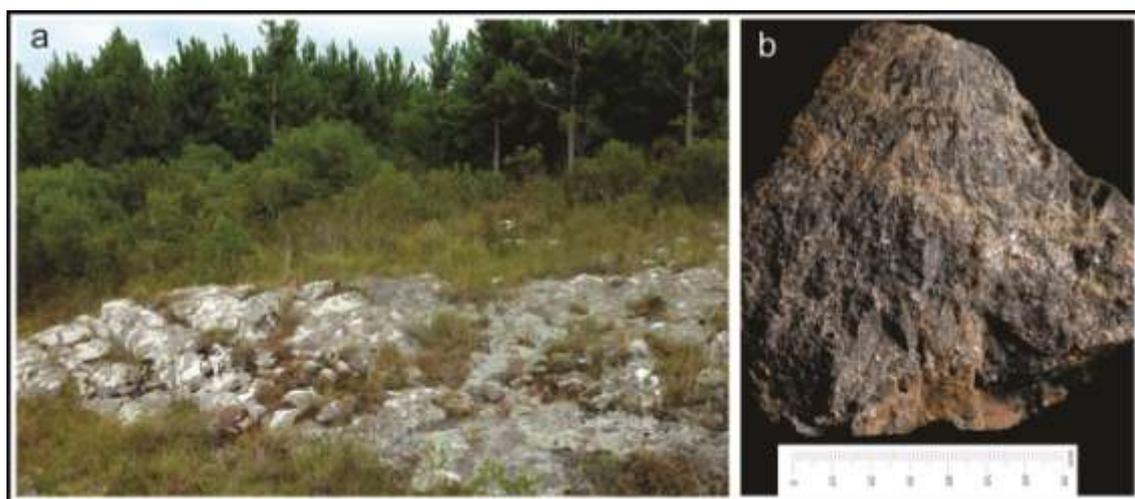


Figura 10– Aspectos gerais de campo: a) afloramento de lajeado intensamente fraturado (SE-NW); b) riolito cataclasado.



Figura 11– Aspectos de campo: a) Afloramento de lajeado característico do RAD, ponto mais alto do ESRG; B) Afloramento de blocos, característico do RAD, com forte fraturamento (NW-SE) e cataclase.

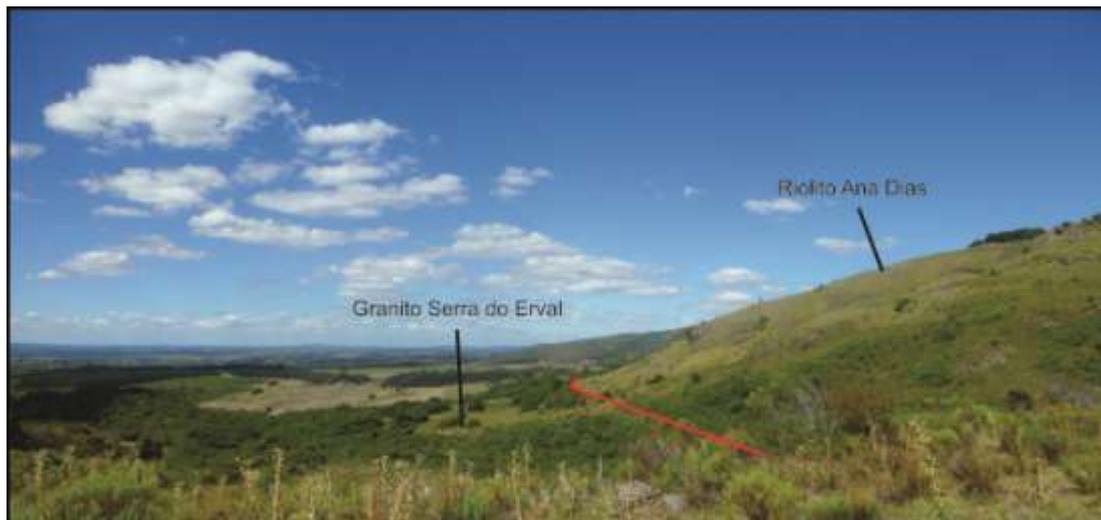


Figura 12– Foto Panorâmica para E a partir do topo do Cerro Ana Dias, mostrando contato com o Granito Serra do Eral.



Figura 13– Foto Panorâmica para E a partir do topo do Cerro Ana Dias, mostrando a quebra do relevo no contato com o Granito Quitéria.

Os diques possuem mergulhos subverticais na ordem de 70° - 80° e orientação N10-30E, espessuras não passando de 100 m, e ocorrem como cristas alinhadas com extensão variável. São corpos homogêneos texturais e mineralogicamente, mas raras estruturas de fluxo podem ser observadas. Abaixo são descritas as unidades observadas na região do Cerro Ana Dias:

O **Complexo Arroio dos Ratos (CAR)** foi definido originalmente como Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos por Fernandes *et al.* (1988). Segundo UFRGS (2006, 2007), este complexo compreende duas associações tonalítico-dioríticas, denominadas Associação 1 e 2, intrudidas discordantemente por rochas de composição similar (Gregory *et al.*, 2009). A

Associação 1 é caracterizada por granada-biotita metatonalitos de granulação média a grossa e por metadioritos a metatonalitos de granulação fina, com granada restrita aos termos mais diferenciados. Possuem uma foliação de estado sólido bem marcado. As rochas da Associação 2 são intrusivas e discordantes na Associação 1, de composição similar a mesma, diferindo por apresentar textura ígnea predominante e relações geométricas primárias mais preservadas. Ambas as associações possuem textura granoblástica atribuído a metamorfismo de fácies anfibolito superior a granulito (Gregory *et al.*, 2011).

O **Granodiorito Cruzeiro do Sul (GCS)** (UFRGS, 2006) é um corpo intrusivo no Complexo Arroio dos Ratos, alongado na direção ENE-WSW de aproximadamente 4 km², controlado por uma zona de cisalhamento transcorrente sinistral. É composto por hornblenda-biotita granodioritos ricos em máficos ($M' \sim 20$), com foliação magmática marcada pelo alinhamento dimensional dos feldspatos e minerais máficos, com um importante componente milonítico, próximo aos contatos. Segundo Knijnik *et al.* (2010), as rochas desta unidade apresentam afinidade shoshonítica e idades de cristalização magmática em torno de $634 \pm 1.5\text{Ma}$ (U-Pb SHRIMP em zircão). Veios leucograníticos concordantes e discordantes são comuns e, em zonas de mais alta deformação, geram um bandamento composto juntamente com corpos máficos de granulação fina e de composição diorítica alongados, e diques sinplutônicos de composição diorítica a tonalítica paralelos à foliação. A relação de contemporaneidade dos diques sinplutônicos com o granodiorito encaixante é dada pela ocorrência de injeções mútuas desde litotipos. Ocorrem no GCS xenólitos decimétricos de anfibolitos, metadioritos e gnáisses do Complexo Arroio dos Ratos (UFRGS, 2006). O GCS é vinculado ao evento de transcorrência da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Knijnik *et al.*, 2012).

Os **Granitoides Arroio da Divisa (GPD)** (UFRGS, 2007) formam um corpo alongado de direção NE, com 30 km de extensão e largura de 1 a 6 km. São constituídos predominantemente de granodioritos e granitos foliados, de textura equigranular média a grossa e possuem relações de mistura

homogênea e heterogênea com magmas básicos. Rochas dioríticas a tonalíticas ocorrem na forma de enclaves microgranulares, emulsões e diques sinplutônicos. A ocorrência de xenólitos é comum, estes de tamanho centimétricos a decamétricos de gnáisses e metatonalitos do Complexo Arroio dos Ratos e hornblenda-biotita granodiorito correlacionado ao Granodiorito Cruzeiro do Sul (Fontana *et al.*, 2011).

O **Granito Quitéria (GQ)** foi originalmente definido por Fernandes *et al.* (1988), como sendo um corpo porfirítico de composição granodiorítica. Na área de trabalho ocorre como um corpo alongado segundo NE, com largura de 1 a 5 km a sudeste, predominantemente porfirítico, porém com ocorrência subordinada de termos equigranulares médios a grossos, com megacristais de K-feldspato esparsos UFRGS (2007).

A unidade **Granitoides Fazenda Varig (GFV)** foi originalmente descrita como Granito Quitéria (GQ) por Fernandes *et al.* (1988) e posteriormente desmembrada do GQ e inserida no Complexo Granito – Gnáissico Pinheiro Machado (CPRM, 1995). Segundo UFRGS (2007), ocorre como um corpo alongado de direção E-NE, composto por biotita monzogranitos a granodioritos porfiríticos com megacristais de K-feldspato centimétricos em matriz hipidiomórfica heterogranular média a grossa de composição granodiorítica. Os teores máficos variam de 1 a 20%, predominando os termos mais ricos em máficos. A foliação magmática é marcada pela orientação de biotita e de megacristais de K-feldspatos.

O **Granito Serra do Erval (GSE)** foi definido por UFRGS (1978) e posteriormente descrito por UFRGS (2007) como um corpo de tendência arredondada com leve disposição concordante com as demais unidades na direção NE. É caracterizado por biotita leucosienogranitos de textura equigranular hipidiomórfica, com quartzo facetado abundante e K-feldspato pertítico. Com base em critérios texturais, foram individualizadas duas fácies. A fácies equigranular média (fem) é dominante (cerca de 80% do corpo) e a fácies equigranular grossa (feg) que ocorre apenas na porção nordeste, como dois corpos alongados, com variações monzograníticas e caracterizada por cristais centimétricos e K-feldspatos fortemente pertíticos.

Observam-se em ambas as fácies a ocorrência de margem resfriada irregular e localizada, marcada pela presença de termos equigranulares finos e termos porfiríticos de matriz abundante, com cavidades miarolíticas e até 10% de biotita. Possui ainda megaxenólitos do GQ.

O **Riolito Cerrito (RC)** é composto por rochas de textura porfirítica, com fenocristais euédricos de K-feldspato, plagioclásio e quartzo, normalmente facetado, perfazendo cerca de 40% em volume da rocha. No corpo maior, alongado na direção NW-SE, com dimensões de 3 x 2 km e intrusivo nos Granitoides da Fazenda Varig, a matriz é equigranular fina hipidiomórfica de composição quartzo-feldspática, com agregados de biotita e anfibólio euédricos ocorrendo em menor proporção. Nos diques de espessuras métricas, a matriz é afanítica e corta o RAD e o GSE.

4.2 ASPECTOS PETROGRÁFICOS DO RIOLITO ANA DIAS (RAD)

Os aspectos observados em campo e em laboratório permitiram identificar duas formas de ocorrência para as rochas ácidas na área de estudo: riolitos do corpo principal e diques de riolito. As rochas riolíticas do corpo principal apresentam uma variação faciológica não muito pronunciada, onde dominam os termos porfiríticos, com aparência plutônica, com abundância (30-40%) em fenocristais de quartzo e feldspato alcalino, envoltos por uma matriz inequigranular fina. Em algumas porções são observados riolitos porfiríticos, onde predominam fenocristais de quartzo (< 15%) em uma matriz muito fina à afanítica, podendo representar restos de margens resfriadas félsicas. Os diques riolíticos têm uma notável textura porfirítica, caracterizada por fenocristais euédricos de feldspato alcalino (ca. 1-1,5 cm) e quartzo (0,3 cm), envoltos por matriz afanítica. A seguir são detalhadas cada uma destas fácies principais (Fig. 14):

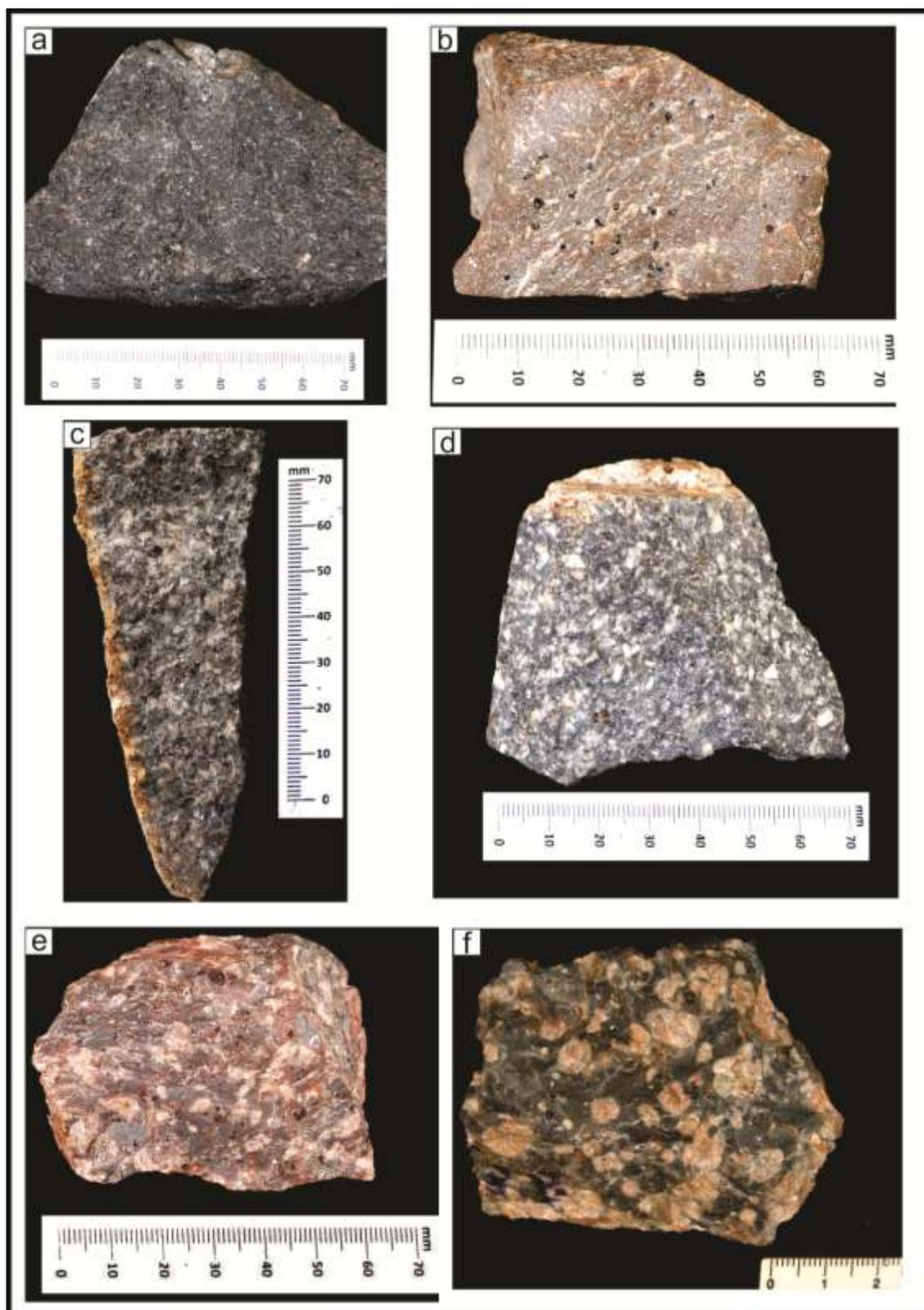


Figura 14 – Amostras representativas do Riolito Ana Dias. a) e b) Fácies porfírica com matriz equigranular fina e aparência plutônica; c) e d) Fácies porfírica com matriz afanítica; e) e f) Diques de riolito porfírico com fenocristais euédricos, envoltos em matriz afanítica.

4.2.1 Riolitos porfíricos com matriz equigranular fina e aparência plutônica

Os riolitos são caracterizados pela textura porfírica a glomeroporfírica, com fenocristais euédricos a subédricos (30-40%) de quartzo facetado, feldspato alcalino e, subordinadamente, plagioclásio. A matriz é inequigranular fina, tendendo a heterogranular, hipidiomórfica e constituída principalmente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. Em algumas amostras foram observados anfibólios e biotita. Zircão e apatita são os acessórios predominantes e, como minerais de alteração, ocorrem mica branca, clorita e argilo minerais. É comum a presença de textura micrográfica, com intercrescimentos de quartzo e feldspato alcalino. Em algumas amostras observa-se uma foliação cataclástica evidenciada pela quebra de fenocristais e dos minerais da matriz ao longo de uma direção preferencial de fraturamento, preenchido normalmente por quartzo e, subordinadamente, quartzo + mica branca.

O quartzo é uma das fases principais e ocorre como fenocristais e na matriz. Os fenocristais são subédricos a euédricos, com bordas retas a arredondados, sugerindo cristalização precoce e consequente desequilíbrio com a matriz. Suas dimensões variam de 0,5 a 5 mm e apresentam extinção ondulante característica. É comum apresentarem microfraturas e bordas quebradas devido à influência da cataclase. Na matriz, podem ocorrer preenchendo espaços intersticiais e intercrescido com K-feldspato (textura micrográfica). Nestes casos são anédricos, com limites lobados e têm dimensões variando entre 0,1 e 0,4mm.

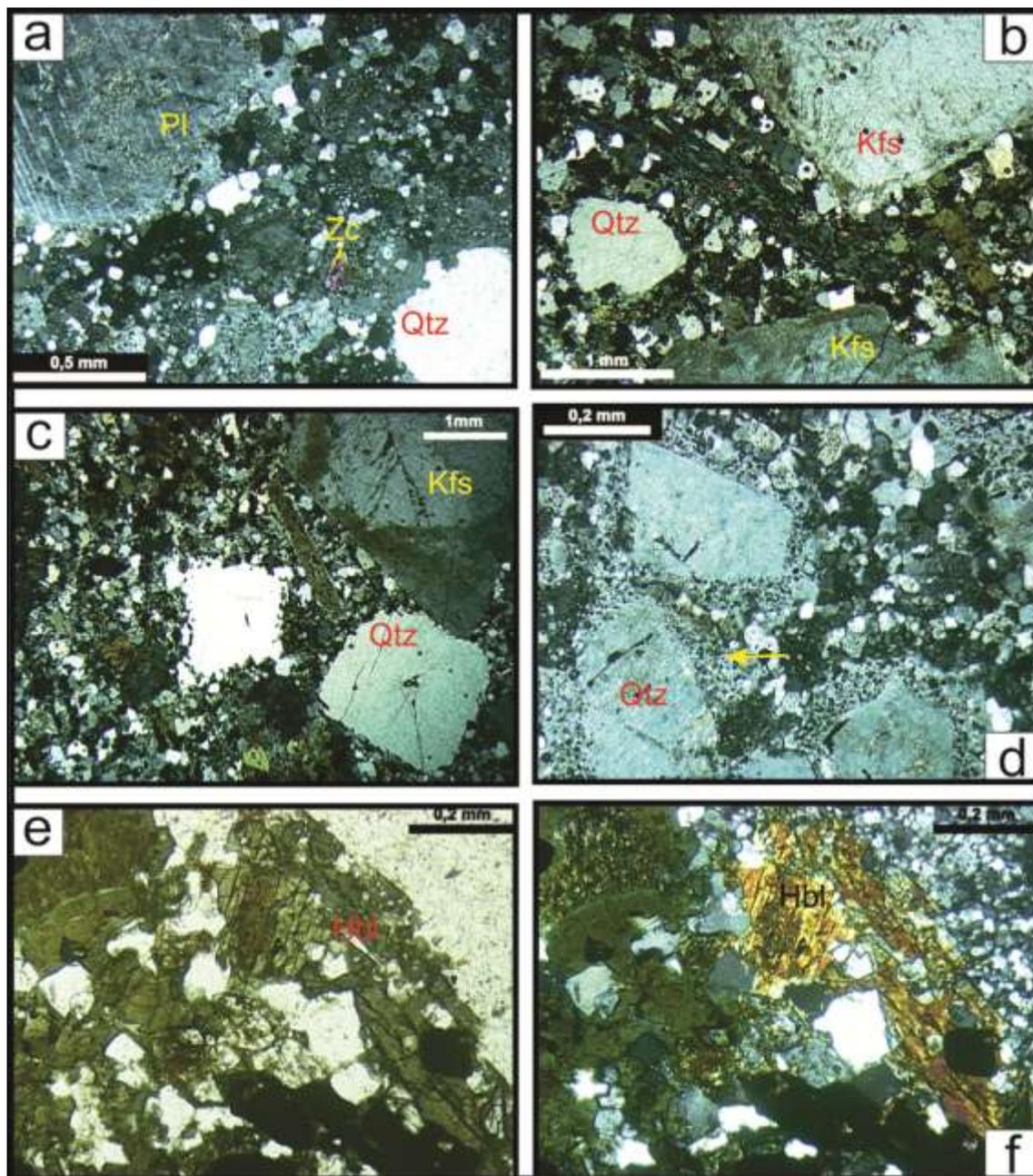


Figura 15 - Fotomicrografias mostrando: a) e b) c) Textura equigranular fina, onde cristais de quartzo e K-Feldspato apresentam-se facetados. LP; d) Cristal de quartzo com intercrescimento micrográfico nas bordas e granofíbrico (seta amarela). LP; e) e f) Anfibólios (hornblenda) alterados parcialmente para biotita, Clorita e Epidoto. LP.

O feldspato alcalino dominante é subédrico e geralmente apresenta bordas corroídas e macla de Carlsbad. Os grãos variam em dimensões desde 0,5 a 4,0 mm e é comum a presença de pertitas do tipo lamelar. Subordinadamente ocorrem grãos com a macla periclina e inclusões de quartzo e opacos (textura poiquilítica). O K-feldspato também ocorre intercrescido com quartzo, evidenciando uma textura micrográfica. Neste

caso os grãos são anédricos, variando de < 0,1 a 0,5 mm de dimensões, com contatos irregulares e difusos. É comum a ocorrência de produtos de alteração, tais como micas brancas, que ocorrem como uma massa de granulação fina, distribuída de forma irregular nos grãos. Localmente, ocorrem fraturas de extensão perpendiculares ao eixo de máxima deformação.

O plagioclásio é subédrico a euédrico, com hábito tabular alongado e dimensões variando de 0,8 a 3 mm. Exibem, geralmente, contatos retos, mas é comum a presença de cristais fraturados, com bordos corroídos e/ou fraturados. Possuem maclas polissintéticas ou do tipo albita e são oticamente compatíveis com a Andesina (An_{34}). Alguns grãos estão parcialmente alterados para mica branca, que se distribuem como finas palhetas distribuídas aleatoriamente sobre os grãos.

Os cristais de anfibólio foram oticamente identificados como do grupo da hornblenda. São subédricos a anédricos, tabulares, com Ng verde escuro e estão bastante corroídos. Apresentam inclusões de zircão, opacos e quartzo, e estão alterados parcialmente para biotita, clorita e epidoto.

A biotita ocorre como agregados intersticiais, como produto de alteração do anfibólio e como inclusão no feldspato alcalino. Tem forma subédrica a anédrica e dimensões médias de 0,1 mm. Possui um pleocroísmo em tons castanho-escuros e, sob nicóis cruzados, uma extinção reta mosqueada, propriedades típicas de biotita. É comum a alteração para clorita.

A apatita ocorre como cristais subédricos principalmente como inclusões em biotitas, com seções prismáticas laterais alongadas, da ordem de 0,2 mm.

Os minerais opacos ocorrem disseminados na matriz como grãos anédricos e subédricos, podendo ocorrer como inclusões na biotita e anfibólio.

A clorita é rara e ocorre como alteração das biotitas e anfibólios e preenchendo interstícios da matriz.

O epidoto ocorre como produto de alteração e sua origem pode estar relacionada à transformação do anfibólio para uma associação epidoto + biotita.

O zircão ocorre como cristais subédricos a euédricos, com dimensões médias de 0,2 mm, comuns como inclusões nas outras fases minerais.

Tabela 1 – Estimativa visual da composição mineralógica dos Riolitos porfiríticos com matriz equigranular fina e aparência plutônica.

Quartzo:	38%
Feldspato Alcalino:	30%
Plagioclásio:	20%
Hornblenda:	6%
Biotita:	4%
Acessórios:	1%
Produtos de alteração:	1%

Foi utilizado o MEV através de análise por retroespalhamento, com o intuito de fornecer informações adicionais qualitativas das principais fases identificadas na petrografia. Foi dada ênfase na análise de anfibólios, opacos e feldspatos. Os anfibólios apresentam qualitativamente valores médios de Si 23 %, Ca 12%, Fe 25%, K 1,5%, Al 4,5%, Mg 3,5% e Ti 1,5%. Esses dados são compatíveis com a composição de anfibólios cálcicos do grupo da hornblenda (Figs.17 e 18 e Tabs. 3 e 4)

Os opacos foram identificados com sendo em sua grande maioria titano-magnetita e magnetita (Fig.17, Tab.3 e Fig.18, Tab.4).

Os feldspatos possuem composições compatíveis com ortoclásio e de plagioclásio com baixos valores de cálcio (Fig.18 e Tab.4)

As análises também mostraram cristais de apatita e zircão, comumente inclusos nas fases máficas (Figs.16 e 17, Tabs. 2 e 3).

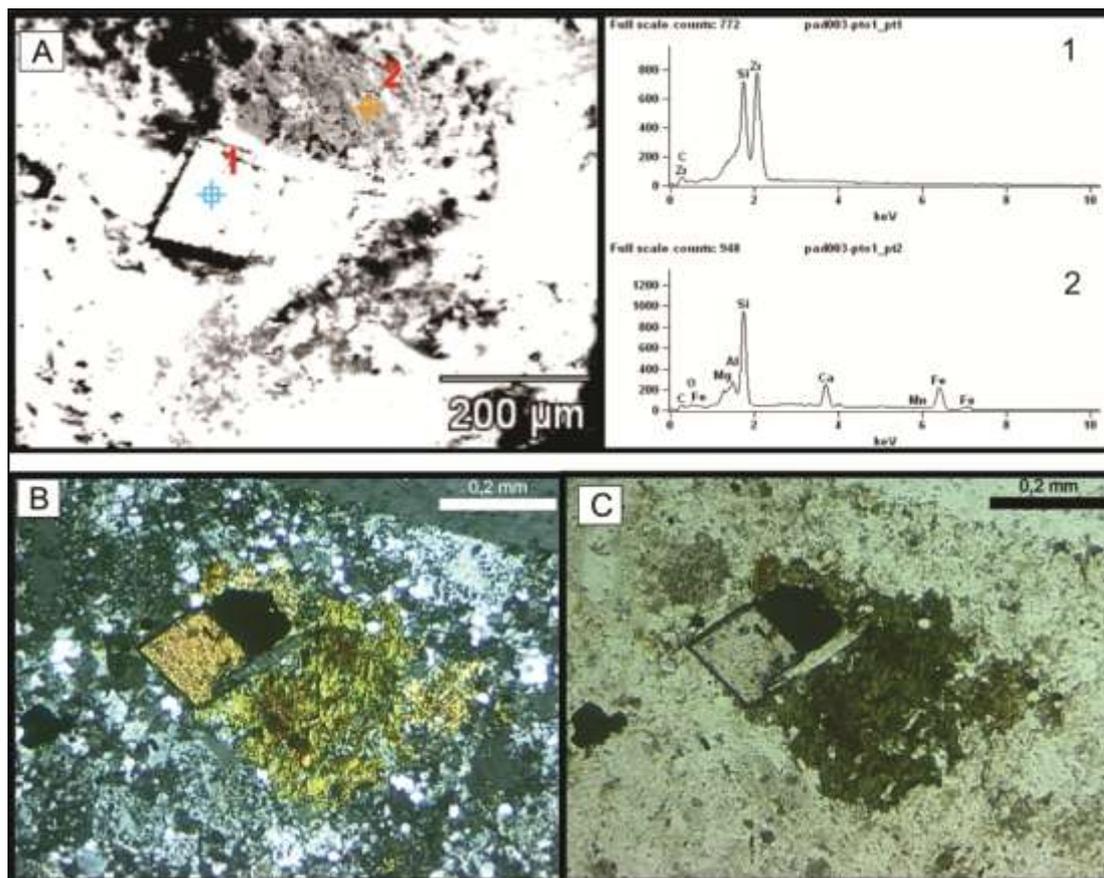


Figura 16 – a) Análise de anfibólio (2) e zircão (1) no MEV; b) e c) Fotomicrografia com cristal de zircão envoltos por anfibólio (Hornblenda). LP-LN.

Tabela 2 – Dados qualitativos do MEV para a amostra PAD003-pt01_pt2, análise de anfibólio da Figura 16.

Composição %							
C	O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe
32,33	6,34	1,92	2,97	22,64	9,84	1,23	22,74

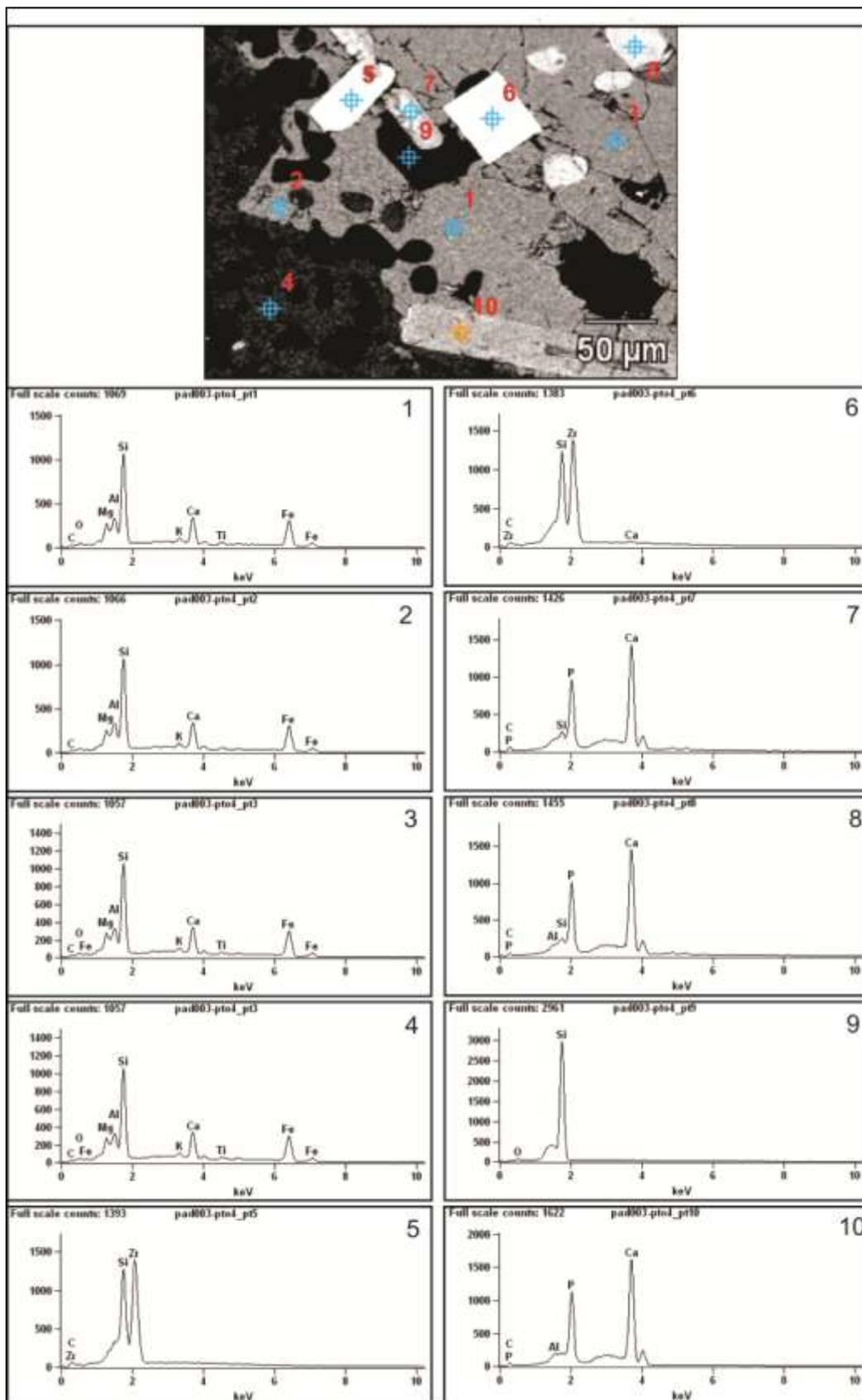


Figura 17 – Minerais analisados da amostra PAD003 no MEV: Pontos 1-4 = anfibólios; 5-6 = zircão; 7-8-10 = apatitas; 9: quartzo.

Tabela 3 – Dados qualitativas obtidos pelo MEV para os pontos analisados em minerais conforme a Figura 17 (amostra PAD003).

Composição %											
	C	O	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Zr
1	23,38	7,65	3,41	4,20	22,06		1,21	11,31	1,28	25,49	
2	17,21		4,13	5,64	27,68		1,60	13,76		29,99	
3	24,45	8,14	3,33	3,96	21,53		1,29	11,02	1,56	24,73	
4	19,35	7,68		10,10	38,01		24,86				
5	35,62				14,31						50,07
6	35,40				13,89			0,82			49,89
7	35,77				1,19	16,85		46,19			
8	29,16			0,51	1,19	18,76		50,38			
9		12,57			87,43						
10	26,90			0,84		20,17		52,08			

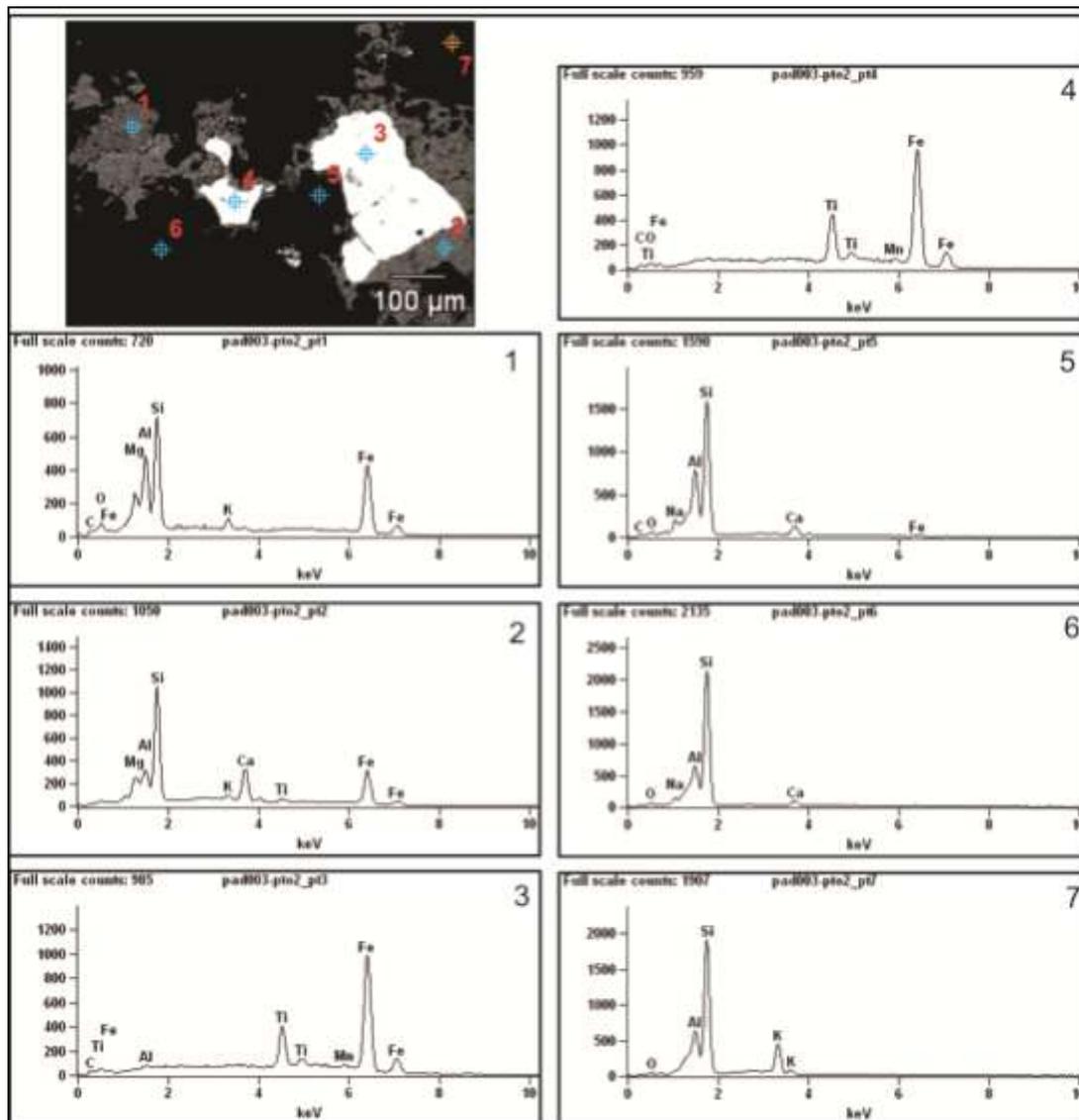


Figura 18– Minerais analisados da amostra PAD 003 no MEV: Pontos 1-2 = anfibólios; 3-4 = opacos; 5-6 = plagioclásio; 7 = ortoclásio.

Tabela 4 – Dados qualitativos obtidos pelo MEV para os pontos analisados em minerais conforme a Figura 18 (amostra PAD003).

	Composição %										
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe
1	20,76	9,14		4,08	9,53	16,91	1,81				37,78
2				5,39	6,53	33,43	1,87	15,11	2,31		35,36
3	10,61				0,57				13,66	1,42	73,74
4	17,73	5,13							13,92	1,71	61,51
5	28,33	12,87	3,59		11,98	36,02		5,36			1,85
6		11,22	3,17		9,96	69,65		6,00			
7		6,50			9,87	58,46	25,17				

4.2.2 Riolitos Porfiríticos com Matriz Afanítica

Os riolitos são caracterizados pela textura porfirítica, com fenocristais euédricos a subédricos (< 15%) de quartzo facetado e, subordinadamente, feldspato alcalino e plagioclásio. A matriz é muito fina, hipidiomórfica e constituída principalmente por quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. Em algumas amostras foram observados restos de anfibólio e biotita. Zircão é o acessório predominante, e como minerais de alteração ocorrem mica branca e argilo minerais. É comum a presença de texturas de intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino, decorrentes de processos de rápido resfriamento ou devitrificação, como a esferulítica e a granofírica. Forte fraturamento é observado em algumas amostras, evidenciado pela quebra das fases minerais.

Os fenocristais de quartzo são euédricos, facetados, e por vezes microfraturados, com diâmetro variando de 0,5 até 3 mm e em alguns grãos mostrando feições de reabsorção pela matriz. São incolores, sem clivagem e apresentam predominantemente extinção abrupta. Na matriz ocorrem como grãos anédricos e contatos lobados e difusos e intercrescidos com o feldspato alcalino.

Os fenocristais de feldspato alcalino são euédricos a subédricos e em amostras com cataclase se apresentam anédricos. Em geral possuem dimensões de 0,8 até 4 mm e muitos grãos apresentam reabsorção pela matriz, mostrando golfos de corrosão. É comum a presença de pertitas do tipo venular e inclusões de quartzo e plagioclásio, evidenciando a textura poiquilítica. Alguns cristais apresentam macla simples (Carlsbad), mas é comum a macla periclínio. Microfraturas preenchidas por quartzo são observadas em algumas amostras, bem como a alteração para mica branca e argilo minerais.

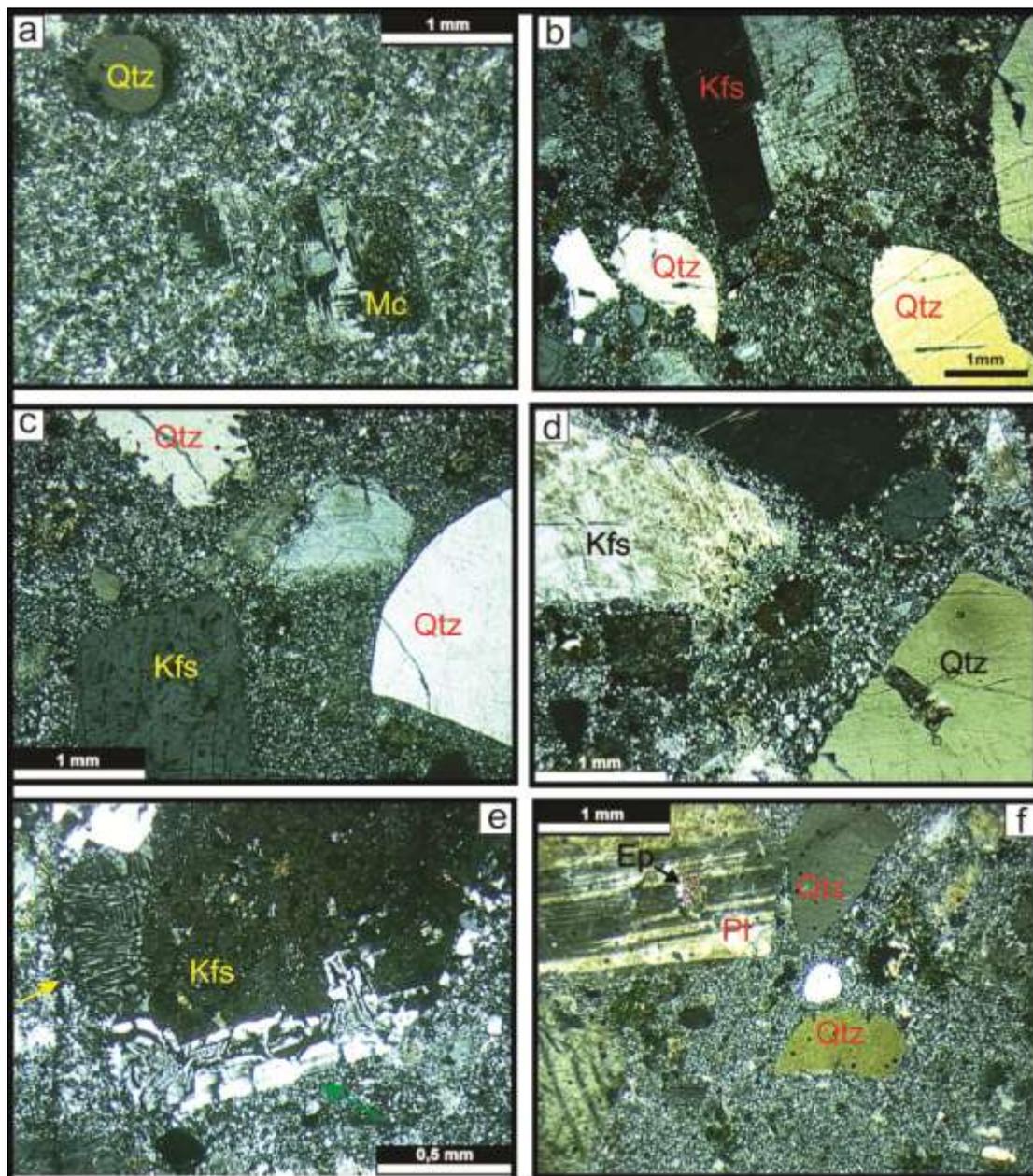


Figura 19 – Fotomicrografias mostrando feições típicas do RAD: a) Textura porfirítica com fenocristais de quartzo e microclínio em matriz afanítica. LP; b), c) e d) Quartzo facetado e com reentrâncias junto de K-feldspato sofrendo reabsorção em matriz afanítica, com alguns fenocristais quebrados. LP; e) Textura micrográfica e mirmequítica (seta amarela). LP; f) Fenocristais de quartzo, K-feldspato, plagioclásio com textura poiquilítica marcada pela inclusão do epidoto e biotita na matriz. LP.

Os fenocristais de plagioclásio são euédricos a subédricos, com tamanho variando entre 0,8 e 2,0 mm e, ocasionalmente, com zonação normal bem marcada. Ópticamente, apresentam composições compatíveis com o Oligoclásio (An₂₀₋₂₅). Os grãos apresentam contatos predominantemente retos e maclas polissintéticas ou do tipo albita. Apresentam algumas vezes textura poiquilítica marcado por inclusões de epidoto.

Os minerais máficos são raros, e ocorrem em sua maioria transformados pseudomorficamente para uma massa de biotita+clorita ou anfibólio+clorita. Os cristais de hornblenda são subédricos a anédricos, e a biotita tardia de forma tabular, subédrica, planar com hábito característico lamelar, variando de marrom a verde e extinção mosqueada característica.

Os opacos em geral são euédricos a subédricos e ocorrem disseminados na matriz.

O zircão é raro com formas subédricas a euédricas e dimensões de aproximadamente 0,05mm.

A clorita ocorre pseudomórfica, substituindo os minerais máficos e opacos.

Tabela 5 – Estimativa visual da composição mineralógica dos Riolitos porfiríticos com matriz afanítica.

Quartzo:	44%
Feldspato Alcalino:	36%
Plagioclásio:	12%
Hornblenda:	3%
Biotita:	3%
Clorita:	1%
Zircão:	<1%
Opacos:	<1%

4.2.3 Diques de riolitos porfiríticos de matriz afanítica

Os riolitos tem textura porfirítica com fenocristais euédricos a subédricos (40-50%) de feldspato alcalino e, subordinadamente, quartzo e plagioclásio, envoltos por matriz afanítica de composição quartzo-feldspática, algumas vezes com aspecto vítreo.

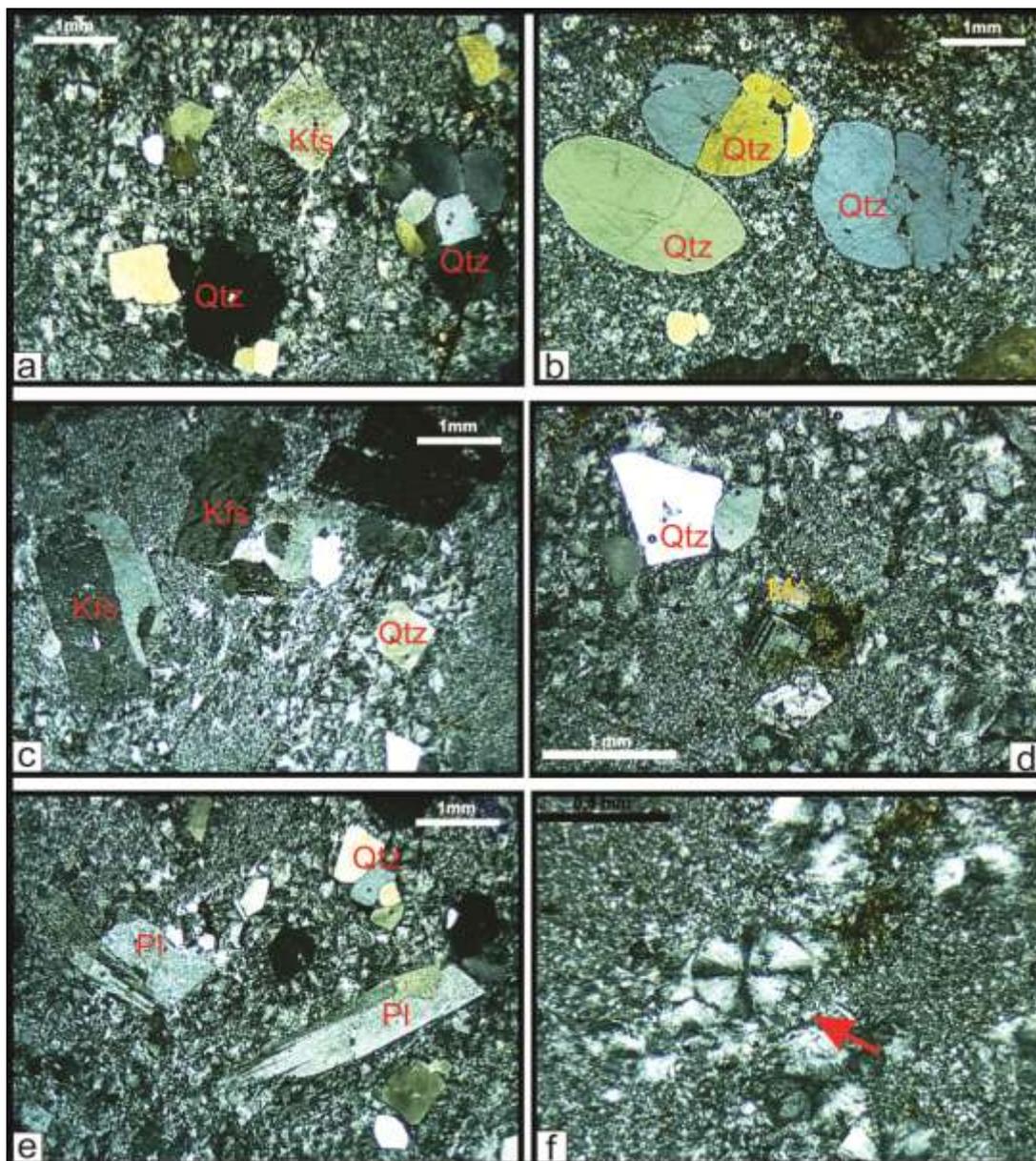


Figura 20 – Fotomicrografias mostrando feições típicas dos Diques: a) Textura glomeroporfírica dos cristais de quartzo. LP; b) Cristal de quartzo oval com sofrendo reabsorção. LP; c), d) e e) Textura geral da lâmina; f) Textura esferulítica (seta vermelha) de desvitrificação em alta temperatura. LP.

Os fenocristais de feldspato alcalino são subédricos a euédricos, com diâmetro entre 1 até 5 mm. Possuem hábito prismático tabular e contatos retos, mas é comum estarem com forma arredondada devido ao desequilíbrio com a matriz. A macla de Carlsbad e do periclino são diagnósticas e com frequência ocorrem pertitas venulares. Inúmeros minerais se encontram em processo de alteração para micas brancas e argilo-minerais.

Os fenocristais de quartzo ocorrem em algumas porções em agregados, caracterizando uma textura glomeropofirítica. São também subédricos a euédricos, facetados e esféricos, com diâmetro variando de 1 até 3 mm e feições de reabsorção pela matriz, mostrando golfos de corrosão em alguns grãos. São incolores, sem clivagem e apresentam extinção abrupta predominantemente, classificados como quartzo- β , devido às feições de alta temperatura observadas.

Os cristais maiores de plagioclásio são óticamente compatíveis com o Oligoclásio (An 16-20), têm tamanho aproximado de 2,5 mm subédricos a euédricos, com forma prismática tabular. As bordas dos grãos são predominantemente retos, mas é comum estarem parcialmente reabsorvidos pela matriz e em alguns casos apresentam golfos de corrosão. A alteração é acentuada, principalmente para micas brancas.

O zircão é raro, mas quando ocorre é euédrico e subédrico, com dimensões de 0,2 mm em média.

Os opacos são subédricos a anédricos e ocorrem principalmente em agregados, associados à clorita e ao epidoto. Estes últimos são produtos de alteração associados à substituição total de fases máficas e preenchendo espaços intersticiais na matriz.

A matriz é fina e constituída por quartzo e feldspato, além de clorita de cristalização tardia. Observa-se textura esferulítica de desvitrificação em alta temperatura, na qual ocorre a formação de agregados fibrorradiados de quartzo e K-feldspato crescendo a partir de um núcleo comum. Estes esferulitos encontram-se predominantemente com morfologia esférica, sozinhos ou ao redor dos fenocristais. Texturas de intercrescimento mais avançadas também ocorrem, representados pela textura granofírica.

Tabela 6 – Estimativa visual da composição mineralógica dos diques do Riolito Ana Dias.

Quartzo:	48%
K-Feldspato :	35%
Plagioclásio:	12%
Clorita	2%
Epidoto:	1%
Zircão:	<1%
Opacos:	<1%

5. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

5.1 LITOQUÍMICA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DO CERRO ANA DIAS

Os estudos litogeoquímicos basearam-se na análise de elementos maiores, traços e terras raras (ETR), em rocha total, de 31 amostras, sendo 28 do corpo principal e três de diques do Riolito Ana Dias, cujos dados são apresentados nas Tabelas 07, 08 e 09.

As rochas riolíticas apresentam teores elevados de SiO_2 , variando de 69 a 76% (Tabela 7). Muitas amostras têm teores superiores a 73%, o que segundo Mahood & Hildreth (1983) e Metz & Mahood (1991) podem ser consideradas como “sistemas riolíticos alta-sílica”. Normalmente, as rochas com estas características têm pequenos intervalos de variação, tornando difícil o enquadramento nas classificações baseadas em parâmetros geoquímicos. Nos sistemas alta-sílica, o efeito de soma constante pode provocar consequências ponderáveis. Como consequência, os processos petrológicos e geoquímicos estão sujeitos a efeitos consideráveis, decorrentes da maximização do papel desempenhado por diversos fatores, como atividade de fluídos, saturação dos líquidos em elementos incompatíveis, polimerização e outros.

Os dados das rochas subvulcânicas, quando plotadas no diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986; Fig. 21), ocupam o campo dos riolitos. Embora os altos teores de sílica, podem ser considerados da série alcalina, situando-se próximo ao limite com as rochas da série subalcalina.

Podendo ocorrer uma possível perda de álcalis durante a cristalização de magmas alcalinos ou em processos de alteração pós-magmáticos (Leat *et al.*, 1986), as amostras foram plotadas em outros diagramas, como o que utiliza a razão entre o somatório de diversos elementos maiores (De la Roche *et al.*, 1980; Fig. 22A), e os de Winchester & Floyd (1977), que utilizam a razão entre o elementos traços e a razão destes com a SiO₂ (Fig. 22B, 22C).

Tabela 7 – Resultados de litoquímica para elementos maiores, menores, nas amostras do corpo principal do Riólito Ana Dias.

	Majores (%)											Total
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	
PSQ-0004A	70,26	0,44	13,94	3,86	0,06	0,43	1,18	2,94	5,79	0,13	0,7	99,72
PSQ-1042	73,72	0,22	12,84	2,28	0,06	0,21	1,08	3,36	5,10	0,05	0,9	99,85
PSQ-1053B	69,47	0,46	13,69	4,29	0,06	0,42	1,09	3,01	5,97	0,14	1,1	99,73
PSQ-3030	69,94	0,45	13,79	4,10	0,08	0,42	1,55	2,93	5,84	0,13	0,5	99,72
PSQ-3084	70,43	0,45	13,59	4,00	0,08	0,42	1,45	2,81	5,70	0,12	0,7	99,73
PSQ-3092	70,17	0,46	13,52	4,17	0,06	0,47	1,51	2,83	5,82	0,13	0,6	99,72
PSQ-3106	70,24	0,51	13,22	4,32	0,07	0,39	1,27	2,28	6,12	0,11	1,2	99,71
PSQ-3112	70,03	0,45	13,48	4,04	0,06	0,40	1,36	2,83	5,86	0,13	1,1	99,73
PSQ-3145	70,18	0,45	13,69	3,95	0,07	0,42	1,57	2,91	5,68	0,13	0,7	99,73
PSQ-3155	69,82	0,46	13,80	4,15	0,06	0,46	1,62	2,87	5,65	0,13	0,7	99,73
PSQ-3157	70,15	0,45	13,94	3,95	0,06	0,42	1,51	2,89	5,83	0,13	0,4	99,73
PSQ-3163	69,99	0,45	13,84	3,97	0,07	0,44	1,53	2,92	5,58	0,14	0,8	99,72
PSQ-3175	70,72	0,45	13,78	3,82	0,06	0,38	1,46	2,89	5,63	0,14	0,4	99,73
PSQ-3178	70,24	0,42	13,66	3,85	0,06	0,40	1,55	2,90	5,84	0,12	0,7	99,74
PSQ-3182	69,95	0,45	13,69	3,93	0,07	0,43	1,59	2,97	5,74	0,13	0,8	99,74
PSQ-3190	69,97	0,47	13,76	4,17	0,07	0,43	1,57	2,88	5,80	0,13	0,5	99,74
PSQ-3193	73,73	0,22	12,90	2,66	0,04	0,11	0,88	3,01	5,53	0,05	0,7	99,81
PSQ-4019A	70,59	0,41	13,50	3,79	0,06	0,36	1,35	3,01	5,88	0,12	0,7	99,75
PSQ-4021A	69,53	0,45	13,74	3,88	0,07	0,45	1,47	3,20	5,78	0,13	1,0	99,73
PSQ-4035A	71,77	0,36	13,26	3,34	0,05	0,32	1,18	2,95	5,75	0,10	0,7	99,77
PSQ-5046	76,32	0,14	11,84	2,24	0,03	0,04	0,65	2,72	5,48	0,02	0,4	99,85
PSQ-6102A	76,19	0,15	11,68	2,35	0,03	0,10	0,68	2,71	5,37	0,03	0,6	99,88
PAD 003B	71,27	0,41	13,38	4,05	0,07	0,39	1,41	2,84	5,61	0,10	0,3	99,83
PAD 004A	69,72	0,41	13,50	4,88	0,07	0,41	1,44	2,80	5,74	0,11	0,7	99,81
PAD 007A	72,59	0,33	12,51	4,02	0,05	0,33	0,93	2,42	5,98	0,09	0,6	99,85
PAD 021A	70,93	0,37	13,22	4,00	0,16	0,36	1,21	4,20	4,13	0,10	1,1	99,72
PAD 023C	72,38	0,30	12,92	3,68	0,06	0,26	0,81	3,50	5,30	0,08	0,6	99,84
PSQ 3149	69,66	0,45	13,75	4,57	0,07	0,42	1,58	2,94	5,73	0,13	0,5	99,80

Tabela 8 – Resultados de litoquímica para menores, traços e terras raras nas amostras do corpo principal do Riolito Ana Dias.

	Traços / ETR (ppm)																			
	Ba	Sr	Y	Zr	Hf	Rb	Ta	Th	La	U	Ce	Nb	Sm	Eu	Yb	Lu	Nd	Gd	Ga	Pr
PSQ-0004A	942	166	32	414	10,9	183	1	17,3	66,1	3,7	144	18,3	10,2	1,9	2,9	0,45	64,0	7,7	20,30	16,29
PSQ-1042	300	76	28	227	6,2	187	1	20,3	81,6	4,8	179	14,8	10,7	0,8	2,7	0,39	71,8	7,1	15,60	19,25
PSQ-1053B	874	124	35	492	12,9	232	1	17,9	71,5	4,2	163	19,7	11,2	1,9	3,4	0,48	69,8	8,8	19,50	17,63
PSQ-3030	942	138	31	453	11,8	187	1	15,0	62,2	3,5	141	17,3	9,7	2,0	2,8	0,44	60,5	7,4	20,60	15,39
PSQ-3084	872	132	34	472	11,7	182	1	17,5	69,3	3,5	156	19,2	10,8	1,8	3,2	0,48	66,9	8,1	19,90	17,21
PSQ-3092	934	132	33	472	12,2	190	1	17,2	68,7	4,3	152	18,6	10,5	1,9	3,1	0,46	66,0	7,7	19,70	16,47
PSQ-3106	957	130	28	533	13,3	220	1	17,6	56,1	4,3	127	20,6	8,6	1,7	2,8	0,42	50,8	6,6	21,00	13,56
PSQ-3112	922	135	34	461	12,0	218	1	15,7	67,7	3,3	153	18,6	11,0	1,9	3,2	0,47	65,7	8,2	20,50	17,15
PSQ-3145	859	132	34	454	11,9	186	1	16,7	67,4	4,1	150	18,1	11,0	1,9	3,1	0,47	64,5	8,0	19,00	16,57
PSQ-3155	906	136	35	463	11,7	191	1	17,6	70,2	2,8	154	19,5	11,1	2,0	3,2	0,46	66,7	8,4	20,50	17,35
PSQ-3157	961	139	34	473	12,8	203	1	17,5	68,3	6,1	152	19,4	10,4	2,0	3,1	0,47	64,2	8,0	20,90	16,66
PSQ-3163	978	148	33	485	12,4	182	1	15,6	64,8	3,9	144	18,9	10,3	2,0	3,2	0,47	61,5	7,8	20,90	15,99
PSQ-3175	937	134	36	466	11,9	196	1	18,0	75,4	4,2	173	19,1	11,3	2,0	3,3	0,48	69,7	8,8	20,70	18,31
PSQ-3178	937	141	32	403	10,4	194	1	16,4	66,1	4,3	149	17,9	10,3	1,8	3,0	0,43	63,0	7,6	19,40	16,35
PSQ-3182	876	125	33	405	10,7	186	1	17,2	67,0	4,3	152	18,2	10,2	1,9	3,1	0,45	63,7	7,9	18,90	16,53
PSQ-3190	866	128	32	451	11,4	192	1	15,6	61,8	3,6	139	18,7	9,6	1,8	3,0	0,43	60,0	7,5	19,20	15,55
PSQ-3193	369	73	59	301	9,2	251	2	28,9	97,6	6,1	209	23,1	15,2	1,3	5,5	0,81	88,7	11,9	21,90	24,25
PSQ-4019A	801	114	33	388	10,7	218	1	18,1	67,0	3,8	152	18,5	10,5	1,7	3,1	0,45	62,7	7,9	18,50	16,66
PSQ-4021A	899	141	32	416	11,2	249	1	14,5	62,4	3,5	141	17,8	9,9	1,9	2,8	0,43	58,6	7,4	19,30	15,44
PSQ-4035A	685	106	35	387	10,2	208	1	18,1	75,1	3,6	173	18,5	11,4	1,5	3,1	0,47	72,2	8,4	18,90	18,79
PSQ-5046	186	49	79	264	9,8	235	3	29,2	86,6	7,5	205	33,1	15,9	0,7	7,5	1,08	81,7	13,0	22,70	22,22
PSQ-6102A	165	30	45	201	6,9	256	2	27,7	88,5	6,2	212	20,3	14,8	0,6	4,3	0,65	81,3	11,0	19,30	22,42
PAD 003B	714	104	34	365	9,2	179	0	15,9	73,4	4,0	146	16,3	10,8	1,5	2,8	0,44	67,6	8,8	19,50	17,65
PAD 004A	804	115	31	378	9,6	177	0	16,3	72,8	2,1	147	17,3	10,5	1,6	3,1	0,44	62,5	8,6	19,70	16,88
PAD 007A	635	91	39	296	7,9	260	0	17,2	75,0	4,1	139	15,7	11,2	1,5	3,2	0,47	68,5	9,6	17,00	17,54
PAD 021A	716	90	25	333	8,5	258	0	12,0	53,7	2,6	109	13,0	8,4	1,5	2,3	0,32	47,2	6,7	20,00	13,09
PAD 023C	539	66	34	314	8,1	275	1	19,5	86,7	4,7	173	16,3	12,5	1,3	3,6	0,52	81,3	10,2	22,40	20,80
PSQ 3149	905	124	30	437	10,9	190	0	14,7	66,9	3,6	136	16,6	10,2	1,8	3,2	0,45	65,8	8,5	20,00	16,02

Tabela 9 – Resultados de litoquímica para elementos maiores, menores, traços e terras raras nas amostras dos diques do Riolito Ana Dias.

	PSQ-5058B	PSQ-5091A	PSQ-5096
Maiores (%)			
SiO₂	72,16	76,51	75,38
TiO₂	0,23	0,08	0,15
Al₂O₃	13,30	11,76	12,27
Fe₂O₃(T)	3,08	1,86	2,28
MnO	0,06	0,02	0,03
MgO	0,11	0,02	0,03
CaO	0,92	0,46	0,35
Na₂O	3,46	3,19	3,00
K₂O	5,64	5,25	5,32
P₂O₅	0,05	0,02	0,03
LOI	0,80	0,70	1,00
Total	99,79	99,89	99,83
Traços / ETR (ppm)			
Ba	347,00	22,00	171,00
Sr	50,80	18,60	24,90
Rb	255,50	487,80	292,10
Y	72,50	91,20	85,00
Zr	389,90	155,50	293,20
Nb	34,10	31,20	36,60
Hf	12,20	8,10	10,10
Ta	2,20	3,50	2,80
Th	25,90	39,40	28,30
U	6,90	12,50	7,80
La	86,50	41,50	90,20
Ce	204,60	104,70	208,20
Nd	82,00	44,70	84,00
Sm	15,59	11,52	16,95
Eu	1,09	0,17	0,69
Yb	6,81	9,30	8,02
Lu	1,03	1,32	1,20
Gd	13,14	11,17	15,43
Ga	23,70	22,90	25,20
Pr	22,07	11,82	22,56

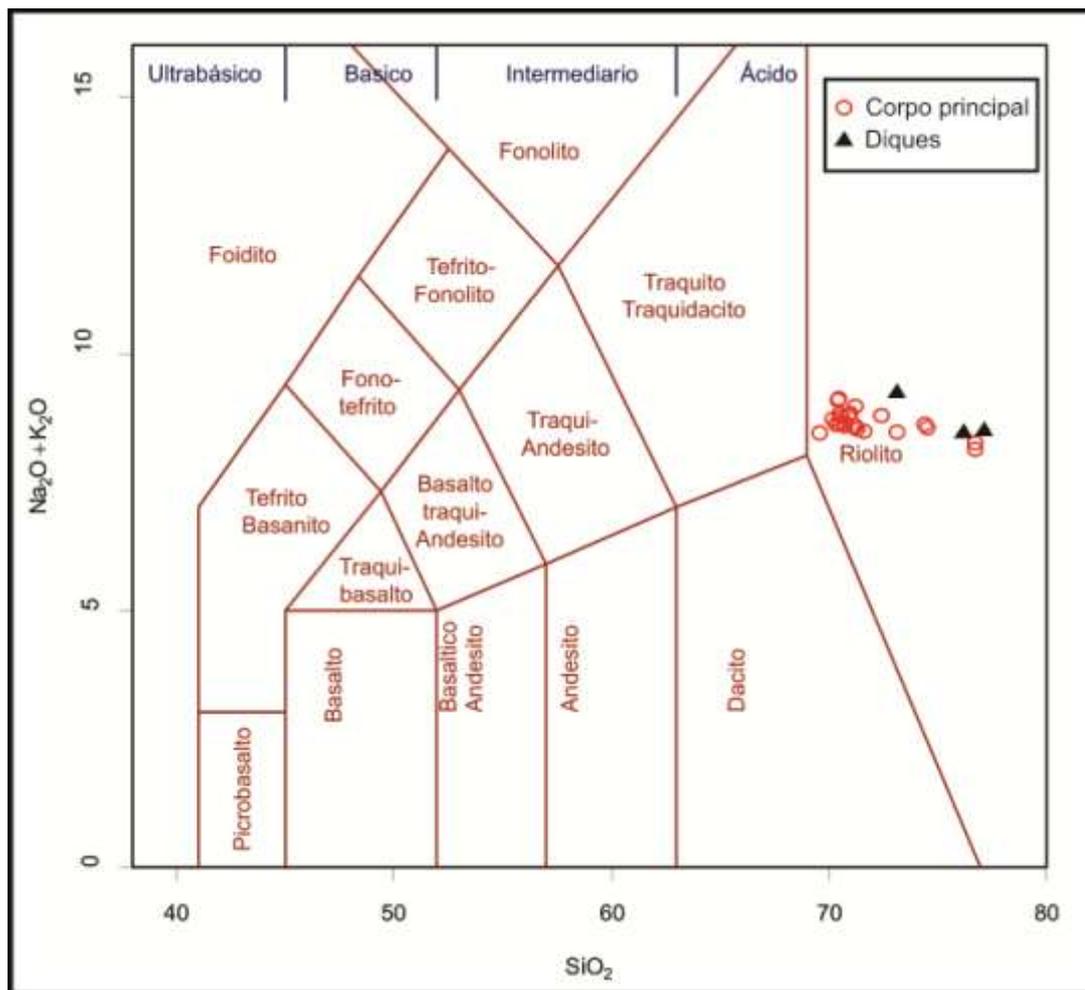


Figura 21– Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo a razão Álcalis vs. Sílica, segundo Le Bas *et al.* (1986).

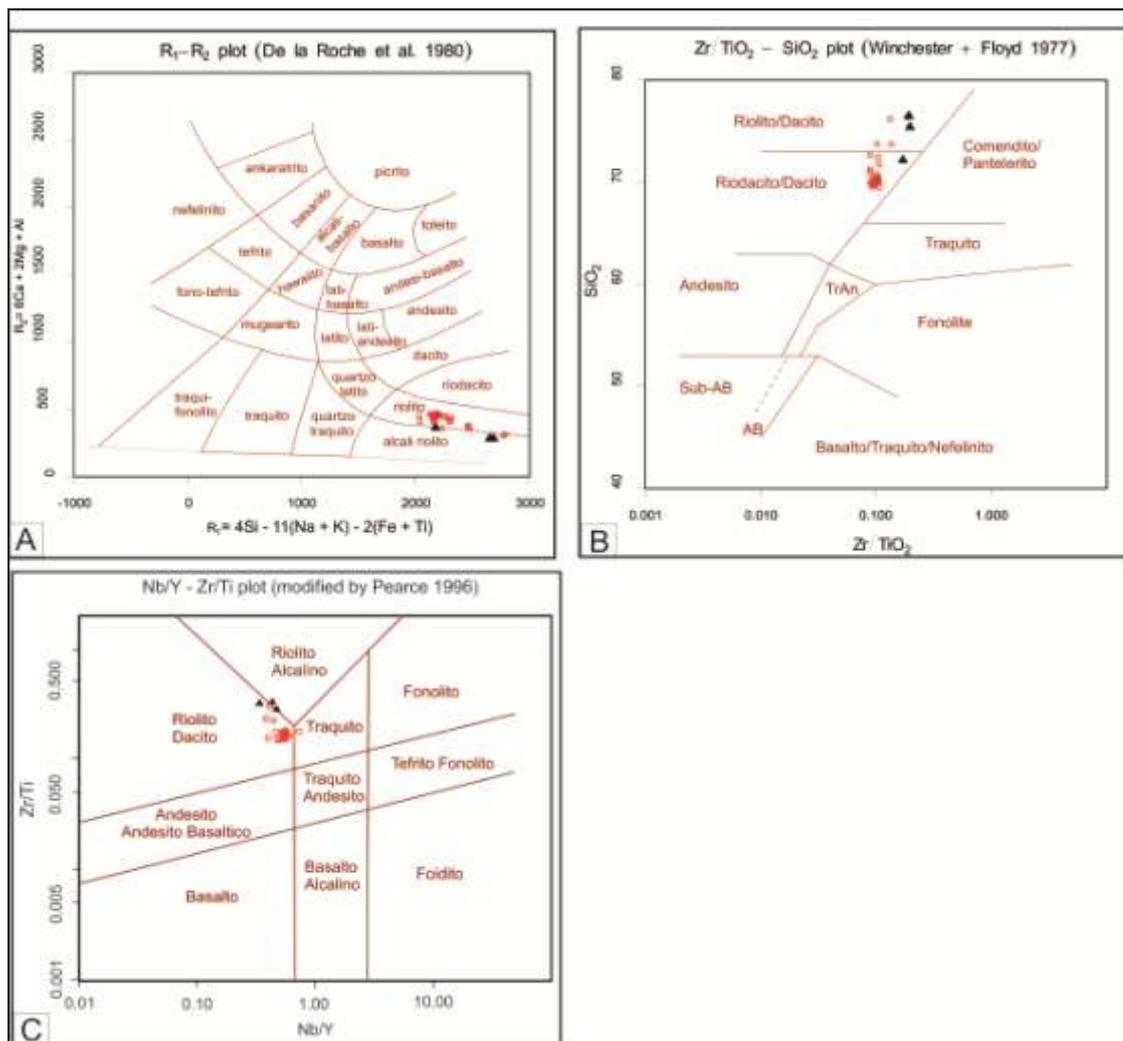


Figura 22– Diagramas de classificação e afinidade geoquímica; A) Diagrama R1 vs. R2 como proposto por De La Roche *et al.* (1980); B) Diagrama de classificação SiO₂ vs. Zr/TiO₂ como proposto por Winchester & Floyd (1977); C) Diagrama de classificação Zr/Ti vs. Nb/Y modificado de Pearce (1996). Círculo – Corpo principal; Triângulo – Diques.

Nestes diagramas observa-se um comportamento similar ao observado no TAS, onde as amostras ocupam um *trend* dos riolitos alcalinos, sempre próximo ao limite com as rochas subalcalinas.

A natureza potássica deste magmatismo é evidenciada pela elevada razão entre K₂O e Na₂O, com valores entre 1,5 e 2,5 (Fig. 23). Este comportamento é característico de riolitos de séries shoshoníticas (alcalina-K), mas os baixos teores de Sr (< 200 ppm) não caracterizam tipicamente esta série para as rochas estudadas. Estas características, associadas aos valores elevados em álcalis (8 a 9,2), nas razões FeOt/FeOt+MgO (0,88 a

0,98) e índices aluminos (molar $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$) superiores a 0,8 (Fig. 23), são indicativos de séries alcalinas, saturadas em sílica e metaluminosas, associadas a granitos tipo-A em ambientes pós-colisionais (Nardi & Bitencourt, 2009). Este caráter metaluminoso pode ser corroborado pelo diagrama de Shand (Maniar & Piccoli, 1989), onde os riolitos Ana Dias ocupam o campo das rochas metaluminosas a peraluminosas (Fig. 24).

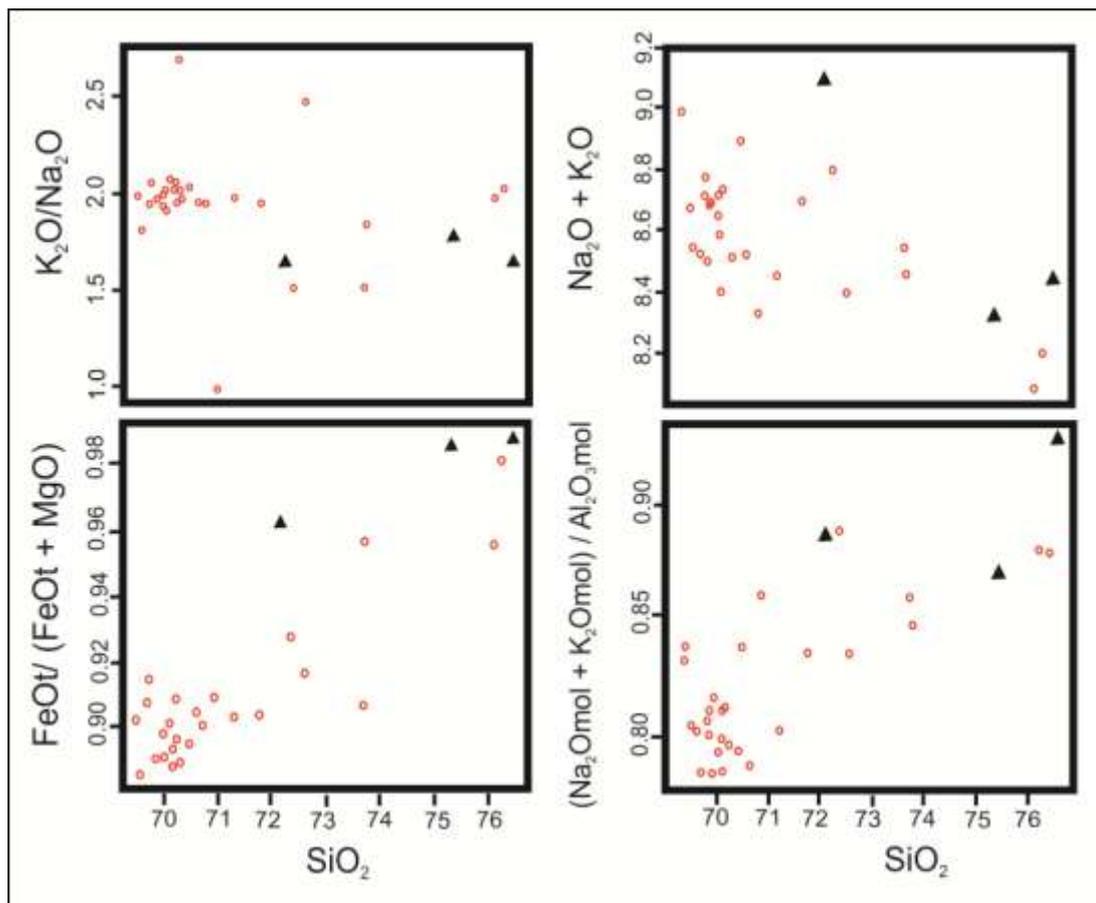


Figura 23 - Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ e razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO})$ e índice aluminos (wt.%) em função da SiO_2 (wt.%).
Circulo – Corpo principal; Triângulo – Dique.

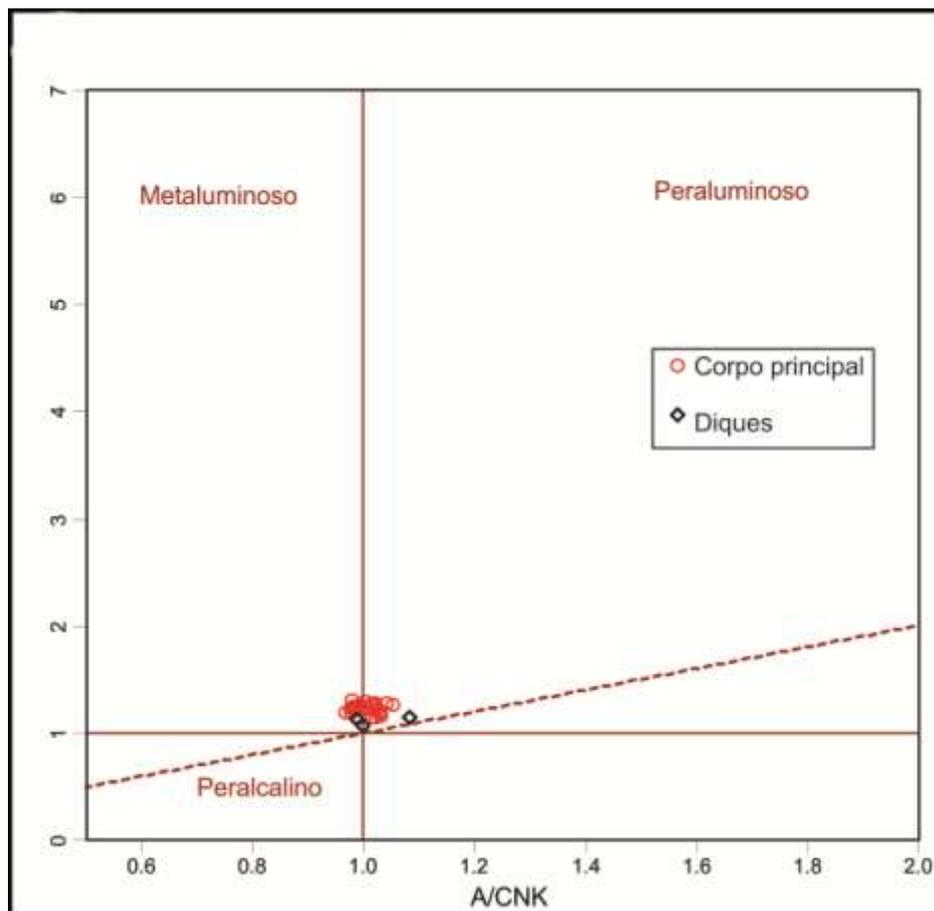


Figura 24 – Diagrama de Shand com as razões molares entre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$, segundo Maniar e Piccoli (1989).

Nos diagramas binários do tipo Harker (Fig. 25), os teores de SiO_2 variam aproximadamente de 69% a 77%, predominando composições em torno de 70-72%. Há uma tendência dos termos mais evoluídos estarem representados pelos diques riolíticos que cortam o corpo principal do Riolito Ana Dias. Com exceção do Na_2O , todos os demais elementos apresentam uma correlação negativa com a sílica. Este comportamento sugere mecanismos de diferenciação magmática, envolvendo provavelmente processos de cristalização fracionada, principalmente com o fracionamento de hornblenda, magnetita, plagioclásio e K-feldspato.

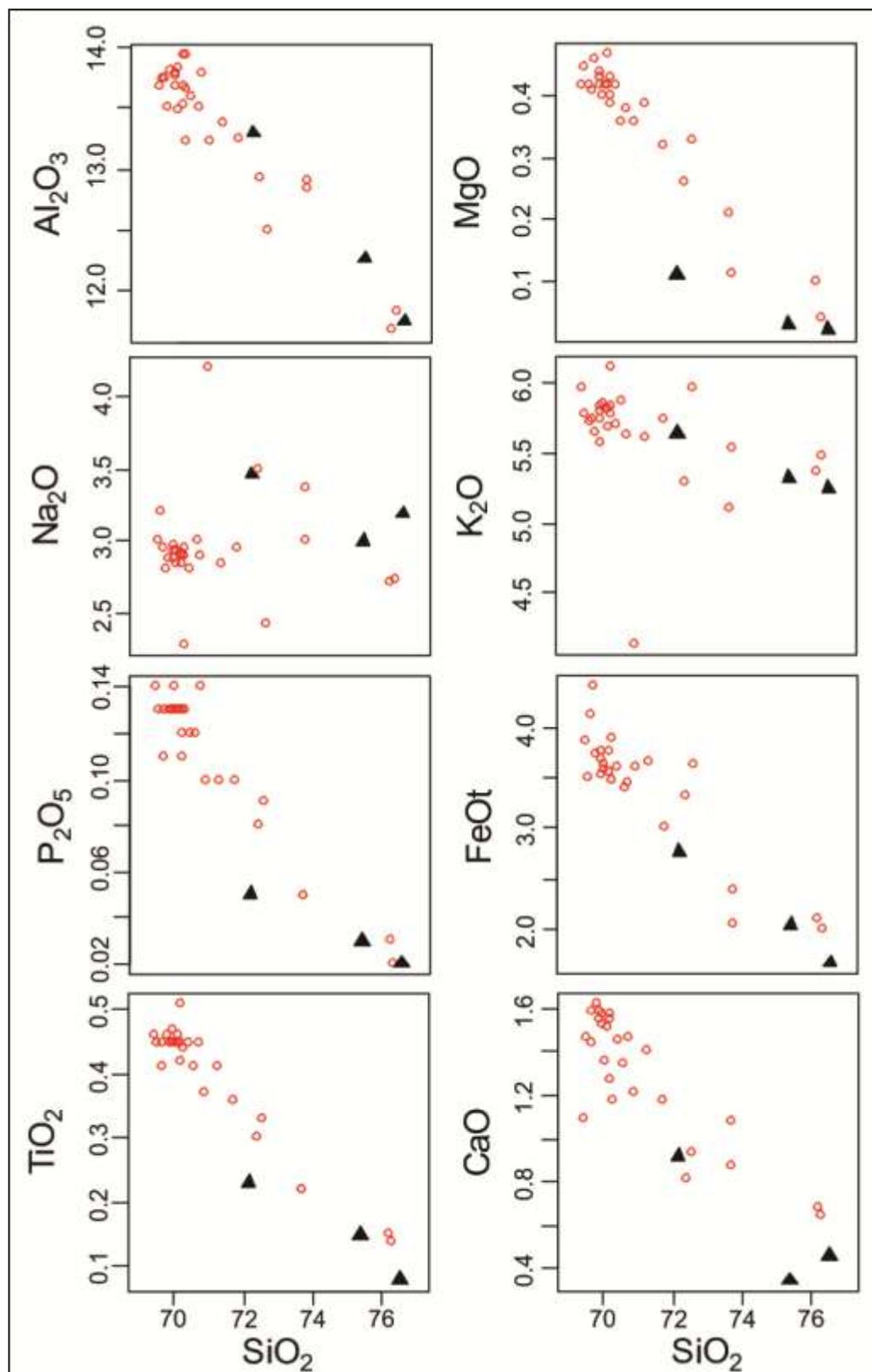


Figura 25 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação dos elementos maiores (wt.%) em função da SiO₂ (wt.%). Círculos – Corpo principal; Triângulos – Diques.

Em relação aos elementos traços, constatam-se valores moderados a elevados de Rb e Zr. O Nb e Y apresentam teores moderados, mas são mais altos nos líquidos mais diferenciados. Os valores de Sr e Ba são baixos e têm um caráter compatível com a diferenciação, corroborando mecanismos de diferenciação magmática na evolução destes líquidos riolíticos. O Zr apresenta o mesmo comportamento, o que deve estar refletindo o fracionamento de zircão. Os dados apresentados são compatíveis com as séries alcalinas de caráter metaluminoso.

Alguns elementos-traços e ETR, quando normalizados segundo valores de ORG (Pearce *et al.*, 1984), apresentam um padrão horizontalizado próximo a 1, para os HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf) e ETR (Sm e Yb) e um enriquecimento nos LILEs (K, Rb, Ba, Sr). Este padrão, juntamente com a anomalia negativa em Ba, o leve enriquecimento em Ce em relação aos elementos adjacentes e o enriquecimento de K_2O e Rb em relação ao Nb demonstram características de magmas derivados de fontes mantélicas, enriquecidas em elementos incompatíveis com alguma forma de participação crustal. Observa-se, ainda, um leve aumento no fracionamento de alguns elementos, principalmente Ta e ETR pesados com o aumento da diferenciação.

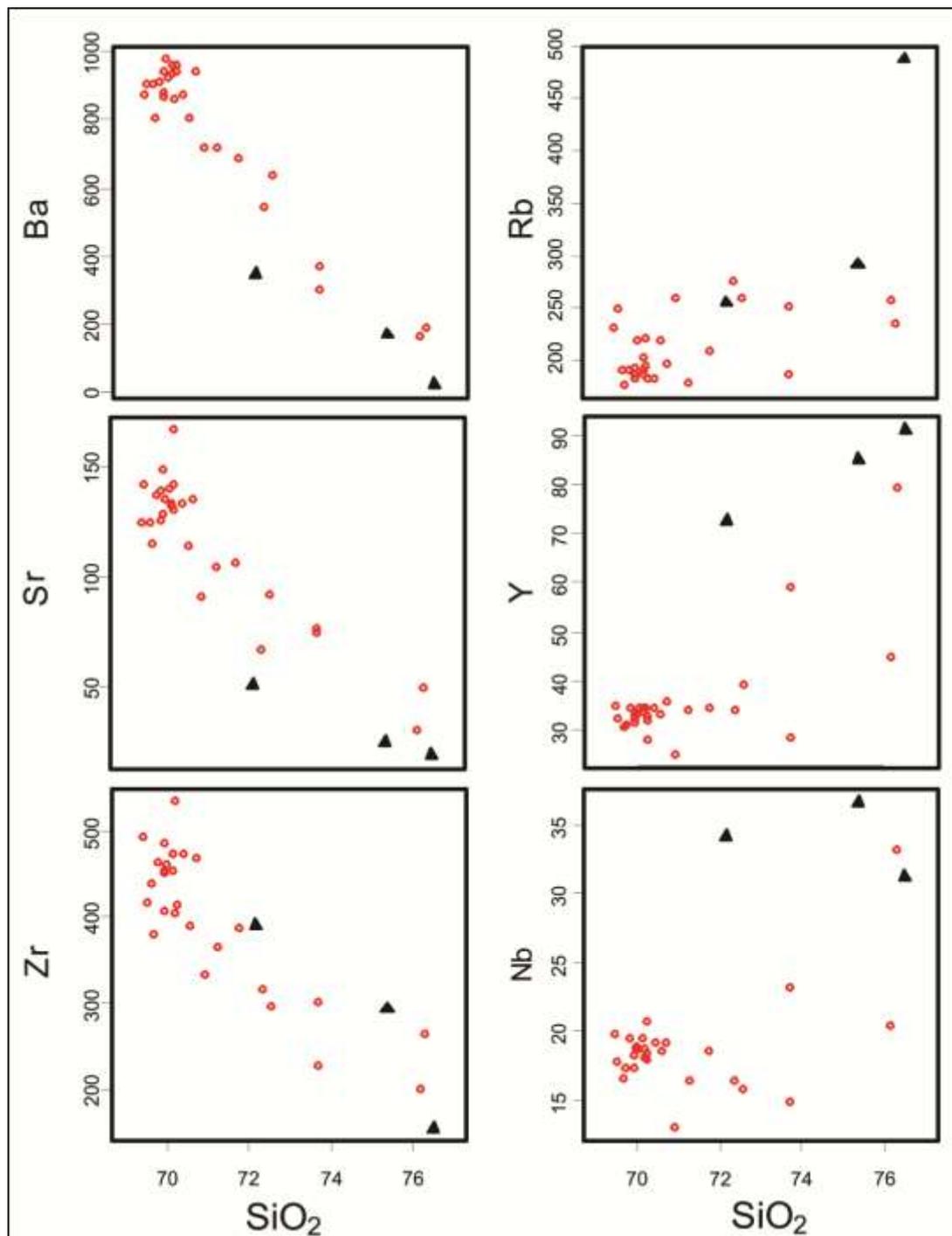


Figura 26 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traço (ppm) com os teores de SiO₂ (wt.%). Legenda como a da Figura 25.

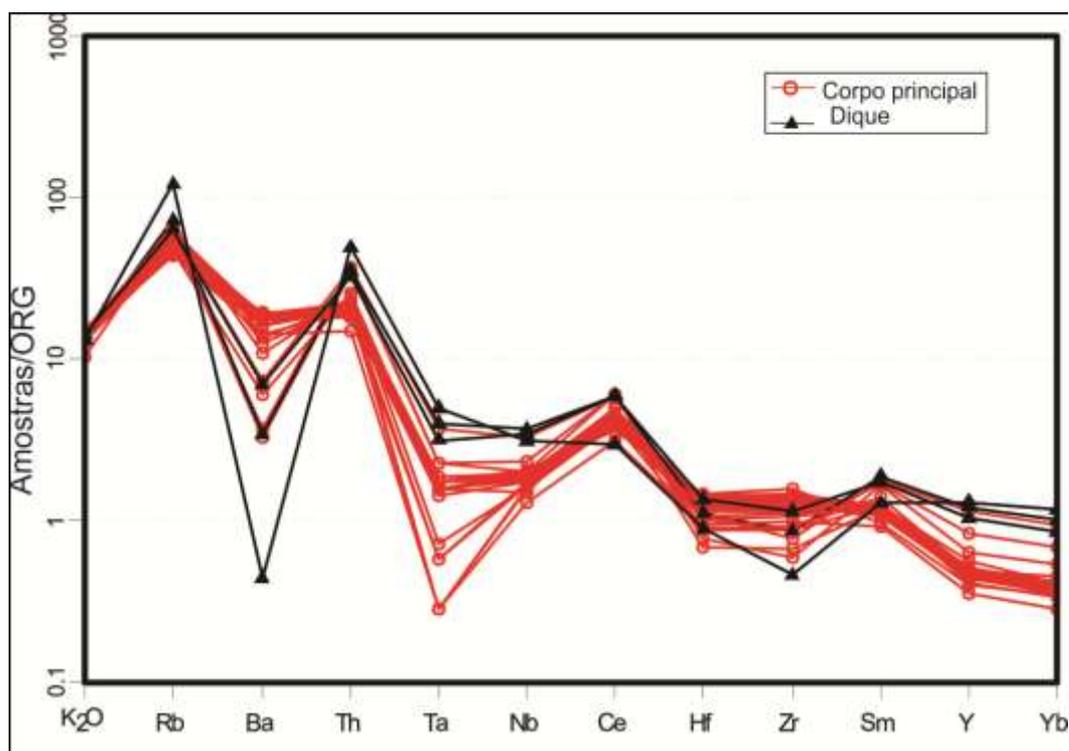


Figura 27– Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, segundo Pearce *et al.* (1984).

Os padrões dos elementos terras raras (ETR), quando normalizados com o padrão condrítico (Nakamura, 1974), mostram elevados valores destes elementos ($\Sigma_{ETR} = 277 - 477$) e são caracterizados por um forte enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP (Fig. 28). Este padrão é característico de magmas riolíticos alcalinos metaluminosos. As rochas mais diferenciadas, representadas pelos diques, apresentam um enriquecimento moderado destes parâmetros ($La/Yb = 3 - 8,5$). Apresentam um leve a moderado fracionamento em ETR leves ($La_N/Sm_N = 2,2 - 4,7$) e em ETR pesados ($Eu_N/Yb_N = 0,5 - 1,9$). Observa-se um considerável aumento no fracionamento em ETR, principalmente os pesados com o aumento da diferenciação (Fig. 28). Ocorre uma forte anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = 0,14 - 0,71$), que está provavelmente relacionada ao caráter bivalente deste elemento e o fracionamento de feldspatos.

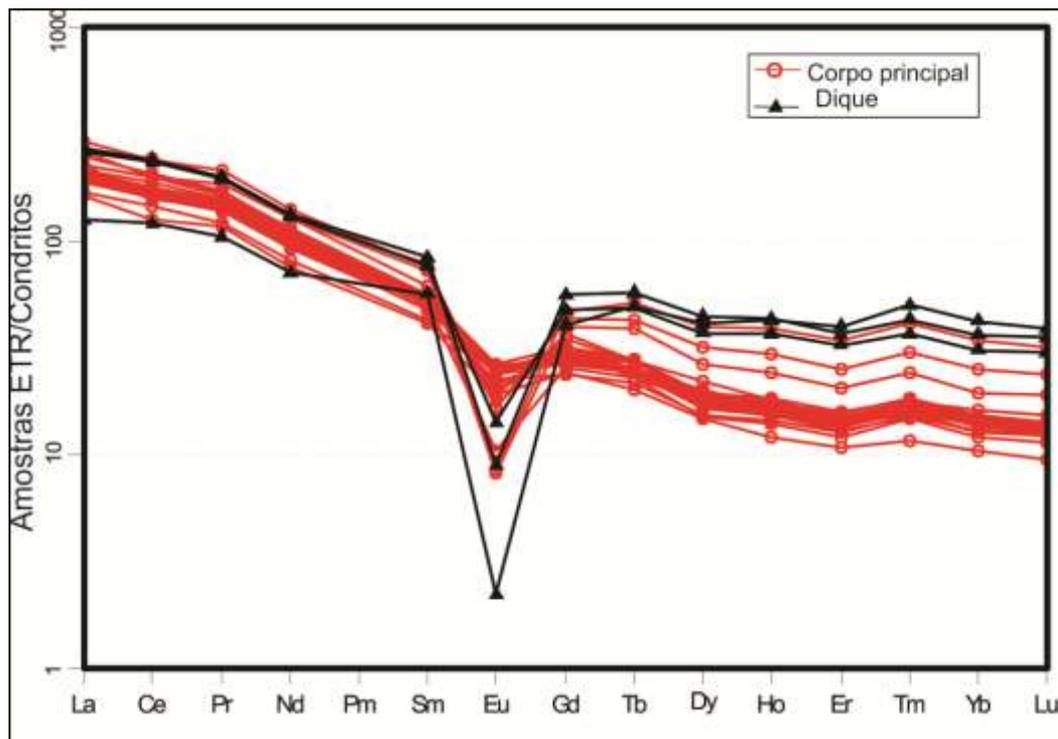


Figura 28 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas normalizadas pelo padrão condrítico (Nakamura, 1974).

Nos diagramas discriminantes de ambientes tectônicos que utilizam razões entre elementos traços (Y+Nb vs. Rb; Y vs. Nb) de Pearce *et al.* (1984), as rochas riolíticas ocupam o campo característico de ambientes pós-colisionais (Fig. 29). Os diques, por serem rochas mais diferenciadas e apresentarem valores de Nb e Y um pouco mais elevados, tendem a se deslocar para o campo mais intraplaca. Este comportamento, associado aos baixos valores de índice albitico (molar: $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,9$) e as elevadas razões La/Nb (> 2) (Fig. 30), pode indicar um maior efeito de contaminação crustal (Nardi & Bitencourt, 2009). Segundo esses autores, esses critérios podem ser utilizados na caracterização de granitos tipo-A associados a zonas de cisalhamento em ambientes pós-colisionais do Sul do Brasil.

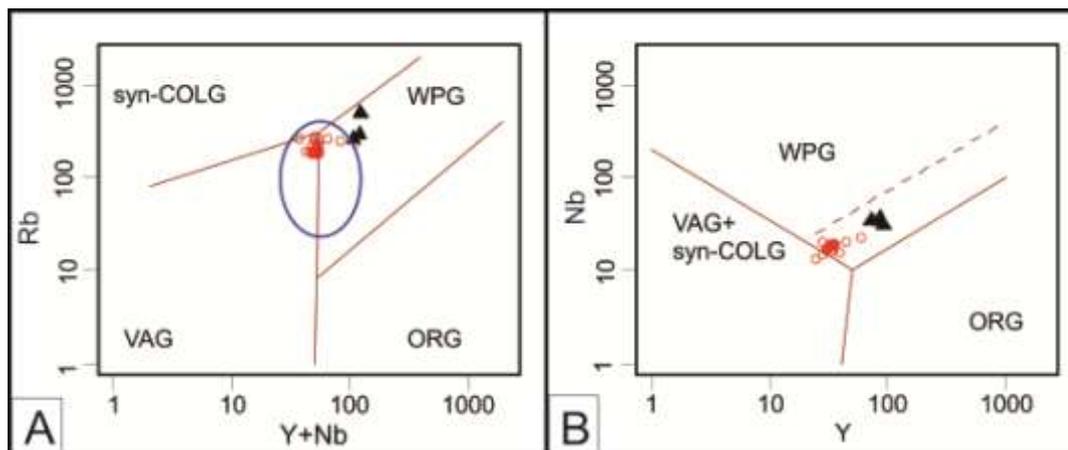


Figura 29 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos segundo Pearce *et al.* (1984): A) Diagrama Rb vs. Y+Nb o círculo representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y . Legenda como a da Figura 25.

Nos diagramas de classificação de granitoides de Whalen *et al.* (1987), as amostras ocupam o campo dos granitos do tipo “A” (Fig. 30). Essa classificação é confirmada pelos valores de $(10^4 \cdot \text{Ga})/\text{Al} > 2,6$, $\text{Ce} + \text{Y} + \text{Nb} + \text{Zr} > 400$ ppm. Os riolitos estudados mostram razões Y/Nb relativamente elevados e são classificados com sendo do tipo A2 (Eby, 1992). Estas características, associadas ao índice agpaítico e as razões $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t + \text{MgO})$ maiores que 0,8 e conteúdo de álcalis superior a 8%, são comuns em granitos do tipo-A relacionados a ambientes pós-colisionais, como os descritos por Philipp & Machado (2005) e Nardi & Bitencourt (2009) para o sul do Brasil.

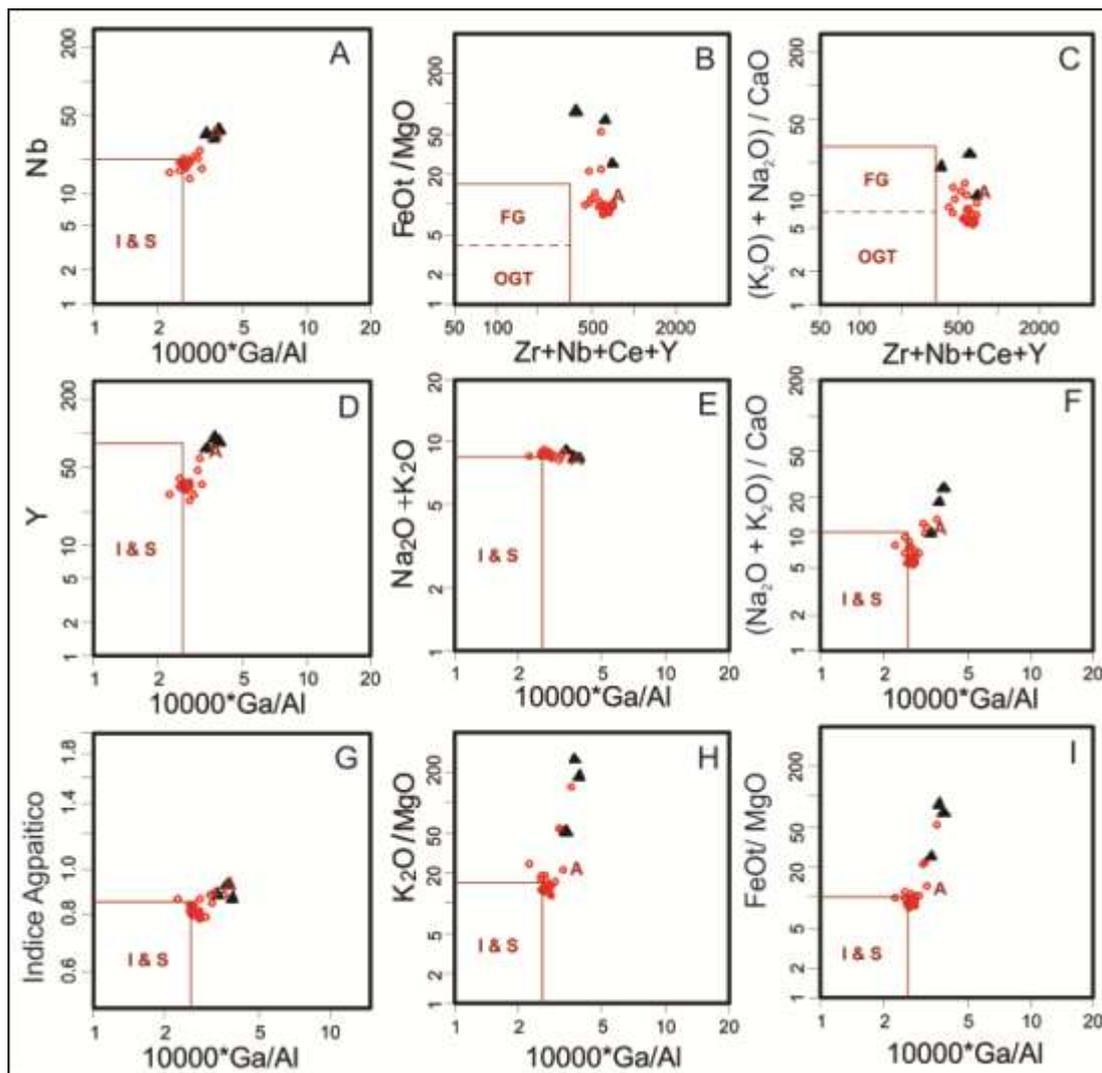


Figura 30 – Diagramas de classificação de granitoides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen *et al.* (1987): A) Nb vs. $10000 \cdot Ga/Al$; B) $FeOt/MgO$ vs. $Zr + Nb + Ce + Y$; C) $(K_2O) + Na_2O / CaO$ D) Y vs. $10000 \cdot Ga/Al$; E) $Na_2O + K_2O$ vs. $10000 \cdot Ga/Al$; F) $(K_2O) + Na_2O / CaO$ vs. $10000 \cdot Ga/Al$ G) IAGP vs. $10000 \cdot Ga/Al$; H) K_2O / MgO vs. $10000 \cdot Ga/Al$; I) $FeOt / MgO$ vs. $10000 \cdot Ga/Al$. Legenda como a da Figura 25.

5.2 CORRELAÇÃO COM O MAGMATISMO GRANÍTICO DO BATÓLITO PELOTAS

A fim de correlacionar geoquimicamente as rochas riolíticas da região do Cerro Ana Dias com as suítes graníticas do Batólito Pelotas, foram escolhidas amostras representativas de rochas graníticas mais diferenciadas, vinculados à Suíte Dom Feliciano (Philipp *et al.*, 2007) e dos riolitos associados ao Enxames de Diques Piratini (Zanon *et al.*, 2005).

Nos diagramas TAS (Le Bas *et al.*, 1986) e R1-R2 (De la Roche *et al.*, 1980), observa-se que o comportamento dos granitos mais diferenciados da Suíte Dom Feliciano e dos riolitos do Enxame de Diques Piratini é muito similar com o *trend* formado pelas rochas riolíticas da região do Cerro Ana Dias (Fig. 31 A e B).

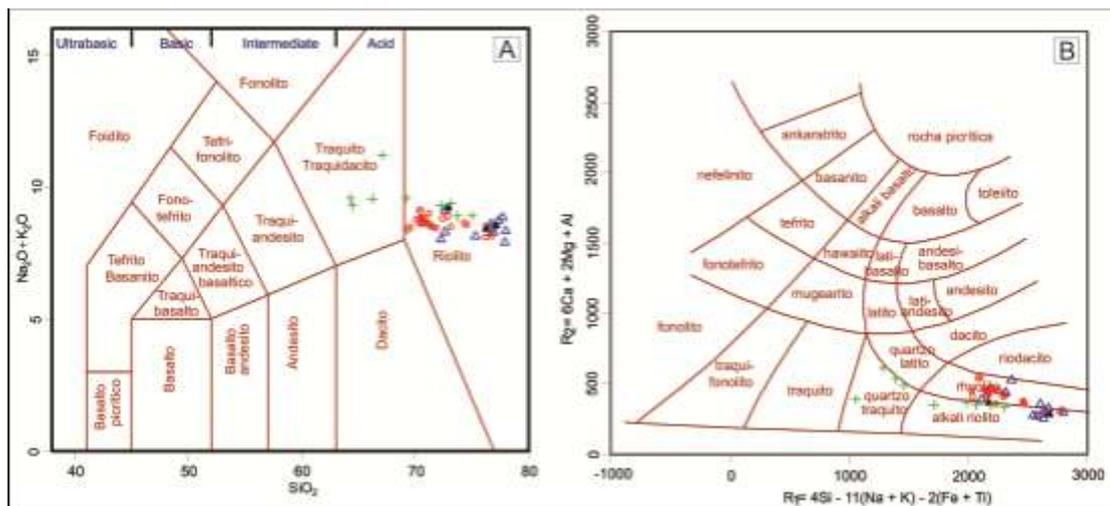


Figura 31 – A) Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo a razão Álcalis vs. Sílica, segundo Le Bas *et al.* (1986). B) Diagrama R1 vs. R2 como proposto por De La Roche *et al.* (1980). Círculo vermelho Ana Dias, triângulo preto: diques Ana Dias; cruzes verdes: diques Piratini; triângulo azul: granitoides da Suíte Dom Feliciano.

Observa-se uma tendência das rochas dos riolitos de Piratini apresentar uma alcalinidade mais acentuada, tendendo para sistemas peralcalinos, como demonstrados pelos diagramas de Winchester & Floyd (1977) (Fig. 32), onde as rochas fazem um *trend* paralelo às demais rochas e ocupando o campo das rochas comendíticas/panteleríticas.

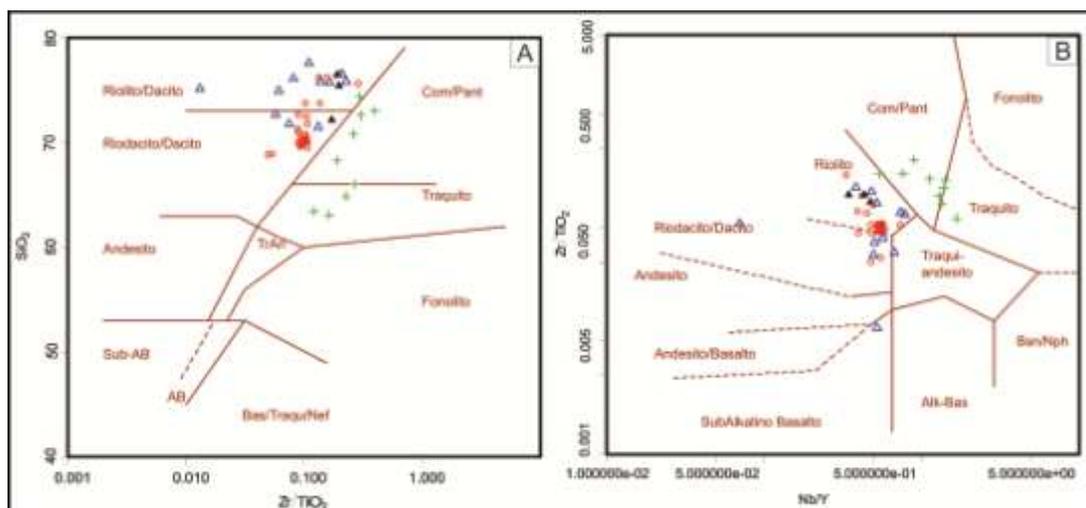


Figura 32 – Diagramas de classificação como proposto por Winchester & Floyd (1977). A) SiO_2 vs. Zr/TiO_2 . B) Zr/TiO_2 vs. Nb/Y . Legenda como a da Figura 31.

Os teores de álcalis são elevados para todas as associações, mas são maiores para os riolitos associados ao Enxame de Diques Piratini (Fig. 33). O magmatismo associado a estas rochas apresentam uma assinatura mais sódica, como pode ser comprovado pelas menores razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, onde os valores situam-se próximos da unidade (Fig. 33). Embora apresentem índices agpaíticos mais elevados quando comparados com as demais rochas ácidas, os diques de riolito não mostram valores superiores a 1, o que seria típico para rochas peralcalinas (Fig. 33). As razões Fe/Mg são elevadas para todas as associações e mais elevadas nas rochas da Região de Piratini, o que é típico de magmatismo alcalino.

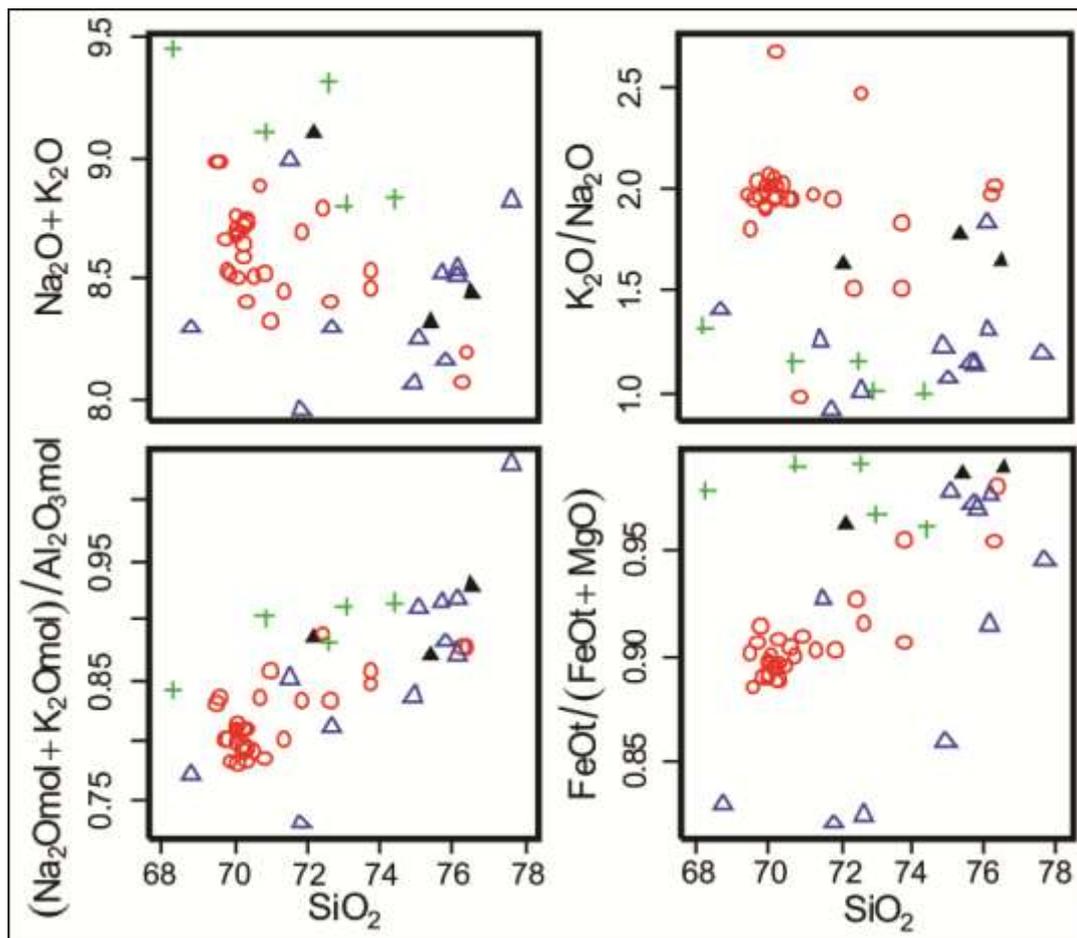


Figura 33 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório K₂O + Na₂O e razões K₂O/Na₂O, FeOt/FeOt+MgO e índice albitico (wt.%) em função da SiO₂ (wt.%).
Legenda como a da Figura 31

Em diagramas Harkers, tendo a sílica como índice de diferenciação (Fig. 34), observa-se *trends* evolutivos semelhantes dos riolitos Ana Dias e os granitos da Suíte Dom Feliciano. As rochas associadas ao exame de diques de Piratini apresentam um *trend* evolutivo similar, mas levemente empobrecidos em praticamente todos os óxidos, com exceção do Al₂O₃ e do Na₂O, que mostram teores um pouco mais elevados. Ambos os *trends* são sugestivos de processos de diferenciação envolvendo, provavelmente, mecanismos de fracionamento mineral.

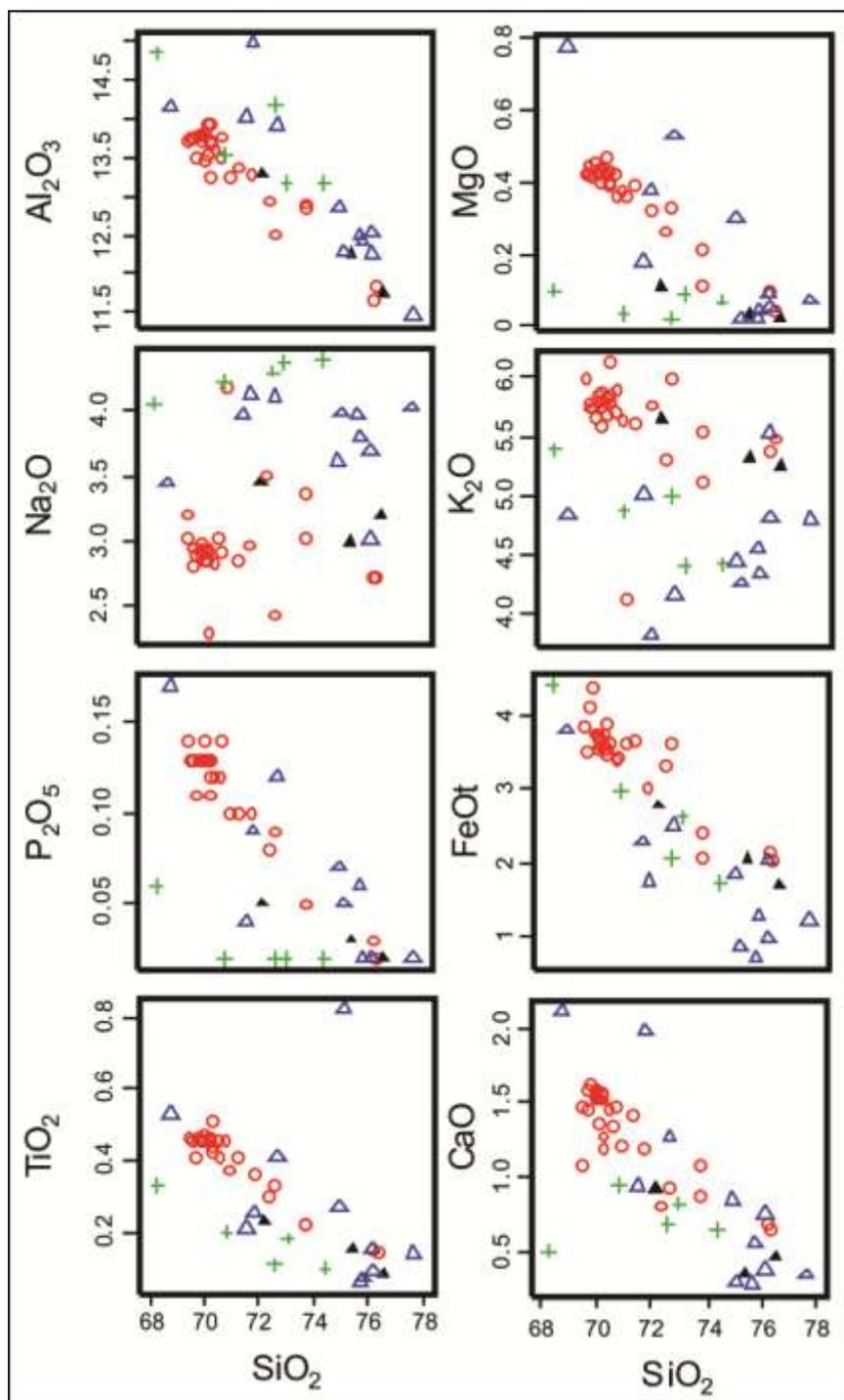


Figura 34– Diagramas Harker de variação dos elementos maiores (wt.%) em função da SiO_2 (wt.%). Legenda como a da Figura 31.

Em relação aos elementos traços, observa-se um comportamento similar ao observado nos elementos maiores. As rochas riolíticas do Cerro Ana Dias e os granitos da Suíte Dom Feliciano apresentam valores e *trends* muito semelhantes. As rochas do enxame de diques, por sua vez, um leve

empobrecimento em Ba, Rb e Sr e enriquecimento em Zr, Nb, e Y, o que estaria de acordo com a tendência mais alcalina desta unidade (Fig. 35). Os altos teores para Zr, Nb, Y e Ga e o enriquecimento em Rb, juntamente com os baixos teores de Ba e Sr, são característicos de magmatismo ácido de afinidade alcalina (Pearce *et al.*, 1984; Whalen *et al.*, 1987; Nardi, 1991).

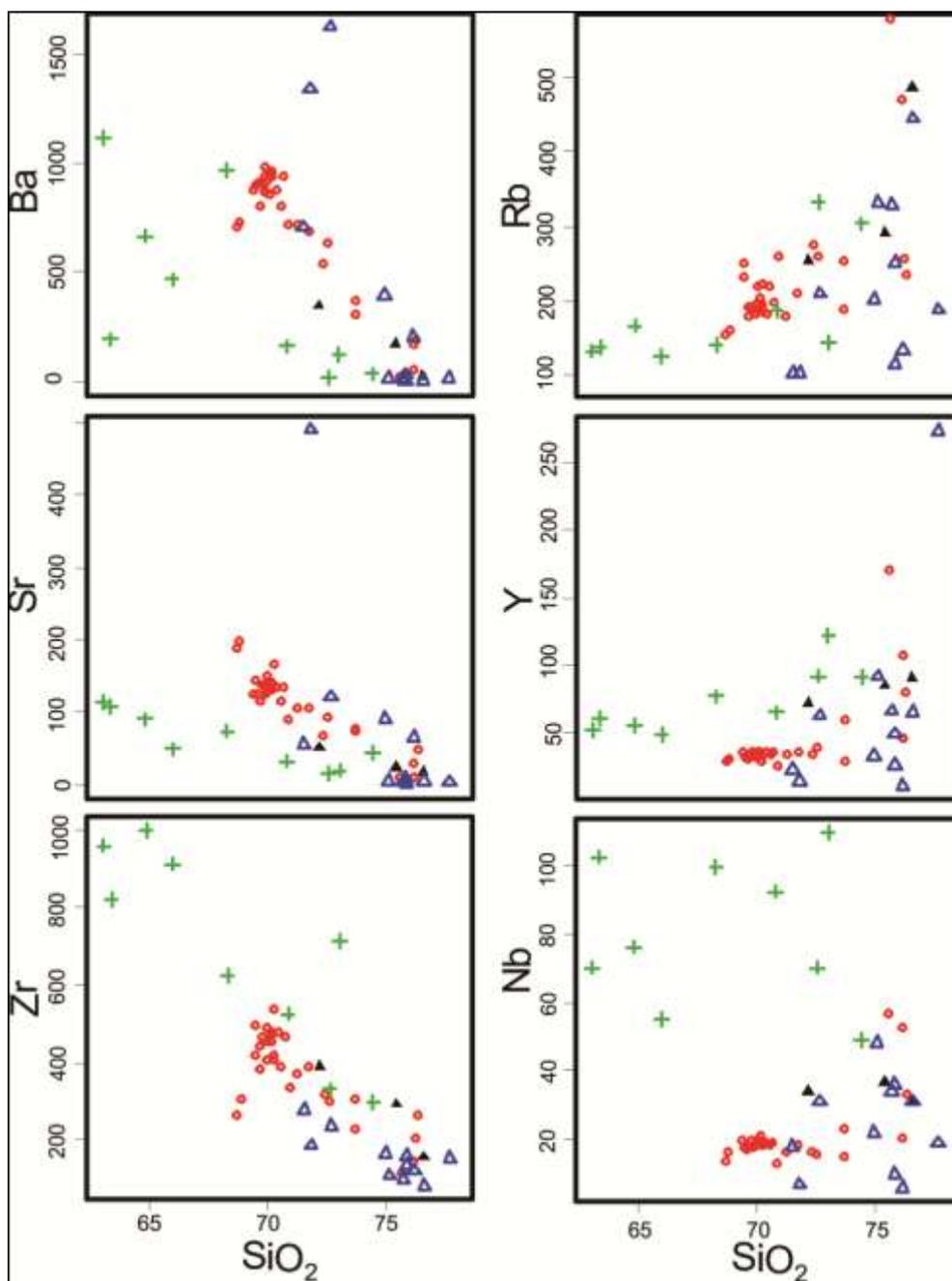


Figura 35– Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traço (ppm) com os teores de SiO_2 (wt.%). Legenda como a da Figura 31.

O comportamento de alguns elementos traços e ETR dos riolitos do Cerro Ana Dias e das demais unidades estudadas Dias, quando normalizados segundo os padrões do *ORG* (Pearce *et al.*, 1984), é apresentado no diagrama multielementar da Figura 36. O padrão apresentado é semelhante para todas as rochas analisadas. Observa-se um enriquecimento generalizado em elementos mais incompatíveis, como evidenciados pela variação entre os valores normalizados do Yb para o K₂O. Como feições características, destacam-se a anomalia negativa em Ba e o leve enriquecimento em Ce em relação aos elementos adjacente. Estas características, associadas a um enriquecimento de Rb e K₂O em relação ao Nb, são comuns em associações derivadas de uma fonte mantélica com participação crustal. O maior enriquecimento em HFSE, observado nos riolitos do enxame de diques Piratini, é típico de magmas alcalinos sódicos, com tendência peralcalina.

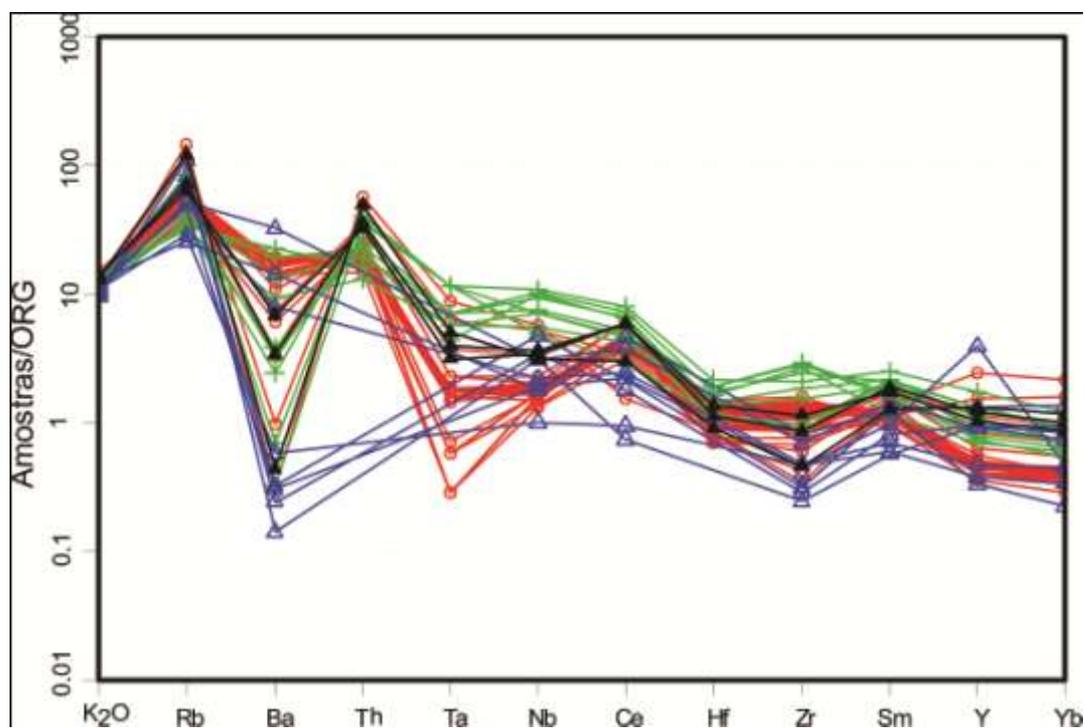


Figura 36 – Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, segundo Pearce *et al.* (1984).
Legenda como a da Figura 31.

O padrão de elementos terras-rara, quando normalizados segundo o condrito (Nakamura, 1974), também é similar para todas as rochas ácidas diferenciadas, com enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP e pronunciada anomalia de Eu. Este padrão é característico de associações alcalinas sódicas de ambientes pós-orogênicos a pós-colisionais. Assim como no diagrama multielementar apresentado anteriormente, nota-se nas rochas riolíticas de Piratini um maior enriquecimento em ETR, principalmente os ETRL, o que é característico de magmas alcalinos com tendência peralcalina.

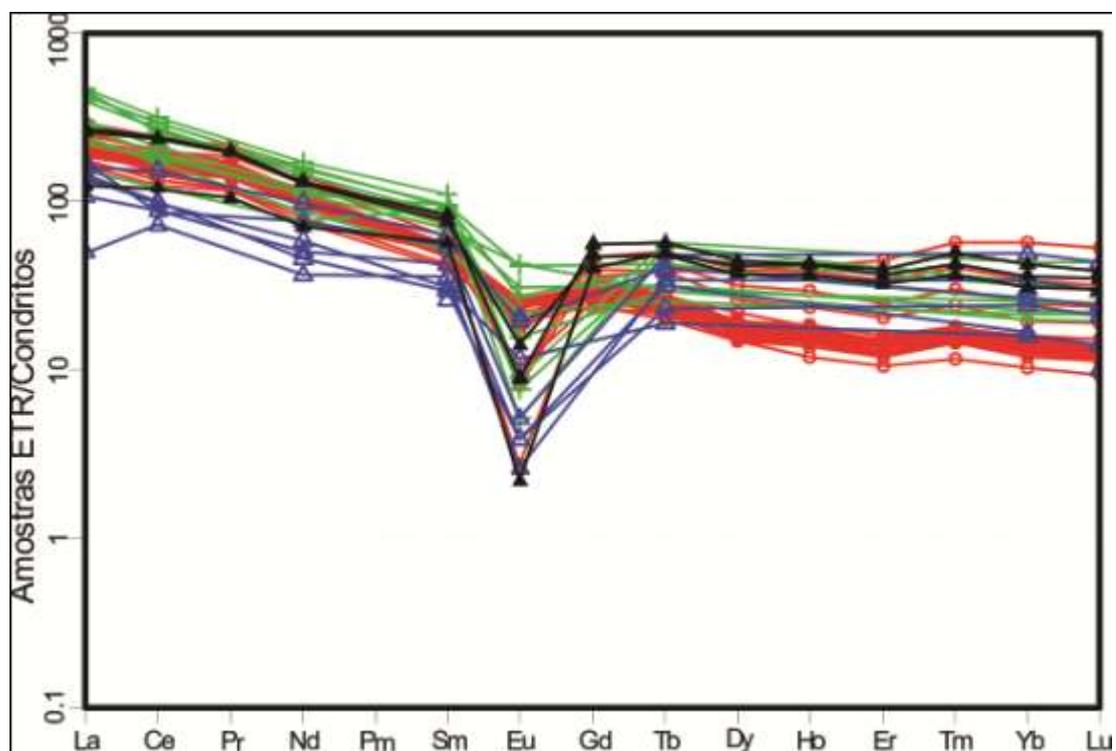


Figura 37 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas normalizadas pelo padrão condritico (Nakamura, 1974). Legenda como a da Figura 31.

Nos diagramas discriminantes de ambientes tectônicos de Pearce *et al.* (1984), as amostras possuem razões $Rb/Y+Nb$ e Nb/Y , ocupando o campo pós-colisional tendendo ao campo dos ambientes intraplaca, principalmente para as rochas mais fortemente alcalinas associadas ao enxame de diques Piratini (Fig. 38). Nos diagramas de classificação de granitoides propostos por Whalen *et al.* (1987), as amostras ocupam o campo dos granitos do tipo “A”

(Fig. 39). Esta classificação é confirmada pelos valores de $(10^4 \text{Ga})/\text{Al} > 2,6$, $\text{Ce}+\text{Y}+\text{Nb}+\text{Zr} > 500\text{ppm}$ e $\text{FeOt}/\text{FeOt}+\text{MgO} > 0,9$, como proposto por Nardi & Bittencourt (2009) para o magmatismo granítico do tipo “A” no sul do Brasil.

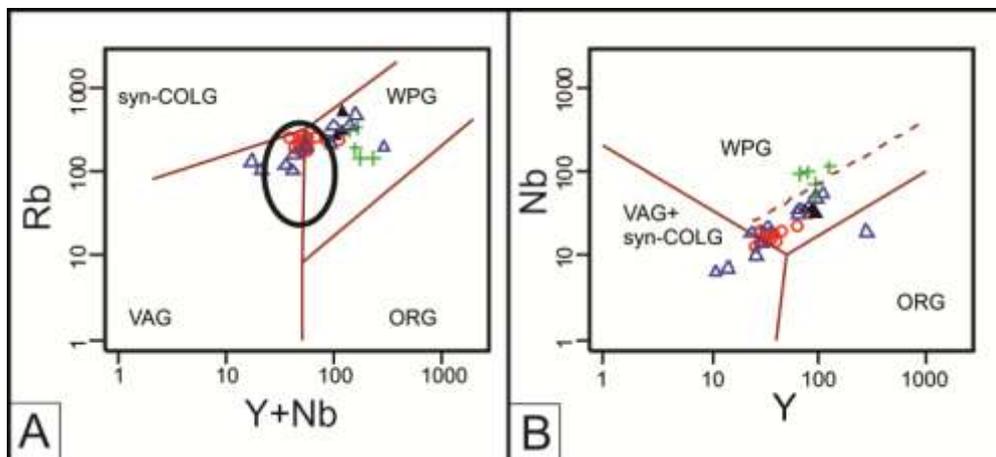


Figura 38 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos segundo Pearce *et al.* (1984): A) Diagrama Rb vs. Y+Nb o círculo representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda como a da Figura 31.

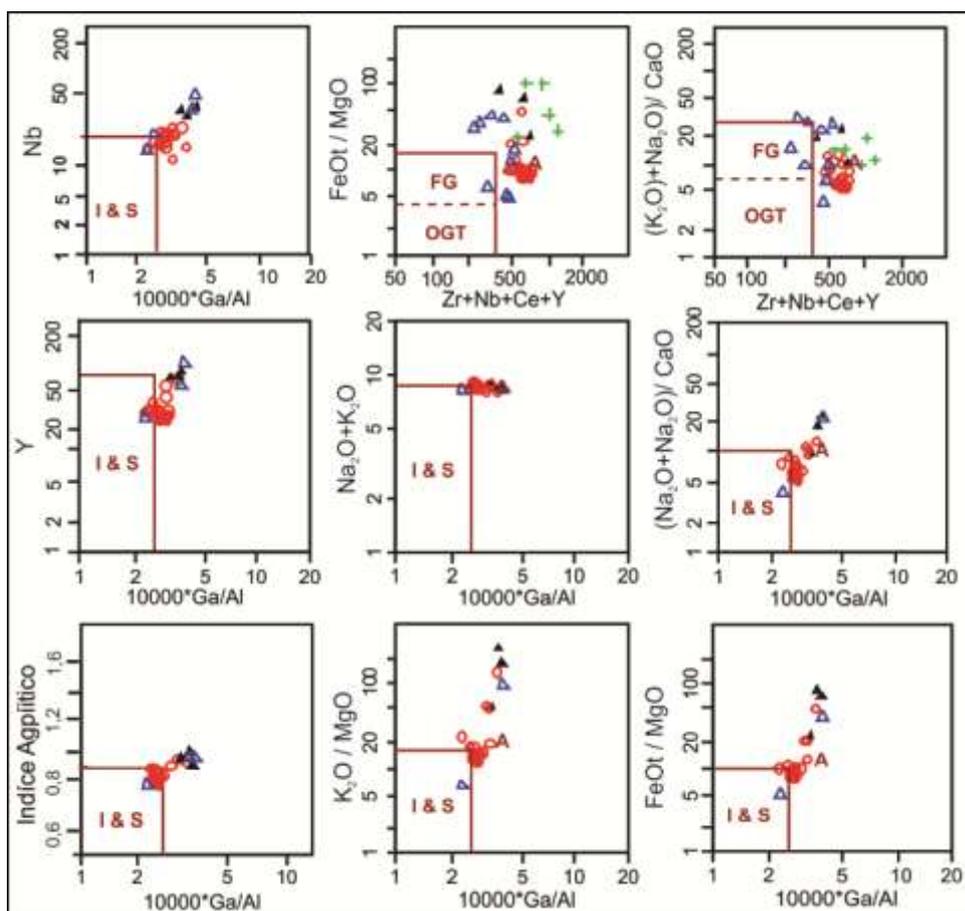


Figura 39 – Diagramas de classificação de granitoides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen *et al.* (1987): A) Zr vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; B) Nb vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$; C) IAGP Vs. $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$. Legenda como a da Figura 31.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Cerro Ana Dias situado na região de Quitéria é constituído de rochas hipabissais riolíticas estratigraficamente definidas como Riolito Ana Dias, que ocorrem como um corpo intrusivo raso alongado na direção NE-SW, de características subvulcânicas, e em forma de diques, intrudindo o Granito Arroio Francisquinho, Granito Quitéria, Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos e Granodiorito Cruzeiro do Sul.

O corpo principal possui dimensões de 18 x 4,5 km com uma variação faciológica não muito pronunciada, onde, de uma maneira geral, dominam os termos porfiríticos, com aparência plutônica, com abundância (30-40%) em fenocristais de quartzo e feldspato alcalino e subordinadamente plagioclásio, envolvidos por uma matriz inequigranular fina. É comum a presença de textura micrográfica, com intercrescimentos de quartzo e feldspato alcalino. Em algumas amostras observa-se uma foliação cataclástica evidenciada pela quebra de fenocristais e dos minerais da matriz ao longo de uma direção preferencial de fraturamento. Ocorre em algumas porções do corpo, riolitos porfiríticos onde possui uma menor quantidade de fenocristais de quartzo (< 15%) em uma matriz muito fina a afanítica, podendo representar restos de margens resfriadas félsicas. Os diques métricos possuem direção preferencial N-NE e dimensões variadas. Os riolitos apresentam uma textura porfirítica, caracterizada por fenocristais euédricos a subédricos (40-50%) de feldspato alcalino e quartzo, envolvidos por matriz afanítica de composição quartzo-feldspática, algumas vezes com aspecto vítreo.

Os dados de campo e petrográficos apresentados não indicam a presença de depósitos vulcânicos e efusivos como sugeridos em trabalhos anteriores (Fragoso César, 1986). Todos os aspectos faciológicos e texturais apresentados acima são indicativos de sistemas subvulcânicos, como o alto grau de cristalinidade das rochas riolíticas e a ausência de características típicas de lavas riolíticas, como termos afaníticos, porções autobrechadas e texturas de fluxo. A ausência de sequências sedimentares, comuns em ambientes vulcânicos e o nível crustal das rochas encaixantes são coerentes com as afirmativas apresentadas acima. Podendo assim ser considerado um stock, por se tratar de um pluton com $< 100\text{km}^2$. Os termos porfiríticos com matrizes mais finas podem sugerir a presença de margens félsicas que ocorrem em porções aleatórias e não concordantes com as bordas do corpo. Em parte, isso pode ser explicado pelo tipo de contato, normalmente por falhas, cuja estruturação é compatível com a disposição do corpo. Estas falhas, que inclusive afetam de maneira acentuada o corpo principal do Riolito Ana Dias, podem estar coincidentes com a descontinuidade que serviu de conduto para a colocação do magma riolítico. Os diques de riolitos refletem os eventos tardios dentro deste sistema magmático, pois cortam tanto as encaixantes, como o corpo principal.

Os dados geoquímicos mostram altos teores de SiO_2 , (69 a 77%) e muitas amostras apresentam teores superiores a 73%, sendo assim consideradas como “sistemas de alta-sílica”. Os diques que cortam o corpo principal tendem a ser mais evoluídos.

A origem e evolução de magmas alcalinos enriquecidos em sílica são sujeitas a consideráveis controvérsias, e muitos mecanismos têm sido postulados para explicar a origem desses magmas. Vários autores sugerem que os riolitos alta-sílica representariam líquidos riolíticos residuais produzidos pelo fracionamento de magmas alcalinos de origem mantélica (Loiselle & Wones, 1979; Turner *et al.*, 1992; Wilson, 1989). Nesta hipótese, processos de cristalização fracionada, possivelmente combinados com processos de contaminação ou assimilação crustal, seriam os maiores responsáveis pela evolução de magmas alcalinos altamente diferenciados de

basaltos transicionais ou moderadamente alcalinos. Processos semelhantes são sugeridos por diversos autores (e.g. Verma 1983; 1984; Halliday *et al.*, 1984; Novak & Mahood, 1986; Cameron & Cameron, 1986a; Halliday *et al.*, 1986; Ferriz & Mahood, 1987; Moll-Stalcup, 1987; Hildreth, 1987; Halliday *et al.*, 1987) para explicar a gênese de riolitos alta-sílica em diversos ambientes, como o Centro Vulcânico Sierra La Primavera (Pleistoceno – México, Mahood & Halliday, 1988).

Trabalhos recentes (e.g. Hildreth, 2004; Bachmann & Bergantz, 2004; Lipman, 2007) propõem que riolitos alta-sílica poderiam ser originados a partir da separação de líquidos riolíticos oriundos do *crystal mush* vinculados a grandes plútons granodioríticos ou graníticos. As rochas riolíticas estudadas apresentam características das séries alcalinas saturadas em sílica e metaluminosas, como valores elevados em álcalis (8 a 9,2), nas razões $\text{FeO}t/\text{FeO}t+\text{MgO}$ (0,88 a 0,98) e índices agpaíticos (molar $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$) superiores a 0,8. Embora apresentem elevadas razões entre K_2O e Na_2O , que seria característico de riolitos de séries shoshoníticas (alcalina-K), os baixos teores de Sr (< 200ppm) não caracterizam tipicamente esta série para as rochas estudadas. Todos os elementos, exceto o Na_2O , apresentam uma correlação negativa com a sílica. Este comportamento sugere mecanismos de diferenciação magmática, envolvendo provavelmente processos de cristalização fracionada, principalmente com o fracionamento de hornblenda, magnetita, plagioclásio e K-feldspato.

Nos elementos traços são constatados valores moderados a elevados de Rb e Zr, e moderados teores de Nb e Y, mas são mais altos nos líquidos mais diferenciados. Os valores de Sr e Ba são baixos e têm um caráter compatível com a diferenciação, corroborando mecanismos de diferenciação magmática na evolução destes líquidos riolíticos.

O comportamento dos elementos traços, quando normalizados ao ORG, mostra um enriquecimento nos LILEs, uma anomalia negativa em Ba, um leve enriquecimento em Ce em relação aos elementos adjacentes e um enriquecimento de K_2O e Rb em relação ao Nb, sugere características de

magmas derivados de fontes mantélicas, enriquecidas em elementos incompatíveis, com alguma forma de participação crustal. Este comportamento, aliado ao padrão do ETR marcado pelo enriquecimento de ETRL em relação aos pesados e a forte anomalia de Eu, também é sugestivo de magmas riolíticos alcalinos metaluminosos. Em relação ao Batólito Pelotas, a proposta inicial de que o Riolito Ana Dias tivesse uma correlação genética com as suítes mais diferenciadas pode ser considerada satisfatória. Quando comparados com os dados das rochas graníticas da Suíte Dom Feliciano e com os riolitos relacionados ao Enxame de Diques Piratini (Zanon *et al.*, 2005), constata-se que as rochas riolíticas do Cerro Ana Dias mostram características mais semelhantes as das rochas graníticas. Os riolitos de Piratini são mais diferenciados e apresentam um grau de alcalinidade maior, tendendo a líquidos peralcalinos. O magmatismo associado a estas rochas apresentam uma assinatura mais sódica, como pode ser comprovado pelas menores razões K_2O/Na_2O , nas quais os valores situam-se próximos da unidade. As razões Fe/Mg são elevadas para todas as associações e mais elevadas nas rochas da Região de Piratini, o que é típico de magmatismo alcalino. O comportamento dos elementos traços confirma as constatações feitas a partir dos elementos maiores, sendo muito similar para as rochas do Cerro Ana Dias e os granitos da Suíte Dom Feliciano. Os altos teores para Zr, Nb, Y e Ga e o enriquecimento em Rb, juntamente com os baixos teores de Ba e Sr, são característicos de magmatismo ácido de afinidade alcalina. O maior enriquecimento em HFSE, observado nos riolitos do Enxame de Diques Piratini, é típico de magmas alcalinos sódicos, com tendência peralcalina.

O Riolito Ana Dias, assim como as rochas graníticas da Suíte Dom Feliciano e do Enxame de Diques Piratini, apresentam características geoquímicas compatíveis com os magmas graníticos tipo-A, como valores de $(10^4 \cdot Ga)/Al > 2,6$, $Ce+Y+Nb+Zr > 500\text{ppm}$ e $FeOt/FeOt+MgO > 0,9$. Estes valores, juntamente com as razões Rb/Y+Nb e Nb/Y, são sugestivos magmas associados a ambientes pós-colisionais, coincidindo com as constatações feitas por Nardi & Bittencourt (2009) para o magmatismo granítico do tipo "A" no sul do Brasil. Segundo estes autores, a origem e a

evolução deste magmatismo granítico podem estar relacionados a processos envolvendo diferenciação magmática, a partir de magmas mantélicos de composição básica ou intermediária. Em alguns casos, a gênese dos magmas tipo-A poderia estar associada à contaminação crustal, principalmente em áreas com importante atividade tectônica transcorrente, como é o caso do contexto geológico da região de Quitéria, onde está inserido o Riolito Ana Dias.

REFERÊNCIAS

Almeida, F. F. M.; Melo, C. 1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. *In*: Bistrichi, C. A.; Carneiro, C. D. R.; Dantas, A. S. L.; Ponçano, W. L. (Ed.). *Mapa geológico do Estado de São Paulo: nota explicativa*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. V.1. p. 46-77.

Almeida, D.P.M.; Gomes, M.E.B.; Philipp, R.P.; Robaina, L.E.S.; Pintaúde, D.A. 1990b. Contribuição ao conhecimento dos granitóides alcalinos da Suíte Dom Feliciano do Batólito Pelotas, região de Torrinhas, RS, *Acta Geologica Leopoldensia*, v.XIII, 31: 59-72.

Almeida, E. S.; Abreu de Castilhos, J. J.; Simon A. F.; Avila, E. L.; Aumond, J. J.; Pinto, N. L. C.; Dal Santo, N. A & Infante, N. 1991. Observações Geomorfológicas na Praia do Forte – Ilha de Santa Catarina, Município de Florianópolis – SC. *GEOSUL*, 11: p. 38-54.

Babinski, M.; Chemale Jr., F.; Van Schmus, W. R.; Hartmann, L. A.; Silva, L. C. 1997. *U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences*, 10 (3-4): 263-274.

Bachmann O., Bergantz G. W. 2004. On the origin of crystal-poor rhyolites: extracted from batholithic crystal mushes. *Journal of Petrology*; 45:1565-1582.

Bitencourt, M. F.; Nardi, L. V. S. 2000. *Tectonic setting and sources of magmatism related to the southern Brazilian Shear Belt*. *Revista Brasileira de Geociências*. 30:184-187.

Borba, A. W. 2006. Evolução geológica da "Bacia do Camaquã" (Neoproterozoico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. Porto Alegre, 121p. *Tese de Doutorado*. PPGeo/IG/UFRGS.

Cameron, K.L.; Cameron, Maryellen, 1986, Geochemistry of quartz-normative igneous rocks from the Chinati Mountains and Terlinga areas, west Texas--a comparison with Cenozoic volcanic rocks from Chihuahua and Baja California Sur, Mexico in Price, J.G.,

Chemale Jr., F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. *In*: De Ros, L. F. & Holz, M. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p.13-52.

Cordani, U. G.; Halpern, M.; Berenholc, M. 1974. Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre. *In*: *CARTA GEOLÓGICA DO BRASIL AO MILIONÉSIMO*, texto explicativo da Folha de Porto Alegre e Lagoa Mirim. Brasília, DNPM, p. 70-84.

CPRM. *Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais*. 1995. Folha Passo do Salsinho SH-22-Y-A-I-4, Escala 1:50.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília, 339p.

De La Roche, H.; Leterrier, J.; Grandclaude, P. 1980. *A classification of volcanic and plutonic rocks and associations*. Chem. Geol., 29:183-210.

Eby, G. N. (1992) Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology* 20, 641-644.

Fernandes, E.Z.; Pickerel, M.T.; Guedes, S.C. 1989. Projeto Vila Nova - Relatório de Reavaliação de Reservas. Processo DNPM 850.048/80. Mineração Amapari Ltda. Belém, (Relatório Interno DNPM)

Fernandes, L. A. D.; Tommasi, A.; Porcher, C. C.; Vieira Jr., N.; Marques-Toigo, M.; Guerra-Sommer, M.; Piccoli, A. E. 1988. *Mapa geológico de parte das folhas de Quitéria e Várzea do Capivarita – RS*. Quitéria, folha SH 22-Y-B-I-4, Estado do Rio Grande do Sul, Várzea do Capivarita, folha SH 22-Y-B-I-3, Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS. 1 mapa preto e branco. Escala 1:50.000.

Fernandes, L. A. D.; Menegat R.; Costa, A. F. U.; Koester, E.; Porcher, C. C.; Tommasi, A.; Kraemer G.; Ramgrab, G. E.; Camozzato, E. 1995. *Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I – uma contribuição a partir do registro geológico*. Rev. Bras. Geoc, 25(4): 351-374.

Ferriz, H, Mahood G. A. 1987. Strong compositional zonation in a silicic magmatic system: Los Humeros, Mexican Neovolcaic Belt. *J Petrol* 28:171-209.

Figueiredo, M. C. H.; Fragoso-Cesar, A. R.; Kronberg, S. 1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *In: SBG, Cong. Bras. Geol., 36, Anais*. p.1623-1738.

Fontana, E.; Nardi, L. V. S.; Bitencourt, M. F. Caracterização Geoquímica e Petrogenética dos Granitoides Arroio Divisa, Região De Quitéria, Rio Grande Do Sul. 2011. *Dissertação* (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Fragoso-César, A. R. S. 1978. Mapeamento geológico - Projeto: folhas quiteria - Serra do Eral : geologia da faixa xiii. Encruzilhada do sul (RS). Trabalho de graduação em geologia do instituto de geociencias da UFRGS.

Fragoso-Cesar, A. R. S.; Figueiredo, M. C. H.; Soliani Jr., E.; Faccini, U. F. (1986) O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. Anais*. Goiânia, SBG, v. 3. p. 1322-1343.

Fragoso-César, A. R. S. 1991. Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As orogênias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. São

Paulo, 362p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Frantz, J. C.; Mcnaughton, N. J.; Marques, J. C.; Hartmann, L. A.; Botelho, N. F.; Caravaca, G. 2003. *Shrimp u-pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constraints on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçu transcurrent shear zone and the eastern Dom Feliciano belt* Short Papers – 2003, *Anais... IV South American Symposium on Isotope Geology*.

Frantz, J.C.; Remus, M. V. D. 1986. Geologia da região de Canguçu-Torrinhas, RS: caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica. *In: SBG, Congr. Bras. Geol.*,34, Goiânia, *Anais*, 2:931-947.

Gregory, T. R. 2009. Caracterização estrutural e petrológica de metatonalitos e metadioritos do Complexo Arroio dos Ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria, RS. 65p. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Gregory, T. R. 2010. Caracterização Estrutural e Petrológica de Metonalitos e Metadioritos do Complexo Arroio dos Ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria, RS. Dissertação de Mestrado. PPGGEO – UFRGS.

Gregory, T. R.; Bitencourt, M. F.; Nardi, L. V. S. 2011. *Caracterização estrutural e petrológica de metatonalitos e metadioritos do Complexo Arroio dos Ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria, RS*. Pesquisas em Geociências.

Gupta, R. P. 1999. *Remote Sensing Geology*. Springer-Verlag, New York, 450p.

Halliday A. N.; Fallick AE, Hutchinson J, Hildreth W. 1984. A Nd, Sr and O isotopic investigation into the causes of chemical and isotopic zonation in the Bishop Tuff, California. *Earth Planet Sci Lett* 68 : 379-391.

Halliday A. N.; Mahood GA; Hildreth W; Holden P; Stephens W. E. 1987. Isotopic constraints on mechanisms of production and contamination of silicic magmas. *In: Abs Symposium on the Origin of Granites. Proc Royal Soc Endinburgh and Royal Soc London*, p 33.

Halliday, A. N.; Shepherd, T J.; Diclcin, A.P.; Maclaren, F.; Darbyshire, F., 1986. Sr - Nd elating and fm-gerprinting of the north Pennine fluorite deposits. *Terra Cognita*, 6: 2 (abstract).

Hallinan, S. E.; Mantovani, M. S. M.; Shukowski, W.; Braggion Jr. I. 1993. Estrutura do Escudo Sulbrasileiro: uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos. *Revista Brasileira de Geociências*, 23:201-214.

Hartmann, L. A.; Nardi, L. V. S.; Formoso, M. L. L.; Remus, M. V. D.; Lima, E. F.; Mexias, A. S. 1999. *Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul Shield, Brazil*. Pesquisas, 26: 45–63.

Hartmann, L. A.; Chemale, F.; Philipp, R. P. 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: 50 Anos de geologia no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade.

Hildreth, W. 1987. New perspectives on the eruption of 1912 in the Valley of Ten Thousand Smokes, Katmai National Park, Alaska. *J Volcanol Geotherm Res* 49 : 680-693.

Hildreth, W., 2004. Volcanological perspectives on Long Valley, Mammoth Mountain, and Mono Craters: several contiguous but discrete systems: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 136, no. 3-4, p. 169-198.

Hinrichs, R. 2009. *Apostila de ICP-OES da disciplina de Técnicas Analíticas*. IGEO/UFRGS.

Issler, R. S.; Roisenberg, A. 1972. *Lamprófiros das proximidades do Cerro Tupancí, Quadrícula Arroio São Sepé, Município de São Sepé, Rio Grande do Sul*. *Revista Pesquisas*, 1: 43-50.

Janoušek, V.; Erban, V.; Farrow, C. M. 2006. *Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (gcdkit)*. *J Petrol* 47: 1255–1259.

Knijnik, D. B.; Bitencourt, M. F.; Nardi, L. V. S; Pinto, V. M.; Santos, J. O. S.; Mcnaughton, N. J. 2010. *U-Pb (SHIRIMP) Zircon geochronology of the Cruzeiro do Sul granodiorite – post-collisional shoshonitic magmatism from southern Brazil*. In: VII – SSAGI SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, Brasília.

Knijnik, D. B.; Bitencourt, M. F.; Nardi, L. V. S; Pinto, V. M.; Fontana, E. 2012. *Caracterização geoquímica e estrutural do Granodiorito Cruzeiro do Sul: magmatismo shoshonítico pós-colisional neoproterozoico em zona de transcorrência, região de Quitéria, RS*. *Geol. USP, Sér. cient., São Paulo*, v. 12, n. 1, p. 1-38, Abril 2012.

Koester, E. 1995. Evolução geológica do magmatismo sintectônico à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, região de Encruzilhada do Sul, RS. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. *Dissertação de mestrado – Geociências*. 240 p.

Koester, E.; Chemale Jr., F.; Porcher, C. C.; Bertotti A. L.; Fernandes, L. A. D. 2008. *U-Pb ages of granitoids from Eastern Sul-riograndense Shield*. In: VI SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY. Argentina. *Anais...* San Carlos de Bariloche,

Le Bas, M. J.; Le Maitre, R. W.; Streckeisen, A.; Zanettin, B. 1986. *A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali-silica diagram*. *Journal of Petrology*, 27(3): 745–750.

Lipman, P.W., 2007, Incremental assembly and prolonged consolidation of Cordilleran magma chambers: Evidence from the Southern Rocky Mountain volcanic field: *Geosphere*, v. 3, p. 42 – 70, v. 3, p. 423-70.

Loiselle M.C.; Wones D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Abstr. Prog.*, 11: 468.

Machado, R.; Philipp, R.; Mello, F. (1995) Reconhecimento de zonas de cisalhamento dúcteis de alto ângulo com cinemática superposta na extremidade sul do Batólito Pelotas, RS. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, 5. Gramado, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*. Gramado, SBG, p. 52-53.

Mahood, G.A.; Halliday, A.N., 1988, Generation of high-silica rhyolite: a Nd, Sr, and O isotopic study of Sierra La Primavera, Mexican Neovolcanic belt. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 100, p. 183-191.

Mahood, G. A.; Hildreth, W. 1983. *Nested calderas and trapdoor uplift at Pantelleria, Strait of Sicily*. *Geology*, 11: 722-726.

Maniar, P.D.; Piccoli, P. M. 1989. *Tectonic discrimination of granitoids*. *Geological Society of America Bulletin*. 101: 635-64.

Metz, J. M.; Mahood, G. A. 1991. *Development of the Long Valley, California, magma chamber record in precaldera rhyolite lavas of glass Mountain*. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 106(3): 379-397.

Nakamura, N. 1974. *Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38: 757-775.

Nardi, L. V. S. 1991. *Caracterização petrográfica e geoquímica dos granitos metaluminosos da associação alcalina: revisão*. *Pesq.*, 18(1):44-57.

Nardi, L. V. S.; Bitencourt, M. F. Magmatismo Granítico e Evolução Crustal no Sul do Brasil. *In: R. Ianuzzi; Frantz, J. C. (Org.). 2007. 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições*. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, v. 2, p. 125-139.

Nardi, L.V.S.; Bitencourt, M. F. 2009. *A-type granitic rocks in post-collisional settings in southernmost Brazil: their classification and relationship with tectonics and magmatic series*. *Canadian Mineralogist*, 47(6): 1493-1503.

Novak, S.M.; Mahood G. A. 1986. Rise and fall of a basalt-trachyte-rhyolite magma system at the Kane Springs Wash caldera, Nevada. *Contrib Mineral Petrol* 94: 352-373.

Oliveira, L. D.; Koester, E.; Soliani Jr. E. 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós-transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. *Geochimica Brasiliensis, Brasil*, v. 15, n. 1/2, p. 65-92.

Oyhantc,abal, P.; Siegesmund, S.; Wemmer K. 2010. The Rio de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *Int J Earth Sci.*

Pearce, J. A. 1996. *Sources and settings of granitic rocks*. Episodes, v. 19, n. 4, p.120-125.

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: 956-983

Philipp, R.P. 1990. Geologia e petroquímica dos granitoides da região de monte bonito: Pelotas – RS. *Dissertação de mestrado*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 222p.

Philipp R.P. 1998. A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 255p.

Philipp, R.P.; Chemale Jr., F.; Machado, R. 2007. A Geração dos Granitoides Neoproterozoicos do Batólito Pelotas: Evidências dos Isótopos de Sr e Nd e Implicações para o Crescimento Continental da Porção Sul do Brasil. *In: Iannuzzi, R.; Frantz, C. J. (Ed.). 50 Anos de Geologia*, Porto Alegre, CIGO, Instituto de Geociências, UFRGS.

Philipp, R. P.; Machado, R. 2001. *Suítes graníticas do batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogênicos*. *Rev. Bras. Geoc.*, 31(3): 257-266.

Philipp R.P.; Machado. 2005. *The late neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil*. *In: Journal of south american earth sciences. Journal of South American Earth Sciences*, 19:461-478.

Philipp, R. P.; Machado, R.; Nardi, L. V. S.; Lafon, J. M. 2002. *O magmatismo granítico Neoproterozoico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: Novos dados e revisão da geocronologia regional*. *Rev. Bras. Geoc*, 32(2): 277-290.

Philipp, R.P.; Nardi, L.S.V.; Bitencourt, M. F. 2000. O batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *In: Holz, M.; De Ros, F. F. (Ed.). Geologia do Rio grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO, Instituto de Geociências, UFRGS. p.133-160.

Philipp, R. P.; Viero, A. P. 1995. Interação entre o magmatismo ácido/básico nas rochas vulcânicas associadas aos granitoides da região de Porto Alegre, RS. *In: SBG, Simp. Sul-Bras. Geol.*, 6, Bol. Res. Expandidos, Porto Alegre, SBG. p.70-71.

Philipp R.P., Viero A.P., Comin-Chiaramonti P., Gomes C.B. 2005. Mesozoic alkaline rocks of Rio Grande do Sul, Brazil. *In: Comin-Chiaramonti P. & Gomes C.B. (eds.). Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the*

Brazilian Platform. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/FAPESP, p.573-590.

Philipp, R. P.; Hartman, L. A.; Chemale, Jr. F. 2009. Significado geotectônico das unidades paleoproterozóicas do escudo Sul-Rio-Grandense. Em: Simpósio 45 anos de geocronologia no Brasil (2009 dez. 15-17 : São Paulo, SP). Boletim de resumos. [São Paulo: IGc/USP, 2009]. p. 283-285.

Philipp, R.P.; Hartman, L. A.; Jelinek, A. R. 2012. South American Symposium on Isotope Geology (8.: 2012 Jul. 5-7. : Medellin, Colombia) Expanding the frontiers of isotope geochemistry. 8.. Medellin : GEMMA, 2012. p. 155.

Picada, R. S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do escudo sul-riograndense: caracterização dos sistemas de falhas. *In*: SBG, Congr. Bras. Geol., 25, São Paulo, *Anais*, 1:167-191.

Rocha, P. G. 2009. A investigação das rochas vulcânicas ácidas do Cerro Chato (RS) por sensoriamento remoto e geoquímica. 2005. Dissertação de Mestrado Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Shukowsky, W.; Mantovani M. S. M. 1991. *Estruturação dos terrenos Pré-Cambrianos da região sul do Brasil e oeste do Uruguai*: um estudo por modelamento gravimétrico. *Revista Brasileira de Geociências*, 19:275-287.

Soliani Jr., E. 1986. Os dados geocronológicos do Escudo sulriograndense e suas implicações de ordem geotectônica. *Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 425 p.

Soliani Jr, E.; Koester, E.; Fernandes, L. A. D. 2000. A geologia isotópica do Escudo Sul-Rio-Grandense – Parte I: métodos isotópicos e valor interpretativo. *In*: Holz, M.; De Ros, L. F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. CIGO/UFRGS. Porto Alegre. p. 175–230.

Sommer, C. A.; Lima, E. F.; Philipp, R. P.; Noll Filho, R. J.; Oliveira, D. S. 2012. Sistemas vulcânicos e sub-vulcânicos riolíticos associados ao batólito pelotas, porção oriental do escudo Sul-Rio-Grandense: dados preliminares. *In*: 46 Congresso Brasileiro de Geologia, 2012, Santos. *Anais do 46 Congresso Brasileiro de Geologia*. São Paulo: SBG – Núcleo São Paulo, 2012. V. CD.

Turner, S.P.; Foden, J.D.; Morrison, R.S. 1992. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the Padthaway ridge, South Australia. *Lithos* 28: 151-179.

Verma, S.P.; 1983. Magma genesis and chamber processes at Los Humeros caldera, Mexico: Nd and Sr isotope data. *Nature* 302: 52-55

Verma, S.P. 1984. Sr and Nd isotopic evidence for petrogenesis of mid-Tertiary felsic volcanism in the mineral district of Zaca-tecas, Zac. (Sierra Madre Occidental), Mexico. *Isotopic Geoscience* 2:37-53.

Teixeira, W. 1982. Folhas SH.22 – Porto Alegre, SI.22 – Lagoa Mirim e SH.21 – Uruguaiana. *Interpretação dos dados radiométricos e evolução geocronológica*, Florianópolis. Projeto RADAMBRASIL, Relatório Interno.

UFRGS. Mapeamento Geológico de parte da Folha Quitéria SH22-Y-B-I-4 (MI2985/4), RS. Porto Alegre. 2006, 1 vol., 2 mapas, color., escala 1:25 000.

UFRGS. Mapeamento Geológico de parte das folhas Quitéria SH22-Y-B-I-4 (MI2985/4) e Serra do Erval – SH22-Y-B-II-3 (MI2986/3), RS. Porto Alegre. 2007, 1º vol., 2 mapas, color., escala: 1:25 000.

UFRGS. Projeto: Quitéria – Serra do Erval: Geologia da Faixa III. Porto Alegre. 110 p. *Trabalho de Graduação em Geologia*. RS, Porto Alegre: 1978. 1 mapa, color., escala: 1:25.000.

Whalen, J. B.; Currie, K. L.; Chappell, B. W. 1987. *A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis*. *Contrib. Mineral. Petrol.* 95: 407-419.

Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis a global tectonic approach*. Berlin: Springer. 466p.

Winchester, J. A.; Floyd, P. A. 1977. *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*. *Chem. Geol.*, 20: 325-343.

Zanon, C.; Machado, R.; Philipp, R. P. 2006. *Petrologia e geoquímica dos diques félsicos e máficos associados ao Batólito Pelotas na região de Piratini, RS*. *Rev. Bras.Geoc.*, 36(1): 23-34.

Zanon, C. 2005. Petrografia, química mineral e geoquímica dos enxames de diques e suas encaixantes nas regiões de Piratini e Pinheiro Machado, RS. *Tese de doutorado*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 270p.