



**GEOLOGIA E PETROLOGIA DAS ROCHAS RIOLÍTIAS DA REGIÃO DO  
CERRO CHATO, HERVAL, RS.**

Porto Alegre, 2014

**ROBERTO JACQUES NOLL FILHO**

**GEOLOGIA E PETROLOGIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DA REGIÃO DO  
CERRO CHATO, HERVAL, 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. Edinei Koester

Porto Alegre, 2014

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Noll Filho, Roberto Jacques

Geologia e petrologia das rochas riolíticas da região do Cerro Chato, Herval, RS. / Roberto Jacques Noll Filho. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.

[93 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es): Carlos Augusto Sommer

Coorientador(es): Edinei Koester

1. Batólito Pelotas. 2. Suíte Dom Feliciano. 3. Riólitos. 4. Piroclásticas. I. Título.

CDU 55

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “GEOLOGIA E PETROLOGIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DA REGIÃO DO CERRO CHATO, HERVAL, RS”, elaborado por “ROBERTO JACQUES NOLL FILHO”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Léo Afraneo Hartmann

---

Prof. Dr. André Weissheimer de Borba

---

Prof. Dr. Jairo Francisco Savian

*Dedico este trabalho a minha família, amigos, namorada e a todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Roberto e Maria Luiza, e a minha irmã Fabiana por todo apoio, carinho, incentivo e dedicação a mim direcionados, não somente durante o período da graduação, mas ao longo de toda minha vida. Amo vocês e não tenho palavras para expressar o quanto sou grato por tudo.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo do curso. Se não fosse por vocês, esta caminhada teria sido muito mais árdua. Com vocês, tudo se tornou mais fácil ao longo desses seis anos de graduação. Em especial meu sincero agradecimento aos grandes amigos: Rafael Reis, Fernando Heck, Guilherme Hoerlle, Tiago Morais, Ronei Giusti, Marcelo Barrios e Francisco Garcia. Aos amigos e irmão feitos ao longo da vida, que mesmo não compreendendo muito bem o que estuda um graduando em geologia, sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e compreendendo minhas seguidas ausências devido aos estudos e trabalhos de campo: Gustavo Vanik, João Alex Amaro, Germano e Luis Henrique.

Agradeço a UFRGS e ao IGEO pela estrutura proporcionada que além de viabilizar financeiramente, durante todo o curso, todos os trabalhos de campo, em especial o trabalho de campo relacionado a esta monografia. A todos os funcionários do IGEO destacando os motoristas Claudinho e Armando, que mais do que motoristas, são parceiros de campo.

O meu muito obrigado dirigido ao professor Carlos A. Sommer, meu orientador, por me orientar durante 3 anos de curso, pela paciência, dedicação e confiança a mim destinadas, principalmente ao longo do desenvolvimento desta monografia. Registro aqui meu agradecimento e admiração.

Ao CNPq e ao Governo por me proporcionar um ano de estudos com bolsa na Universidade de Lisboa, Portugal. Uma experiência única, onde evoluí não só como aluno, mas também como pessoa.

E por último, porém não menos importante, a minha namorada, Thisiane Christine dos Santos, por todo amor, carinho, parceria e compreensão. Por me aguentar, me incentivar e sempre que possível me motivar. Mesmo estando a distância, foste uma peça fundamental para que eu conseguisse completar mais esta etapa na minha vida. Te amo e te admiro muito.

*"Ninguém vai bater mais forte que a vida.  
Não importa como você bate e sim o quanto aguenta apanhar e continuar lutando ;  
O quanto pode suportar e seguir em frente.  
É assim que se ganha."*

Rocky Balboa

## RESUMO

A região do Cerro Chato está localizada a cerca de 15 km a norte do município de Herval, extremo sul do Rio Grande do Sul. É constituída por associações de rochas vulcânicas efusivas, piroclásticas e subvulcânicas de composição ácida, cujo magmatismo tem sido relacionado às suítes mais tardias do Batólito Pelotas. Em termos geológicos regionais, encontra-se inserida no Batólito Pelotas, que caracteriza-se como um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico resultante de processos tectônicos distintos, relacionados ao Ciclo Brasileiro no Escudo Sul-Rio-Grandense. Os vulcanitos da região do Cerro Chato podem ser agrupadas em duas feições geomorfologicamente distintas, ambas afetadas por falhas NW e NE: Cerro Chato e Cerro Partido. O embasamento desta sequência vulcânica é representado pelos granitóides da Suíte Dom Feliciano (sienogranitos, álcali-feldspato granitos) e Complexo Pinheiro Machado (granodioritos deformados, xenólitos de gnaisses). O Cerro Chato apresenta formas dômicas e é caracterizado por depósitos piroclásticos e efusivos. Os primeiros são representados por ignimbritos de composição riolítica que ocorrem em duas fácies principais: ignimbritos ricos em líticos e ignimbritos ricos em cristais. São mal selecionados e constituídos por piroclastos tamanho lápili, envoltos por uma matriz tufácea. A fácies rica em litoclastos é caracterizada por apresentar fragmentos conatos de riolitos e ignimbritos e, subordinadamente, acidentais provenientes das rochas encaixantes. Fragmentos de cristais de K-feldspato e quartzo são comuns e a textura eutaxítica é incipiente. A fácies dos ignimbritos ricos em cristais é caracterizada pela abundância de cristaloclastos e fenocristais de K-feldspato e quartzo. Apresentam textura eutaxítica caracterizada pela orientação de *fiamme* e sua matriz é constituída por *shards* e vitroclastos tamanho cinza. Derrames riolíticos hemicristalinos representam os eventos efusivos, com textura porfirítica, estruturas de fluxo marcante e esferulitos caracterizando processos de devitrificação de alta temperatura. O Cerro Partido é caracterizado por um corpo subvulcânico, alongado na direção NE-SW, com 8 km de comprimento por 0,7 km de largura aproximadamente. É constituído por rochas com textura porfirítica a glomeroporfirítica, com fenocristais de quartzo, K-feldspato e plagioclásio, envoltos por uma matriz equigranular fina, composta de plagioclásio, quartzo e K-feldspato. Em diagramas de classificação, as rochas estudadas ocupam o campo do riolitos. Apresentam um caráter metaluminoso a peraluminoso e teores elevados de SiO<sub>2</sub>, álcalis, FeOt/FeOt+MgO e índice agpático. Os riolitos do Cerro Partido foram classificados como alto-Ti e possuem elevados teores de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeOt, MgO e K<sub>2</sub>O quando comparados com os riolitos do Cerro Chato, definidos como baixo-Ti. O padrão mostrado pelos ETR dos riolitos normalizados pelo condrito de Nakamura (1974) é definido pelo leve enriquecimento de ETRL em relação à ETRP e uma forte anomalia negativa de Eu, típica de sistemas alcalinos metaluminosos e altamente diferenciados. Quando plotadas em diagramas discriminantes de ambiente tectônico, observa-se que os litotipos do Cerro Chato ocupam o campo de granitos do tipo A e de ambientes intra-placas, de mesma forma comuns para associações características de ambientes pós-colisionais. Os dados litoquímicos obtidos indicam, preliminarmente, uma vinculação genética com as rochas mais diferenciadas da Suíte Dom Feliciano, bem como os riolitos do Cerro Ana Dias, associadas ao magmatismo Neoproterozóico pós-colisional do Escudo Sul-Rio-Grandense.

**PALAVRAS-CHAVE:** Batólito Pelotas, Suíte Dom Feliciano, Riolitos, Piroclásticas, Petrologia

## ABSTRACT

Cerro Chato region is located approximately around 15 km north from the Herval city, which is extreme south of Rio Grande do Sul. This area is composed by associations of effusive volcanic, pyroclastic and subvolcanic rocks with acid composition. About regional geology, Cerro Chato comprise the Pelotas Batholith, which is characterized as a plutonic multi-intrusive complex and polyphase resultant from different tectonic processes, related to the Brasiliano Cycle in the Sul-Rio-Grandense Shield. Volcanites of the Cerro Chato area can be grouped into two distinct geomorphologically features, both affected by faults NW and NE: Cerro Chato and Cerro Partido. The basement of this volcanic sequence is represented by granitoids of Dom Feliciano Suite (syenogranites, alkali-feldspar granites) and Pinheiro Machado Complex (deformed granodiorite, gneiss xenoliths). Cerro Chato has dome shape and it is described by pyroclastic and effusive deposits. The first deposit comprises ignimbrites with rhyolitic composition that is occurring in two main facies: ignimbrites rich in lithics and ignimbrites rich in crystals. They are poorly sorted and consist by lapilli pyroclastic rocks, which are surrounded by a tuff matrix. The ignimbrite rich in lithics facie is characterized by cognates rhyolitic and ignimbrite, that are subordinate from the host rocks; and fragments of alkali feldspar and quartz crystals. The ignimbrite rich in crystals facie is characterized by abundance of crystaloclastic and phenocrysts of alkali feldspar and quartz. There is eutaxitic texture inferred by fiamme oriented, and its matrix consists of shards and vitroclastic of ash size. Rhyolitic hemicrystalline lava flows represent the effusive events; they have porphyritic texture, remarkable flow structures and spherulites which illustrate devitrification processes of high temperature. Cerro Partido comprises a subvolcanic body, which is elongated in the NE-SW direction, with approximately 8 km length and 0.7 km wide. It consists of rocks with porphyritic texture with quartz, alkali feldspar and plagioclase phenocrysts, surrounded by a thin equigranular matrix that is composed of plagioclase, quartz and alkali feldspar. Classification diagrams show that the rocks studied are in rhyolite field, and they have a metaluminous to peraluminous character; and high-levels  $\text{SiO}_2$ , alkalis,  $\text{FeOt}/\text{FeOt}+\text{MgO}$  and agpaitic index. Rhyolites of Cerro Partido have been classified as high-Ti level, and they have high  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{FeOt}$ ,  $\text{MgO}$  and  $\text{K}_2\text{O}$  levels compared with rhyolites of Cerro Chato, which is defined as low-Ti level. The pattern has been shown by the REE of rhyolites normalized by chondrite of the Nakamura (1974) is defined by slight enrichment LREE relative to HREE, and a strong negative anomaly of Eu; consequently, this is typical of metaluminous alkaline systems and highly differentiated. The final results, plotted in discriminate tectonic environments diagrams, show that the Cerro Chato lithotypes are A-type granite field and intra-plate setting, the same way they are common to characteristic associations post-collisional setting. The lithochemical data indicate a genetic link with the more differentiated rocks of Dom Feliciano Suite and the rhyolites of Cerro Ana Dias, which is associated with Neoproterozoic magmatism post-collisional of Sul-Rio-Grandense Shield.

**Keyword:** Pelotas batholite, Dom Feliciano suite, Rhyolites, Pyroclastic, Petrology

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do município de Herval. A área de estudo encontra-se demarcada no quadrado vermelho. (Google – Dados cartográficos, 2014, Disponível em: <a href="http://maps.google.com">http://maps.google.com</a> . Acesso em 08 out. 2014, às 23h).....	17
<b>Figura 2</b> – Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-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 <i>et al.</i> (2007) e Oyhantçabal <i>et al.</i> (2010). .....	21
<b>Figura 3</b> – Mapa geológico do Batólito Pelotas (Phillip <i>et al.</i> , 2009) .....	22
<b>Figura 4</b> – Fluxograma do projeto. ....	28
<b>Figura 5</b> – Modelo digital de elevação (MDE) da região do Cerro Chato. ....	37
<b>Figura 6</b> – A: Fotografia panorâmica do Cerro Chato com vista do sul para o norte (linha tracejada em vermelho evidenciando contato entre rochas do Cerro Chato e sua encaixante do CPM); B: Fotografia panorâmica do Cerro Partido com vista do sul para o norte. (linha tracejada destaca contato entre corpo hipoabissal do Cerro Partido e rochas pertencentes ao Septo do Embasamento ao sul). ....	38
<b>Figura 7</b> – Mapa geológico simplificado da região do Cerro Chato (Modificado de CPRM, 1999). ....	39
<b>Figura 8</b> – Aspectos gerais de campo. A: Afloramento na forma de lajeado de arenitos imaturos da sequência sedimentar Cerro Chato; B: Afloramento de ardósias relacionados ao Septo do Embasamento, com clivagem ardosiana marcante. ....	41
<b>Figura 9</b> – Coluna estratigráfica da região do Cerro Chato; A e B: Fotografias evidenciando feições geomorfológicas e de campo do Cerro Partido; C: Feição dômica, típica dos riolitos porfiríticos do Cerro Chato; D: Fotografia destacando contato entre rochas piroclásticas e riolitos efusivos do Cerro Chato; E e F: Imagens destacando morfologia e forma de ocorrência das rochas piroclásticas do Cerro Chato. ....	46
<b>Figura 10</b> – Aspectos macroscópicos dos Ignimbritos ricos em litoclastos. A e B: Fotografias evidenciando aspectos de campo. C e D: Imagens de amostras serradas para confecção de lâmina delgada, perceptível litoclastos de diâmetros centimétricos. ....	47
<b>Figura 11</b> – A e B: Aspectos Gerais de campo, e forma de ocorrência ;C e D: Aspectos macroscópicos, Ignimbritos rico em cristais. ....	47
<b>Figura 12</b> – Aspectos gerais de campo do Riolitos do Cerro Chato. A: Foto de afloramento evidenciando estrutura de fluxo; B: Amostra macroscópica apresentando	

detalhe da estrutura de fluxo; C: Dobras de fluxo e D: Esferulitos em escala macroscópica..... 48

**Figura 13** – Aspectos gerais de campo. A: Detalhe dos aspectos morfológicos; B e C: Afloramentos na forma de lajeados e campo de blocos e matacões; e D: Amostra macroscópica evidenciando textura porfirítica a glomeroporfirítica, com fenocristais milimétricos..... 48

**Figura 14** – Fotomicrografia mostrando: A e B: Grande quantidade de litoclastos riolíticos, cristaloclastos milimétricos de quartzo e textura eutaxítica. LN e LP respectivamente; C e D: Detalhe a LP evidenciando fenocristais de quartzo euédricos reabsorvidos e litoclastos devitrificados, milimétricos e arredondados. E e F: Alto grau de soldagem, caracterizado pela grande quantidade de *fiammes*, textura eutaxítica, matriz tufácea com presença de *shards*..... 51

**Figura 15** – A e B: Aspectos gerais em lâmina delgada, cristaloclastos imersos em matriz tufácea, textura eutaxítica incipiente, matriz rica em *shards*, LN e LP respectivamente; C: Estilolito ao longo da matriz evidenciando dissolução sob pressão, LP; D: Fotomicrografia a LN demonstrando quantidade de púmice maior que cristais, com matriz rica em *shards*; E e F: Reabsorção nos cristais gerando golfos de corrosão e bordas arredondadas, evidenciando desequilíbrio dos cristais com a matriz, LN e LP respectivamente; G: Alto grau de faturamento nos cristais de quartzo e textura eutaxítica marcante, LN; e H: Cristais de quartzo e feldspatos, com bordas corroídas imersos em uma matriz tufácea, estrutura maciça, LP..... 52

**Figura 16** – Fotomicrografias mostrando: A e B: Variação na quantidade de fenocristais a LP, onde A retratada textura porfirítica rica em fenocristais de quartzo e sanidina, e B demonstra menor quantidade de fenocristais com dimensões inferiores a 0,5 mm; C: Fenocristais de quartzo imerso em matriz com textura granofírica (LP); D: Textura esferulítica, gerada por devitrificação em alta temperatura de forma radial (LP); E: Fotomicrografia a LN destacando estrutura de fluxo e presença de minerais opacos disseminados ao longo da matriz; e F: Fenocristal euédrico de quartzo imerso em matriz com estrutura de fluxo marcante. Matriz completamente devitrificada (LP). ..... 54

**Figura 17** – Aspectos microscópicos; A e B: Aspectos gerais em LN e LP respectivamente. Textura porfirítica, fenocristais euédricos a subédricos de quartzo, K-feldspato e plagioclásio imersos em matriz equigranular fina; C: Detalhe na textura glomeroporfirítica, com aglomerados de fenocristais imersos em matriz equigranular fina (LP); D: Fotomicrografia a LN evidenciando minerais opacos preenchendo microfraturas e substituindo cristais de K-feldspato; E: Detalhe de cristal de quartzocom grau de faturamento elevado e feições de reabsorção como golfos de

corrosão e bordas arredondadas (LP); e F: Cristal de plagioclásio imerso em matriz afanítica, com feições de reabsorção e moderado grau de faturamento (LP). .....	55
<b>Figura 18</b> – Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo a razão álcalis vs. Sílica, de acordo com Le Bas <i>et al.</i> , (1986). .....	60
<b>Figura 19</b> - Diagramas de classificação e afinidade geoquímica; A) Diagrama R1 vs. R2 proposto por De La Roche <i>et al.</i> , (1980); B) Diagrama de classificação SiO <sub>2</sub> vs. Zr/TiO <sub>2</sub> proposto por Winchester & Floyd (1977); C) Diagrama de classificação Zr/Ti vs. Nb/Y Pearce (1996). .....	61
<b>Figura 20</b> – Diagramas binários de Harker mostrando a variação dos elementos maiores (wt.%) em função do TiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	63
<b>Figura 21</b> – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traços (ppm) em função dos teores de TiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	64
<b>Figura 22</b> – Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somário K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O e razões K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O, FeOt/FeOt+MgO e índice agpáitico (wt.%) em função do TiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	65
<b>Figura 23</b> – Diagrama de classificação proposto por Sylvester (1989), evidenciando a natureza alcalina das rochas estudadas. Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	65
<b>Figura 24</b> – Diagrama de Shand com as razões molares entre Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / NaO+K <sub>2</sub> O vs. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / NaO+K <sub>2</sub> O+CaO, segundo Maniar e Piccoli (1989). Legenda conforme figura 18 e 19. ....	66
<b>Figura 25</b> – Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, segundo Pearce <i>et al.</i> , (1984). ....	67
<b>Figura 26</b> – Diagrama multielementar normalizado pela crosta continental, segundo Pearce <i>et al.</i> , (1984). ....	67
<b>Figura 27</b> - Diagrama binário demonstrando a variação da razão Th/Ta (ppm) em função do TiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	68
<b>Figura 28</b> - Diagrama binário demonstrando a variação da razão Y/Nb (ppm) em função do TiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	69
<b>Figura 29</b> – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas em diagrama multielementar quando normalizado pelo padrão condrítico (Nakamura, 1974). Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	70
<b>Figura 30</b> – Diagramas discriminantes de ambientes tectônico segundo Pearce <i>et al.</i> (1987). A) Diagrama Rb vs. Y+Nb, o círculo azul representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	71
<b>Figura 31</b> – Diagramas de classificação de granitóides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen <i>et al.</i> , (1987): A) FeOt/MgO vs. Zr+Nb+Ce+Y; B)	

(Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)/CaO vs. Zr+Nb+Ce+Y; C) Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O vs. 10000*Ga/Al; D) K <sub>2</sub> O/MgO vs. 10000*Ga/Al; E) FeOt/MgO vs. 10000*Ga/Al; F) (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)/CaO vs. 10000*Ga/Al; G) IAGP vs. 10000*Ga/Al; H) Y vs. 10000*Ga/Al; I) Nb vs. 10000*Ga/Al. Legenda conforme figuras 18 e 19. ....	72
<b>Figura 32</b> – A) Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo razão Álcalis vs. Sílica, segundo Le Bas <i>et al.</i> , (1986). B) Diagrama R1-R2 como proposto por De La Roche <i>et al.</i> , (1980). ....	73
<b>Figura 33</b> – Diagramas de classificação como proposto por Winchester & Floyd (1977). A) SiO <sub>2</sub> vs. Zr/TiO <sub>2</sub> ; B) Zr/TiO <sub>2</sub> vs. Nb/Y. Legenda como a da figura 32. ....	74
<b>Figura 34</b> – Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O e razões K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O, FeOt/FeOt+MgO e índice apgaítico (wt.%) em função do TiO <sub>2</sub> . Legenda como a da figura 32. ....	75
<b>Figura 35</b> – Diagramas de Harker de variação dos elementos maiores (wt.%) em função do TiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda como a da figura 32. ....	77
<b>Figura 36</b> – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traço (ppm) com os teores de SiO <sub>2</sub> (wt.%). Legenda como a da figura 32. ....	78
<b>Figura 37</b> – Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, Segundo Pearce <i>et al.</i> (1984). Legenda como a da figura 32. ....	79
<b>Figura 38</b> – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas normalizadas pelo condrito padrão (Nakamura, 1974). Legenda como a da figura 32. ....	80
<b>Figura 39</b> – Diagramas discriminantes de ambientes tectônico segundo Pearce <i>et al.</i> (1987). A) Diagrama Rb vs. Y+Nb, o círculo azul representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda como a da figura 32. ....	81
<b>Figura 40</b> - Diagramas de classificação de granitóides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen <i>et al.</i> , (1987): A) FeOt/MgO vs. Zr+Nb+Ce+Y; B) (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)/CaO vs. Zr+Nb+Ce+Y; C) Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O vs. 10000*Ga/Al; D) K <sub>2</sub> O/MgO vs. 10000*Ga/Al; E) FeOt/MgO vs. 10000*Ga/Al; F) (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)/CaO vs. 10000*Ga/Al; G) IAGP vs. 10000*Ga/Al; H) Y vs. 10000*Ga/Al; I) Nb vs. 10000*Ga/Al. Legenda como a da figura 32. ....	82

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA .....	17
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	18
1.3 PRESSUPOSTO .....	18
1.4 HIPÓTESE .....	19
1.5 OBJETIVOS .....	19
<b>2. CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	20
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	27
3.1 ETAPA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	27
3.1.1 Revisão Bibliográfica .....	29
3.1.2 Cartografia Digital .....	29
3.2 ETAPA DE CAMPO .....	29
3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO .....	30
3.3.1 Petrografia .....	30
3.3.1.1 Laminação .....	31
3.3.1.2 Descrições Petrográficas .....	31
3.3.2 Litoquímica .....	32
3.3.2.1 Preparação das amostras .....	32
3.3.2.2 Análise por ICP-AES .....	33
3.3.2.3 Análise por ICP-MS .....	34
3.3.2.4 Tratamento dos Dados .....	34
3.3.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG) .....	35
3.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO FINAL .....	35
<b>4. RESULTADOS</b> .....	36
4.1 GEOLOGIA DA REGIÃO DO CERRO CHATO .....	36
4.2 FACIOLOGIA E PETROGRAFIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DA REGIÃO DO CERRO CHATO .....	42
4.2.1 Introdução .....	42

4.2.2	Faciologia e Petrografia das rochas riolíticas da região do Cerro Chato .....	45
4.2.2.1	Lápidi-tufos rico em fragmentos líticos (ILT) .....	49
4.2.2.2	Lápidi-tufos ricos em cristais e com notável textura eutaxítica (ecLT)....	49
4.2.2.3	Riolitos hemicristalinos com estrutura de fluxo (fhR) e riolitos autobrechados (bR).....	50
4.2.2.4	Riolitos porfiríticos (pR) .....	53
4.3	LITOQUÍMICA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DA REGIÃO DO CERRO CHATO	57
4.4	CORRELAÇÃO COM O MAGMATISMO GRANÍTICO DO BATÓLITO PELOTAS. .....	73
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>83</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>89</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Diversas sequências vulcânicas ocorrem associados à vários eventos magmáticos, vinculados a longa evolução do Escudo Sul-Rio-Grandense no sul do Brasil. Este terreno tectônico localiza-se na porção centro-sul do Rio Grande do Sul, em uma área de cerca de 65.000 km<sup>2</sup> e é composto por uma variedade de associações petrotectônicas geradas desde o Pré-cambriano até o início do Paleozoico. O final do Neoproterozoico é marcado por múltiplos eventos vulcânicos cíclicos, de diferentes tipologias, composições e magnitudes. As Manifestações vulcânicas e subvulcânicas riolíticas de idade neoproterozoica são correlacionadas a um intenso magmatismo ácido, cujos principais registros desse magmatismo ocorrem na Bacia do Camaquã (centro-oeste do escudo) e subordinadamente, no Batólito Pelotas (leste do escudo). O Batólito Pelotas foi definido por Fragoso César *et al.* (1986) como um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico relacionado à evolução do Ciclo Brasileiro. É constituído por suítes granitóides associadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau. Rochas vulcânicas e hipoabissais de composição ácida têm sido correlacionadas às suítes graníticas mais diferenciadas do Batólito (e.g. Suíte Dom Feliciano) (Picada, 1971; Fragoso-Cesar *et al.*, 1986; Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2001, Zanon, 2005; Zanon *et al.* 2006), mas poucos trabalhos foram desenvolvidos para confirmar esta hipótese. Dados preliminares indicam que este vulcanismo ácido ocorre em três domínios principais, normalmente paralelos a estruturas NE-SW: nordeste, central e sudoeste (Sommer *et al.*, 2012). No domínio nordeste (região de Quitéria) ocorre o Riólito Ana Dias que é caracterizado por um corpo raso alongado na direção NE. O domínio central é caracterizado por um enxame de diques ácidos que ocorre na região de Pinheiro Machado e Piratini. Manifestações vulcânicas efusivas e piroclásticas ocorrem no domínio sudoeste do batólito, na região de Herval. Neste

domínio são individualizadas duas feições geomorfológicas de destaque (Sommer *et al.*, 2012): Cerro Chato e Cerro Partido. O Cerro Chato apresenta formas dômicas e é constituído por depósitos piroclásticos e efusivos de composição riolítica (Rocha *et al.*, 2009). O Cerro Partido é caracterizado por um corpo subvulcânico riolítico, alongado na direção NE-SW, com 8 km de comprimento por 0,7 km de largura (Rocha *et al.*, 2009, Sommer *et al.*, 2012).

### 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A região do Cerro Chato localiza-se a cerca de 15 km a norte do município de Herval, porção sul do estado do Rio Grande do Sul (Fig.1). O principal acesso à região de estudo, partindo do município de Porto Alegre, é feito pela BR -116 até a cidade de Arroio Grande, totalizando 344 km. De Arroio Grande até Herval utiliza-se a estrada ERS-602 e posteriormente a BR-473 totalizando neste trajeto cerca de 50 km. A soma final da quilometragem de Porto Alegre até Herval totaliza 394 km com uma viagem de cerca de 5 horas e 30 minutos. A partir do município de Herval, segue-se 15 km em estrada secundária.



Figura 1: Mapa de localização do município de Herval. A área de estudo encontra-se demarcada no quadrado vermelho. (Google – Dados cartográficos, 2014, Disponível em: <http://maps.google.com>. Acesso em 08 out. 2014, às 23h).

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A região denominada Cerro Chato, situa-se a 15 km a norte do município de Herval, extremo sul do RS, é morfológicamente dividida em duas feições distintas: Cerro Chato e Cerro Partido (Sommer *et. al.*, 2012, Noll Filho *et al.*, 2012). Dados preliminares indicam que o Cerro Chato é constituído por depósitos piroclásticos e efusivos (Sommer *et. al.*, 2012, Noll Filho *et al.*, 2012). Ignimbritos de composição riolítica são os principais depósitos explosivos o qual ocorrem com uma grande variação faciológica. Os depósitos efusivos são representados por derrames riolíticos que ocorrem em discordância e sobrepondo os depósitos piroclásticos. Estas rochas também apresentam uma grande diversidade de texturas e estruturas. O Cerro Partido é constituído por rochas subvulcânicas de composição ácida (Rocha *et. al.*, 2009, Sommer *et. al.*, 2012, Noll Filho *et. al.*, 2012) com textura equigranular fina a glomeroporfirítica. Trabalhos sobre a área do projeto são preliminares e envolve sensoriamento remoto, petrografia e geoquímica (Rocha *et. al.*, 2009, Sommer *et. al.*, 2012, Noll Filho *et. al.*, 2012). Trabalhos aprofundados relacionados á estratigrafia, faciologia e petrologia, são praticamente inexistentes.

## 1.3 PRESSUPOSTO

A região do **Cerro Chato** pode ser dividida em duas feições geomorfológicas de destaque, ambas afetadas por falhas NW e NE: Cerro Chato e Cerro Partido. O embasamento desta sequência vulcânica é representado por granitóides da suíte Dom Feliciano (sienogranitos, álcali-feldspato granito) e Complexo Pinheiro Machado (granodioritos deformados, xenólitos de gnaisses). O Cerro Chato apresenta formas dômicas e é caracterizado por depósitos piroclásticos e efusivos de composição riolítica. O Cerro Partido é caracterizado por um corpo subvulcânico riolítico, alongado na direção NE-SW, com 8 km de comprimento por 0,7 km de largura aproximadamente.

## 1.4 HIPÓTESE

A região localiza-se no contexto geológico do Batólito Pelotas e, embora alguns trabalhos sugiram a correlação destes vulcanitos com as suítes granitóides mais diferenciadas, poucos dados foram apresentados para sustentar esta afirmativa. Para testar esta hipótese e tentar estabelecer a correlação destas rochas vulcânicas do Cerro Chato com os Líquidos mais diferenciados associados ao Batólito Pelotas as análises litoquímicas (análises ICP-AES e ICP-MS) e petrográficas (descrição de lâminas delgadas) demonstram-se essenciais. A integração dos aspectos descritivos e genéticos dos depósitos poderá propiciar a interpretação do ambiente vulcânico vinculado à formação destas rochas.

## 1.5 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização geológica e petrológica dos depósitos vulcânicos da região do Cerro Chato. Como objetivos específicos destacam-se o mapeamento geológico de detalhe das unidades vulcânicas da região do Cerro Chato e suas relações com suas encaixantes, a análise faciológica dos depósitos vulcânicos efusivos e explosivos, a petrografia detalhada dos principais litotipos vulcânicos e litogeoquímica de elementos maiores, traços e terras raras. A partir destes dados objetivou-se o estudo correlativo entre as unidades vulcânicas da região do Cerro Chato com as demais manifestações riolíticas e com o magmatismo granítico tardio do Batólito Pelotas.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região de estudo deste trabalho situa-se no Batólito Pelotas, porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense. Originalmente este domínio foi caracterizado como uma área estável representada por uma associação de rochas cristalinas com evolução geológica ligada ao Pré-Cambriano e denominada "Cráton Dom Feliciano" (Picada *et al.*, 1971; Issler *et al.*, 1972 apud Philipp *et al.*, 2000). Sua denominação atual foi definida por Fragoso Cesar (1986) para caracterizar uma unidade de forma alongada, com direção NE-SW, interpretado com um complexo plutônico polifásico e multi-intrusivo, resultante de processos tectônicos distintos e relacionados à evolução do Ciclo Brasileiro (Frantz & Remus, 1986; Soliani Jr., 1986; Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990) (Fig.2).

O Batólito Pelotas, segundo levantamentos geológicos e geofísicos de Shukowsky & Mantovani (1991) e Hallinan (1993), possui aproximadamente 400 km de comprimento e larguras, variando de 80 a 120 km. Apresenta continuidade para norte, no estado de Santa Catarina, e para o sul, no Uruguai. O Batólito Pelotas é composto principalmente por suítes granitóides relacionadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau, incluindo termos para e ortoderivados que podem ser encontrados em todas as suítes graníticas (Philipp, 1998; 2001). Esta estrutura granítica complexa é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno NE-SW (Fragoso César, 1991).

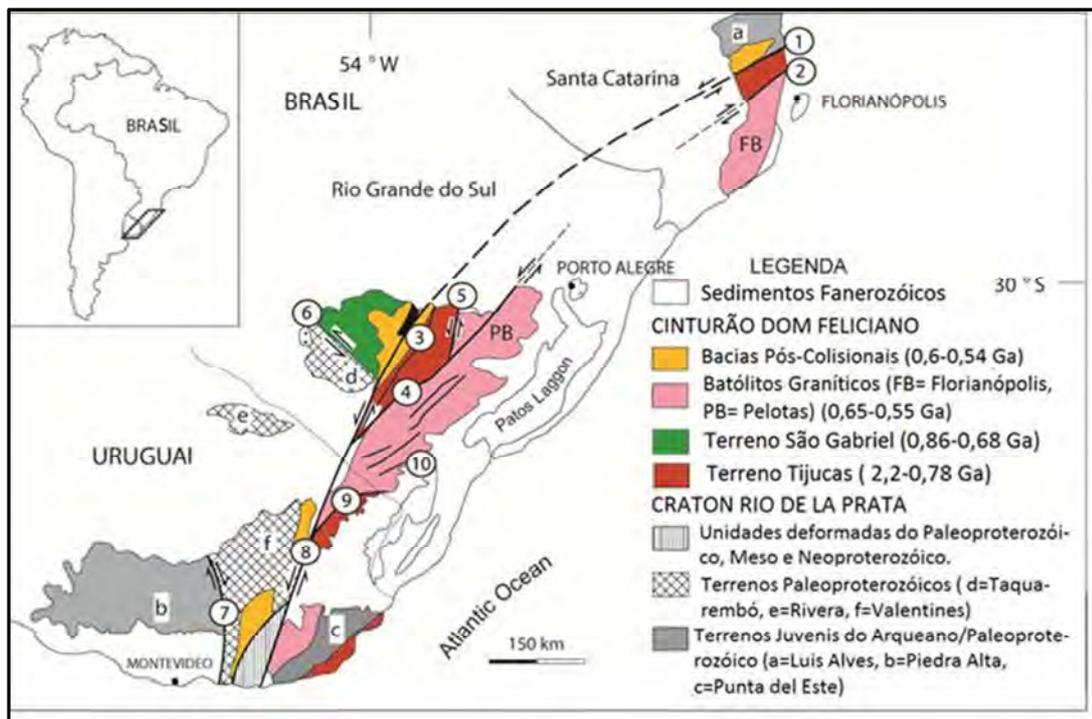


Figura 2– Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó; 2- Major Gercino; 3- Santana da Boa Vista; 4- Dorsal de Canguçu; 5- Passo do Marinheiro; 6- Ibaré; 7- Sarandi del Y; 8 Sierra Ballena; 9- Cerro Amaro; 10- Arroio Grande. Modificado de Hartmann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

Segundo Philipp *et al.* (2002, 2005) e Oliveira *et al.* (2001), o Batólito Pelotas pode ser subdividido a partir de dados geoquímicos e petrológicos em um complexo granítico (Complexo Pinheiro Machado), com idades entre 625-635 Ma, seis suítes principais (Suíte Cordilheira, Suíte Erval, Suíte Viamão, Suíte Piquiri, Suíte Encruzilhada do Sul, Suíte Dom Feliciano), com idades mais novas variando entre 550-600 Ma e manifestações sin-plutônicas (Riolitos Asparezas) (Fig.3).

As seguir serão descritas cada uma destas unidades, dando ênfase a Suíte Dom Feliciano, no qual as rochas da região do Cerro Chato têm sido correlacionadas.

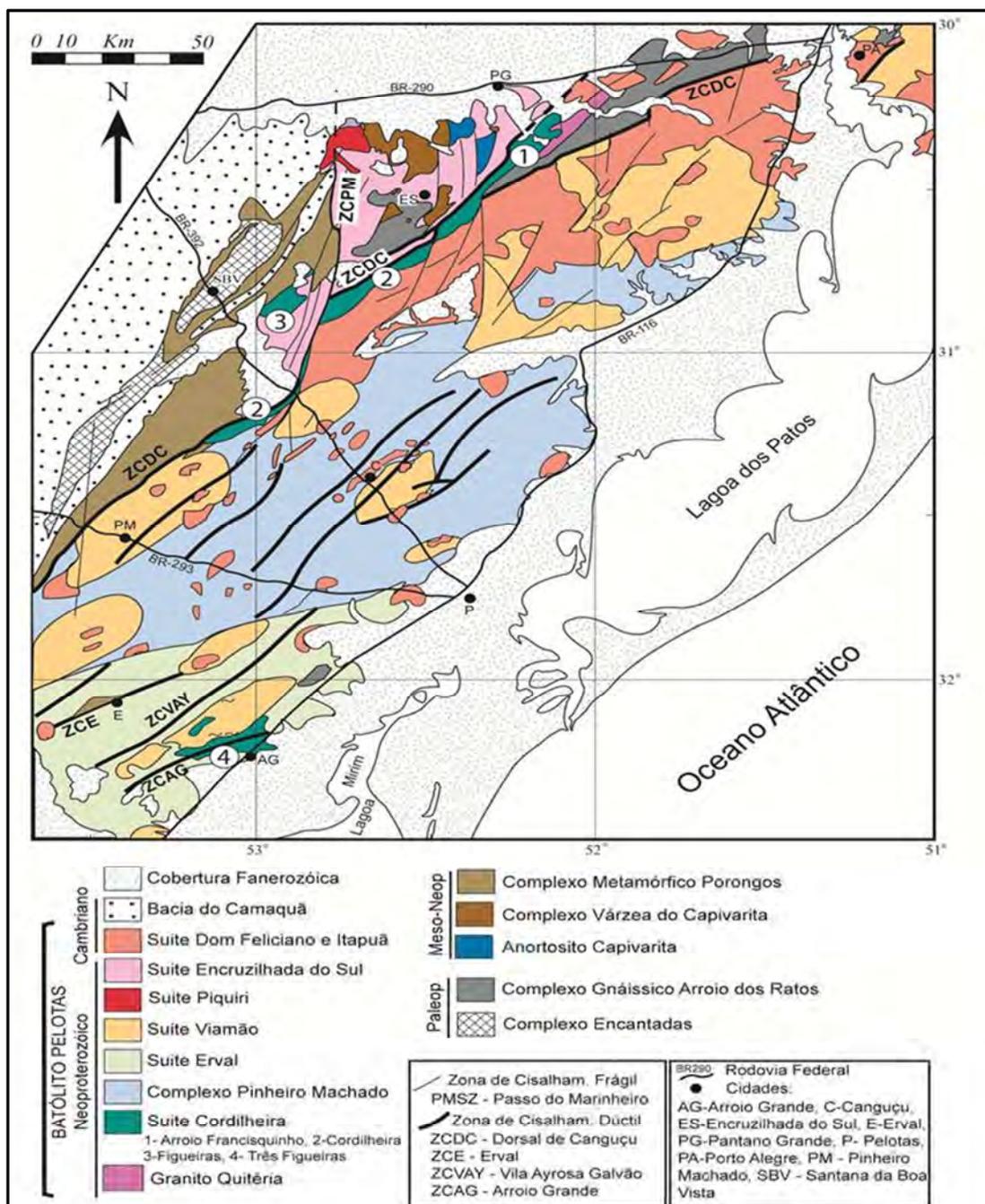


Figura 3 – Mapa geológico do Batólito Pelotas (Phillip *et al.*, 2009)

O **Complexo Pinheiro Machado (CPM)** compõe uma faixa alongada na direção NE-SW na porção central do Batólito Pelotas, compreendendo aproximadamente 30% da sua área total. Representam as litologias graníticas mais precoces da porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, sendo formada por granitóides de composição granodiorítica a monzogranítica, com termos tonalíticos,

dioríticos e quartzo-dioríticos mais subordinados, juntamente com um amplo grupo de xenólitos de rochas gnáissicas e migmatíticas. Diferenciam-se das demais suítes graníticas pela sua ampla variação composicional e pelo conjunto de estruturas primárias e secundárias que apresentam. 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. Dados geocronológicos disponíveis indicam idades U-Pb e Pb-Pb em zircão entre 630 e 620 Ma para os granitóides (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)** definida por Philipp (1998), estende-se até o Uruguai e corresponde cerca de 20% da área do batólito. Ocorre na extremidade sul e apresenta forma alongada na direção NE-SW. É composta por rochas homogêneas, textural e composicionalmente, com predomínio de monzogranitos e sienogranitos subordinados. Xenólitos de rochas metamórficas de baixo grau como mármore, calci-silicáticas, quartzitos e mica-xistos ocorrem de maneira abundante. A SIE contém xenólitos da SIPM e é intrudida pela Suíte Intrusiva Viamão e Suíte Granítica Dom Feliciano. 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 (ZCAYG); e Zona de Cisalhamento Arroio Grande (ZCAG) (Machado *et al.*, 1995).

A **Suíte Intrusiva Viamão (SIV)** é formada por corpos de rochas granitoides, com dimensões da ordem 25 a 40 km de extensão por 5 a 15 km de largura e ocorrem em toda a extensão do Batólito Pelotas, representando aproximadamente 15% de sua área. Mostram formas alongadas segundo a direção NE-SW, relacionadas com as zonas de cisalhamento subverticais. As litologias desta suíte mostram uma variação composicional relativamente restrita, com predominância dos termos monzograníticos, com granodioritos e sienogranitos subordinados. A presença de xenólitos de metagranitóides e rochas ortognáissicas são comuns nesta suíte. Dados geocronológicos disponíveis apontam idades U-Pb TIMS (*Thermal ionization mass spectrometry*), em zircão entre  $595 \pm 1$  Ma para o Granito Arroio Moinho (Babinski *et al.*, 1997; Philipp *et al.*, 2002) e de  $630 \pm 6$  Ma, para o Granito Viamão (Philipp *et al.*, 2007).

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 (*Thermal ionization mass spectrometry*), em zircão, em  $611 \pm 3$  Ma, para o Sienito Piquiri, e  $612 \pm 3$  Ma, para o Sienito Arroio do Silva (Philipp *et al.*, 2002) mais antiga, como sugerido pela idade Rb-Sr de  $615 \pm 99$  Ma obtida por Soliani Jr. (1986).

Os granitos da **Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul (SIES)** perfazem cerca de 10% da área total do BP. É constituída pelos granitos Encruzilhada do Sul, Pinheiros, Campinas e Pitangueiras. A suíte contém ainda enclaves microgranulares máficos dioríticos e quartzo-dioríticos, indicando um processo de mistura de magmas, resultando estruturas de mistura heterogênea e zonas de hibridização (Bitencourt *et. al.* 1993). Sua composição varia de monzogranitos a álcali-feldspato granitos, podendo ser dividida texturalmente em duas fácies principais, porfirítica e equigranular grossa (Fragoso César *et. al.*, 1984). As idades obtidas para o granito Encruzilhada do Sul são Rb-Sr de  $587 \pm 7$  Ma (Vasquez, 1997), e idade U-Pb (TIMS) de  $595 \pm 4$  Ma (Babinski *et al.*, 1997).

Os granitoides da **Suíte Granítica Cordilheira (SGC)** encontram-se em grande parte restritos a extremidade oeste do BP, compondo aproximadamente 5% de sua área. As litologias desta suíte apresentam um caráter peraluminoso e variam de sienogranitos a granodioritos. Apresentam formas tabulares alongadas com direção NE-SW e posicionamento sincrônico em relação às zonas de cisalhamentos dúcteis subverticais do evento  $D_2$ .

A **Suíte Granítica Dom Feliciano (SGDF)** é constituída pelas rochas graníticas mais jovens presentes no Batólito Pelotas. Apesar de apresentar composições muito semelhantes das observadas na SIV e SIES, destaca-se por obter caráter intrusivo nas demais suítes e por posicionar-se tardiamente em relação às zonas de cisalhamento subverticais ( $D_2$ ). Ocupa cerca de 20% em área do BP e ocorre especialmente na porção norte do mesmo. As unidades constituintes da SGDF caracterizam-se por sua grande homogeneidade composicional, estrutural e petrográfica além da teórica ausência de enclaves máficos e xenólitos de rochas encaixantes. A semelhança composicional e geoquímica marcante entre os corpos graníticos mais diferenciados da SGDF e rochas vulcânicas de composição riolítica, presente em diversas regiões do Batólito,

tem sido utilizada como critério para sugerir o vínculo genético do plutonismo da SGDF com estas manifestações vulcânicas (Philipp, 1998). O corpo principal da suíte é lenticular e com orientação N50E, com cerca de 180 km de comprimento e 15 a 45 km de largura. Embora alongados, os corpos desta suíte mostram colocação posterior às zonas de cisalhamento D2, apenas alguns deles apresentando deformação dúctil incipiente. Dados Rb-Sr mostram idades de referência de  $572 \pm 10$  Ma (Cordani, 1974) e 550 Ma (Teixeira, 1982), com idade isocrônica de  $547 \pm 17$  Ma (granitos e pegmatitos de cidade de Cristal),  $544 \pm 5$  Ma (Granito Arroio dos Ladrões – Soliani Jr., 1986),  $550 \pm 6$  Ma dos granitos equigranulares de Cristal e Dom Feliciano (Fragoso César, 1991) e  $560 \pm 12$  Ma dos riolitos da Serra das Asprezas (Soliani Jr., 1986). A idade adquirida pelo método U-Pb TIMS em zircão para o Granito Ponta Grossa, indicou 600 Ma (Philipp *et al.*, 2007).

**O Riolito Ana Dias**, situado na região de Quitéria (40 km a sul do município de Butiá), é caracterizado por um corpo intrusivo de composição ácida, alongado na direção NE, com dimensões de 18 km x 4,5 km. As litologias desta unidade apresentam predominantemente textura equigranular fina gradando para termos porfiríticos. Diques métricos de riolitos porfiríticos ocorrem como manifestações tardias, intrudindo com direção NE-SW, o próprio corpo riolítico principal e as suas rochas encaixantes (Oliveira *et al.*, 2012).

**O Enxame de Diques Pinheiro Machado e Piratini** são caracterizados 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 Asprezas; Enxame de diques de Piratini) (Almeida *et al.*, 1990; Zanon *et al.*, 2005). Esses diques são intrusivos em unidades do Batólito Pelotas, mas ocorre preferencialmente na Suíte Granítica Dom Feliciano. Texturalmente podem variar de porfiríticos a glomeroporfiríticos, com matriz afanítica ou muito fina.

A região do **Cerro Chato** pode ser dividida em duas feições geomorfológicas de destaque, ambas afetadas por falhas NW e NE: Cerro Chato e Cerro Partido. O embasamento desta sequência vulcânica é representado por granitóides da Suíte Dom Feliciano (sienogranitos, álcali-feldspato granito) e Complexo Pinheiro Machado (granodioritos deformados, xenólitos de gnaisses). O Cerro

Chato apresenta formas dômicas e é caracterizado por depósitos piroclásticos e efusivos de composição riolítica. O Cerro Partido é caracterizado por um corpo subvulcânico riolítico, alongado na direção NE-SW, com 8 km de comprimento por 0,7 km de largura aproximadamente.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os materiais, equipamentos, técnicas e métodos de trabalho que foram utilizados na obtenção dos dados tanto químicos, petrográficos e de campo, das rochas vulcânicas da região do Cerro Chato.

Diante da escassez de dados sobre a área de estudo, a metodologia abrange diversas escalas de trabalho, com diferentes ferramentas disponíveis na área das geociências, com o intuito de melhor caracterizar a área através de uma abordagem ampla e integrada. A metodologia encontra-se separada em quatro diferentes etapas: aquisição/compilação de dados (pré-campo), campanha de campo, trabalhos laboratoriais e integração final.

#### 3.1 ETAPA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Esta etapa do trabalho envolveu uma revisão bibliográfica detalhada do que já existe publicado sobre a região, bem como a elaboração da cartografia digital relacionada à área de estudo. O objetivo desta etapa do projeto foi de agrupar e organizar todas as informações disponíveis a cerca do Cerro Chato, a fim de obter um conhecimento preliminar da área de estudo, bem como o reconhecimento geográfico da área, como vias de acesso, distância da cidade sede e localização das principais fazendas da região, a fim de delimitar possíveis locais favoráveis a coleta de dados de campo.

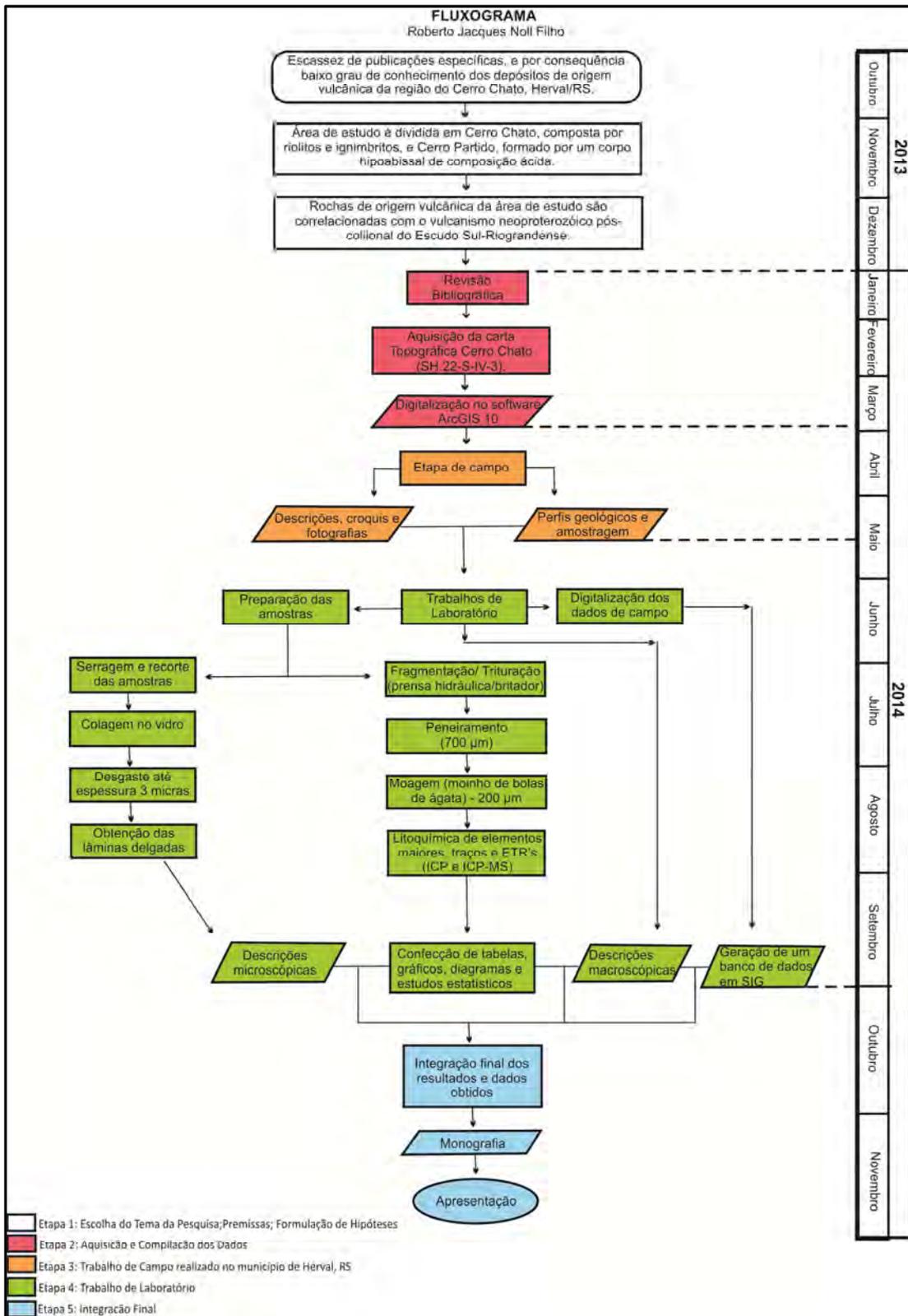


Figura 4 – Fluxograma do projeto.

### 3.1.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi a primeira etapa do projeto a ser realizada. Através da leitura de livros, periódicos científicos, resumos publicados em anais de eventos, monografias, teses e dissertações, bem como a aquisição de informações, mapas e figuras relativas ao contexto geológico regional e geotectônico da área estudada. Destaca-se a importância da revisão bibliográfica não somente no início do projeto, mas também em todas as outras etapas, subsidiando todos os demais métodos de trabalho.

### 3.1.2 Cartografia Digital

Os dados planialtimétricos foram obtidos através da folha Cerro Chato (SH. 22-S-IV-3), da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, escala 1:50.000, do Serviço Geográfico do Exército do Brasil, junto a 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 scanner 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). A ênfase foi dada na vetorização dos seguintes elementos representativos: curvas de nível, pontos cotados, drenagem, estradas principais e secundárias, cidades e povoados.

Esta digitalização visa a criação de um banco de dados digital, com atualização constante à medida que o projeto vai se desenvolvendo, com a inserção de dados gerados e adquiridos em todas as etapas, com o auxílio de diversos softwares.

## 3.2 ETAPA DE CAMPO

A etapa de campo principal foi realizada entre os dias 23 e 26 de abril de 2014 (4 dias), sendo de fundamental importância para a realização do trabalho, tendo em vista que os principais aspectos abordados requerem além de

amostragem, descrições de rocha, análise das relações estratigráficas e faciológicas. Etapas de reconhecimento foram feitas antes do início deste trabalho.

Foram realizados perfis geológicos a fim de mapear os corpos do Cerro Chato e Cerro Partido, com a descrição de afloramentos, elaboração de croquis 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. Adicionalmente, foram também coletadas amostras específicas visando análises isotópicas, bem como a separação de zircão para datações radiométricas futuras. Cerca de 35 afloramentos foram visitados e georreferenciados com um receptor GPS. Os pontos foram plotados no sistema de coordenadas UTM na carta topográfica Cerro Chato.

A orientação preferencial adotada para a realização dos perfis foi leste-oeste, com a intenção de identificar a relação dos corpos hipoabissais do Cerro Partido, com os riolitos e ignimbritos do Cerro Chato. Perfis com orientações norte-sul e sudoeste-nordeste, também foram realizados visando identificação dos contatos entre as rochas vulcanogênicas e suas encaixantes, identificação de variações texturais e o entendimento da relação entre riolitos e ignimbritos no Cerro Chato.

Os dados gerados nesta etapa (descrições, croquis, fotografias e medidas estruturais) foram anexados ao banco de dados do projeto, no software Microsoft Excel 2010.

### 3.3 TRABALHO DE LABORATÓRIO

Os trabalhos de laboratório foram essenciais para a organização dos dados e amostras coletadas em campo, além de gerar 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 três grupos principais: petrografia, litoquímica 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 amostras de rochas vulcânicas da região Cerro Chato.

### 3.3.1.1 Laminação

As lâminas petrográficas foram confeccionadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências/UFRGS. Primeiro, as amostras foram serradas e cortadas em fatias retangulares de aproximadamente 1 cm de espessura denominada esquírola, em seguida, esta fatia será 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 $\mu$ m) e óxido de alumínio (9,5 $\mu$ m). 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 $\mu$ m). Ao fim desta sequência de procedimentos a fatia de rocha colada no vidro se encontrará com a espessura correta (0,03mm) 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 30 lâminas delgadas.

As amostras macroscópicas foram descritas com o auxílio de uma lupa binocular da marca Carl Zeiss Jena com possibilidades de aumento variando de 10 à 100x, e fotografadas com uma máquina fotográfica digital da marca Samsung. Para as lâminas delgadas, será utilizado um microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca Leitz, modelo Laborlux 12, objetivas com 10x de aumento e seis possibilidades de lentes de aumento de 2.5x, 6.3x, 16x, 25x, 40x e 50x.

Os critérios petrográficos adotados para as descrições neste trabalho foram baseados principalmente em Kerr (1977), Mackenzie et al. (1991) e McPhie et al. (1993) e as técnicas utilizadas serão luz natural e luz polarizada. As fotomicrografias foram adquiridas por uma câmera acoplada a um microscópio

petrográfico de luz transmitida da marca *Leica* e à 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. Esta identificação e descrições destas feições possibilitaram identificar os processos vulcânicos que geraram estas rochas, individualizar as fácies e construir uma hipótese sobre o estilo do vulcanismo.

### 3.3.2 Litoquímica

Nesta etapa serão listados os materiais, equipamentos e técnicas utilizadas para a realização das análises litogeoquímicas feitas nas amostras de rocha selecionadas de acordo com a necessidade do trabalho. Foram selecionadas 24 amostras para análise química.

#### 3.3.2.1 Preparação das amostras

As amostras foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Instituto de Geociências, para posteriormente ser encaminhada em fração pó ao Acme Analytical Laboratories Ltda., em Vancouver, no Canadá com o intuito de identificar os elementos maiores, traços (Ba, F, Li, Sn, Rb, Sr, Nb e Zr) e terras raras (ETR).

Inicialmente, o processamento das amostras é feito com a utilização de uma prensa hidráulica para fragmentar as amostras em pedaços menores. Logo após, estes fragmentos foram reduzidos em uma porção menor com o auxílio do almofariz (gral) de ágata com pistilo, manualmente. Finalizando o processamento, as amostras foram quarteadas e encaminhadas para a pulverização em um pulverizador (moinho) de bolas de ágata, permitindo assim, a obtenção de frações inferiores à 200 *mesh*, estando apta a análises químicas nos equipamentos adequados, descritos a seguir.

### 3.3.2.2 Análise por ICP-AES

A Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Indutivamente Acoplado (*Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*) foi utilizada para quantificar os elementos maiores (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, 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 ultra-violeta (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 tem 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.

A tocha de plasma é alimentada por três fluxos distintos de argônio, em três cilindros concêntricos de quartzo. 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 1m<sup>3</sup>/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 as 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 2ppm.

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.

De modo geral, 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 diversos diagramas de classificação, como propostos por Winchester e Floyd (1977), De La Roche *et al.* (1980), Le Maitre (2002), e discriminantes de ambientes tectônicos como por exemplo, os de Pearce *et al.* (1984) e Whalen *et al.* (1987). A geração destes gráficos, diagramas e

cálculos foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho, pois permitiu 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 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Um banco de dados foi gerado a partir das informações geológicas de todos os pontos checados e georreferenciados em campo, juntamente com os dados obtidos na bibliografia disponível da região, objetivando a plotagem no mapa digital. A partir disso foram gerados produtos como mapas geológico da área de estudo e o mapa de pontos e localização, ambos na escala 1:50.000. O software utilizado para a geração desse banco de dados e mapas geológico e de pontos, foi o ArcGIS 10, elaborado pelo empresa ESRI.

## 3.4 ETAPA DE INTEGRAÇÃO FINAL

Nesta etapa foi efetuada a integração de todos dados coletados, visando à caracterização faciológica e petrológica das rochas riolíticas associadas a região do Cerro Chato, envolvendo aspectos de geologia de campo e petrológicos. Esta integração final resultou na redação da monografia e na apresentação deste trabalho.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 GEOLOGIA DA REGIÃO DO CERRO CHATO

Os vulcanitos da região do Cerro Chato ocorrem como duas feições geomorfológicas de destaque, ambas afetadas por falhas NW e NE: Cerro Chato e Cerro Partido. As falhas geram zonas de cataclase sobre os depósitos vulcânicos e as rochas do embasamento. Em ambos as feições, os afloramentos ocorrem predominantemente como blocos, matacões e pequenos lajeados, principalmente nas encostas dos morros. As altitudes variam de aproximadamente 340 metros no topo do Cerro Partido até pontos mais altos, com cota de aproximadamente 400 metros no topo do domo mais alto do Cerro Chato (Fig.5).

O Cerro Chato ocorre na porção NE da área em uma superfície de aproximadamente 6 km x 3,5 km. É caracterizado por morfologias dômicas com topos aplainados, sendo constituído por depósitos piroclásticos riolíticos na base, seguidos por depósitos efusivos de mesma composição no topo (Fig.6A). As rochas piroclásticas ocorrem normalmente como pacotes tabulares com disposição subhorizontal (valor médio =  $150^{\circ}/10^{\circ}$ ). São caracterizadas por ignimbritos com elevado grau de soldagem. Dominam os termos lapilíticos, com pequena variação faciológica, desde ignimbritos ricos em líticos, até ignimbritos ricos em cristais. Os riolitos representam a fração efusiva do vulcanismo e ocorrem como derrames hemicristalinos, sendo comum o formato dômico dos afloramentos. Termos porfiríticos também ocorrem, caracterizados por fenocristais de quartzo e feldspatos alcalino. Estruturas de fluxo são comuns, com padrão de atitudes irregulares, mas dominando as de alto ângulo (valor médio =  $260^{\circ}/55^{\circ}$ ).

O Cerro Partido é caracterizado por um único corpo hipoabissal riolítico, alongado na direção NE-SW, com aproximadamente 10 km de comprimento x 0,7 km de largura que ocorre no SW da área de estudo (Fig.6B). Dominam os termos porfíricos com fenocristais de quartzo e feldspato alcalino, envoltos por matriz equigranular fina de mesma composição.

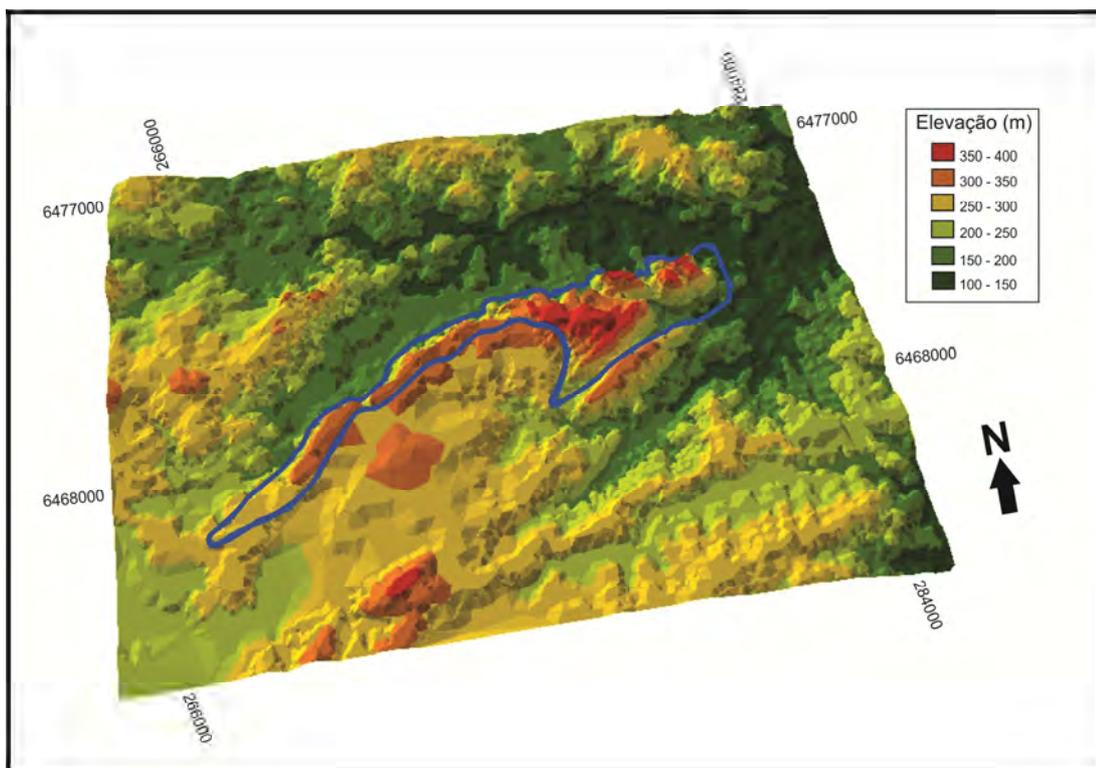


Figura 5 – Modelo digital de elevação (MDE) da região do Cerro Chato.

O embasamento da sequência vulcânica da região do Cerro Chato é constituído principalmente pelos granitóides do Batólito Pelotas, principalmente associados ao Complexo Pinheiro Machado (norte e sul da área) e subordinadamente a Suíte Dom Feliciano (oeste da área), sendo os contatos feitos normalmente por falhas ou discordâncias. O Complexo Pinheiro Machado na região é caracterizado por metagranitoides porfíricos ao passo que monzogranitos e sienogranitos equigranulares são os litotipos dominantes da Suíte Intrusiva Dom Feliciano.

O corpo subvulcânico do Cerro ocorre de maneira intrusiva, sendo seus contatos a norte demarcados por falha nos granitóides da Suíte Intrusiva Dom Feliciano e intrusivo nos metagranitóides do Complexo Pinheiro Machado e na sequência piroclásticas basal; ao sul o contato é intrusivo em rochas metamórficas de baixo grau associadas ao septo do embasamento ali presente. Os contatos por falhas são visivelmente marcadas por lineamentos observados em imagens espaciais e concordam com as atitudes medidas em campo que são predominantemente NE-SW (Fig.7).

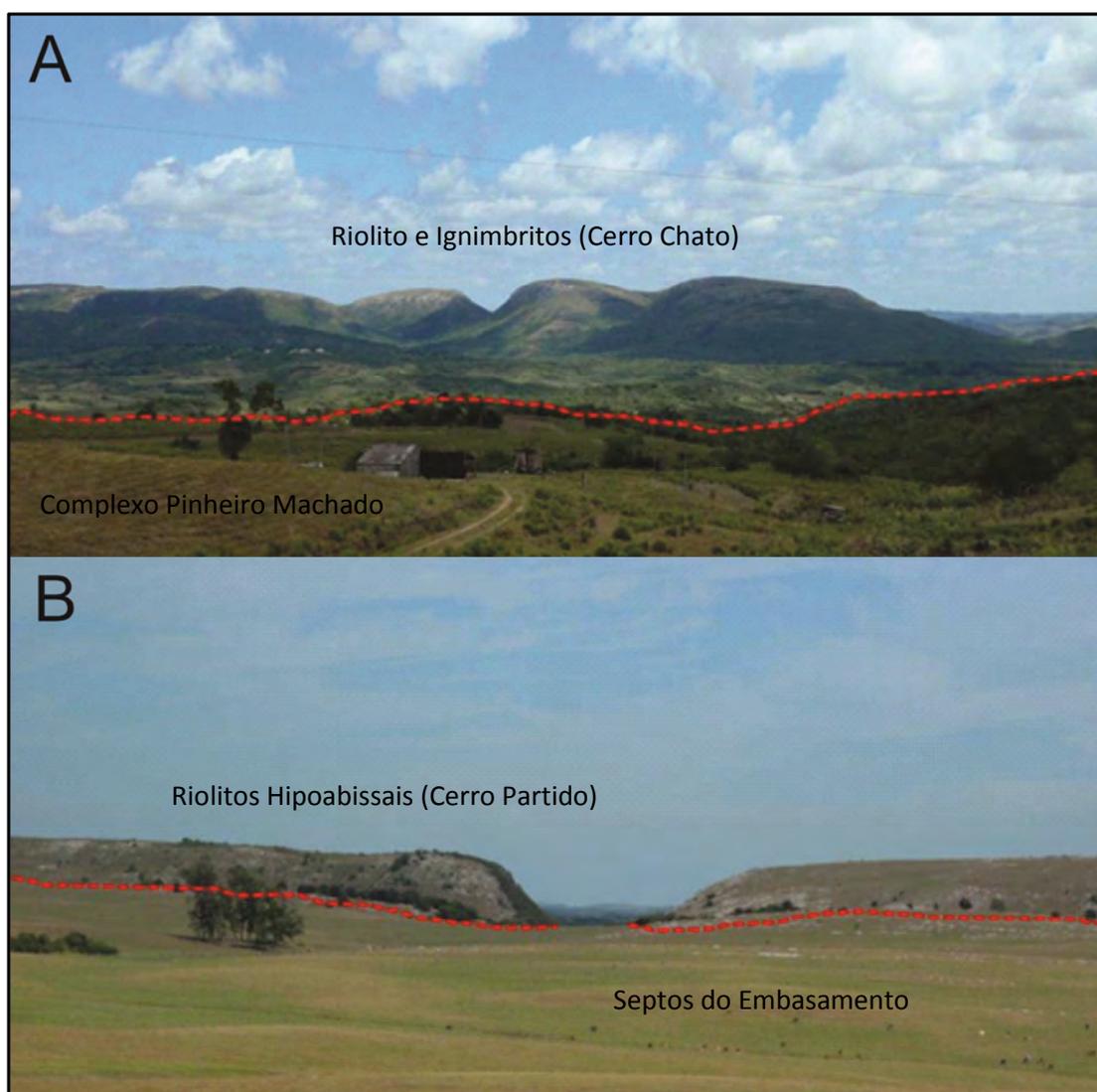


Figura 6 – A: Fotografia panorâmica do Cerro Chato com vista do sul para o norte (linha tracejada em vermelho evidenciando contato entre rochas do Cerro Chato e sua encaixante do CPM); B: Fotografia panorâmica do Cerro Partido com vista do sul para o norte. (linha tracejada destaca contato entre corpo hipoabissal do Cerro Partido e rochas pertencentes ao Septo do Embasamento ao sul).

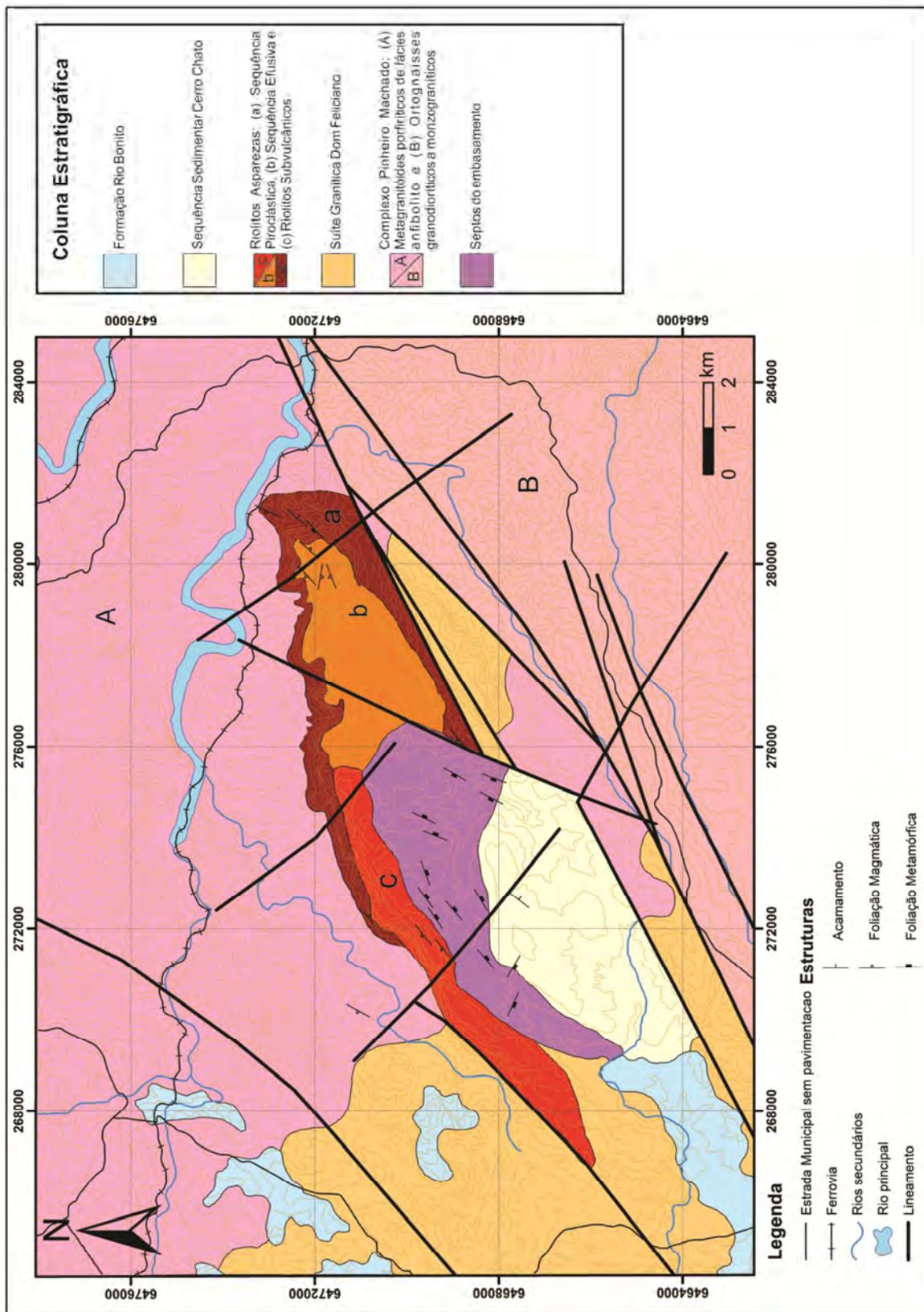


Figura 7 – Mapa geológico simplificado da região do Cerro Chato (Modificado de CPRM, 1999).

O **Complexo Pinheiro Machado (CPM)** (Fragoso Cesar, 1991) constitui a unidade com maior volume de rochas no âmbito da área estudada. Com base na composição petrográfica, intensidade de deformação e ocorrência de xenólitos, os litotipos do CPM foram cartografados em três conjuntos segundo CPRM (1999): 1) domínio de metagranitóides porfiríticos, mesocráticos, cinza a róseos, com foliação marcada pela orientação dos porfiroclastos e orientação dos constituintes da matriz, apresentando de formação tangencial associada a metamorfismo da fácies anfíbolito; engloba xenólitos e megaxenólitos, predominantemente de gnaisses quartzo-feldspáticos; 2) domínio de ortognaisses granodioríticos a monzograníticos, localmente com bandamento gnáissico proeminente, contendo xenólitos e megaxenólitos de dioritos, tonalitos, anfíbolitos e paragnaisses polideformados de formas e tamanhos variados; e 3) domínio de ortognaisses de composição granodiorítica, localmente migmatizados, englobando principalmente xenólitos de extensões métricas de rochas calcissilicáticas, de anfíbolitos e de biotita-gnaisses. Dentre estes três conjuntos, apenas os conjuntos 1 e 2 ocorrem na região do Cerro Chato, sendo identificadas na figura 7 com as siglas A e B respectivamente.

As litologias da **Suíte Intrusiva Dom Feliciano (SIDF)** ocorrem agrupadas em duas fácies principais; monzogranítica e sienogranítica. A primeira é constituída por rochas graníticas de coloração cinza a cinza-avermelhado, texturalmente heterogêneas, de granulação média a grosseira, normalmente porfiríticas, exibindo a biotita como máfico dominante. Em geral apresentam estruturas de fluxo magmático, perceptíveis pelo ordenamento dos fenocristais de feldspato alcalino. A fácies sienogranítica é caracterizada por corpos graníticos, em geral alongados para NE, com dimensões de *stocks*, intrusivos tanto nos gnaisses e metagranitóides do Complexo Pinheiro Machado, como nos monzogranitos anteriormente descritos. Compreende rochas de coloração vermelha a rosada, de granulação grossa a fina, identificando-se, em amostra de mão, apenas feldspato potássico e quartzo como constituintes principais; a quantidade de minerais máficos (biotita) é baixa, não ultrapassando 5%. Texturalmente apresenta uma tendência geral equigranular variando, pontualmente, para termos porfiríticos com fenocristais de feldspato potássico e raramente de plagioclásio.

A **Sequência Sedimentar do Cerro Chato** (Fig.8A) segundo Caldasso & Lopes (1994) é representada por termos imaturos, mal selecionados, e com elevado grau de diagênese compreendendo uma intercalação de conglomerados e arcóseos, constituindo uma sucessão de estratos com empilhamento

granodecrescente. Os conglomerados, que são as litologias dominantes, são grano suportados, constituídos por grânulos e seixos de riolito, quartzo, feldspato e, subordinadamente, granitóides e sedimentos finos. Os arenitos que ocorrem associados são arcoseanos, com granulometria de muito grossa a média, grãos subangulosos a angulosos, mal selecionados. Na literatura, pelitos descritos como maciços e de cor bordô ou castanha, estão relacionados à esta sequência sedimentar, porém apresentam baixo grau de metamorfismo evidenciando uma clivagem ardosiana, sendo assim associadas a **Septos do Embasamento** (Fig.8B), constituindo um corpo que faz contato a norte com as rochas do Cerro Chato e Cerro Partido.

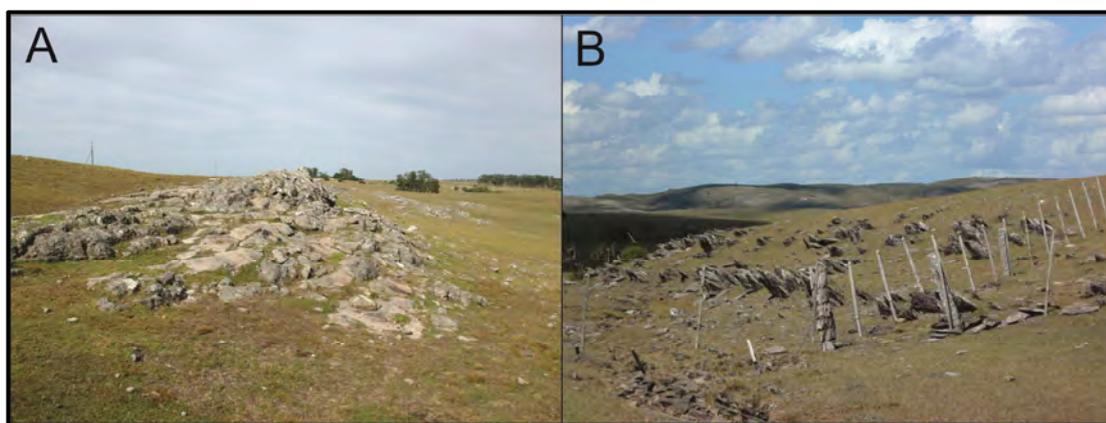


Figura 8 – Aspectos gerais de campo. A: afloramento na forma de lajeado de arenitos imaturos da sequência sedimentar Cerro Chato; B: afloramento de ardósias relacionados ao Septo do Embasamento, com clivagem ardosiana marcante.

Unidade geológica mais recente da área de estudo, a **Formação Rio Bonito**, pertencente ao contexto da Bacia do Paraná, ocorre de maneira subordinada como corpos restritos a porção oeste da região do Cerro Chato, cobrindo os granitóides tanto do Complexo Pinheiro Machado, na porção noroeste, como da Suíte Intrusiva Dom Feliciano, porção leste e sudeste da região. É constituído por arenitos médios a grossos, de coloração cinza-claro, arcoseanos, localmente conglomeráticos, com acamadamento normal e estratificação cruzada de médio a grande porte, gradando para arenitos finos com ocorrências subordinadas de pelitos cinza-esverdeados, carbonoso. A espessura média está em torno de 55m.

## 4.2 FACIOLOGIA E PETROGRAFIA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DA REGIÃO DO CERRO CHATO.

### 4.2.1 Introdução

As erupções vulcânicas ocorrem de duas formas: efusiva ou explosiva. Rochas efusivas são formadas através de fluxo de lava ou intrusões sin-vulcânicas, podendo apresentar texturas coerentes ou vulcanoclástica (McPHIE et al., 1993). A atividade vulcânica de origem explosiva gera os depósitos piroclásticos, a partir da fragmentação de rochas e/ou magma, onde as partículas são dispersas em um meio fluido representado por gases quentes e vapor. Estas partículas são denominadas piroclastos que são descritas como produtos da fragmentação do magma e das paredes das rochas encaixantes, e classificadas quanto a sua gênese, composição e granulometria. (Sparks & Walker, 1973).

Geneticamente, a classificação das rochas piroclásticas é baseada no conceito de que as erupções explosivas podem ser depositadas por três diferentes mecanismos de transporte: fluxo de massa, tração e suspensão, gerando assim três principais tipos de depósitos piroclásticos primários: de fluxo, *surge* e queda (McPhie et al., 1993). Entre os depósitos de fluxo de massa, os mais importantes são os depósitos ignimbríticos cuja definição pode ser resumida em “rocha ou depósito formado a partir de uma ou mais unidades de fluxo piroclástico de púmice (*pumice-flow*), independente de estar soldado ou não”.

O termo ignimbrito tem uma conotação genética e por contemplar uma gama muito grande de tipos de depósitos, mostra-se genérico demais no contexto descritivo das rochas piroclásticas. Deste modo, é recomendada a utilização do conceito de fácies e litofácies para a descrição não só de depósitos piroclásticos, com de depósitos efusivos.

Segundo alguns autores (e.g. Cas e Wright, 1987; Miall, 2000) fácies é um termo utilizado para a identificação, descrição e interpretação de intervalos de rochas ou tefras que possuem características definidas (composição, textura, estrutura) que as distingue de outras fácies ou intervalos de rochas ou sedimentos e que podem recorrer muitas vezes em uma sucessão estratigráfica. Normalmente, as fácies são produtos de uma condição particular de um determinado ambiente deposicional.

O termo litofácies é utilizado como caráter descritivo, e originalmente usado para se referir a determinados atributos observáveis em rochas sedimentares que podem indicar os processos de deposição. Este termo também pode ser aplicado à rochas vulcânicas, onde os atributos litológicos, texturais e estruturais (composição, textura, tamanho de grão, etc.) observados em afloramentos podem indicar as condições das taxas de efusão e erupção ou estilos de colocação (Cas e Wright, 1987). O grau de detalhe aplicado na individualização de litofácies deve ser controlado pelo nível de detalhe do estudo e deve fornecer informações que favoreçam o melhor entendimento das unidades, podendo ser definido de forma muito ampla para englobar unidades estratigráficas mapeáveis ou podem envolver uma descrição bem mais detalhada, como uma simples camada.

Na identificação da litofácies o código é constituído por pelo menos duas letras, que facilitam a documentação e a rápida identificação, tanto no campo quanto em laboratório (Miall, 1996; 2000). As descrições litológicas primárias são identificadas por letras maiúsculas e as letras minúsculas fornecem informações sobre as texturas, estruturas e outras feições descritivas. Portanto, quando aplicadas aos depósitos vulcânicos, as litofácies não podem ser baseadas apenas no tamanho dos grãos ou tipo de rocha (Branney & Kokelaar, 2002).

De acordo com estes critérios e baseado nas descrições litológicas primárias de um depósito, podem ser utilizadas a seguinte nomenclatura:

- tufo = T
- lapili-tufo = LT
- lapilito = L
- brecha = Br

Complementando esta descrição litológica primeira, adicionam-se letras minúsculas, qualificando assim as litofácies, de acordo com os critérios descritos acima, como demonstrados abaixo:

- lapili-tufo maciço = mL T
- lapili-tufo estratificado = sLT.

Vários exemplos de termos e abreviações de litofácies sem conotação genética são sugeridos por Branney & Kokellar (2002) e amplamente utilizado pela comunidade científica:

- *mLT(i)-mLT(ni ip): lápili-tufo maciço com gradação inversa sobreposta por lápili-tufo maciço com gradação normal de clastos líticos e inversa de púmices;*
- *mLT: lápili-tufo maciço;*
- *mLT<sub>(nl, ip)</sub>: lápili-tufo maciço com gradação normal de líticos e inversa de púmices;*
- *sLT : lápili-tufo maciço estratificado;*
- *//sT: tufo com estratificação plano-paralela;*
- *xsT: tufo com estratificação cruzada*
- *lenslBr : lentes de brecha rica em líticos*

A vantagem da utilização desta nomenclatura é que ela pode ser estendida e ser subdividida, de acordo com as características observadas e aplicada da mesma forma para os depósitos efusivos:

- *cB - basalto com disjunções colunares*
- *vB - basalto vesicular*
- *mA - andesito maciço*
- *tA - andesito com textura traquítica*
- *fR - riolito com estrutura de fluxo*
- *bR - riolito autobrechado*
- *eR - riolito com textura esferulítica*

Esta nomenclatura será utilizada para caracterizar a variação faciológica observada na região do Cerro Chato, onde serão inseridos aspectos descritivos de campo e petrográfico em escala macro e microscópica.

#### 4.2.2 Faciologia e Petrografia das rochas riolíticas da região do Cerro Chato

O Cerro Chato é caracterizado por uma sucessão de depósitos piroclásticos e efusivos, ambos de composição riolítica (Fig.9). Os depósitos piroclásticos ocorrem na base da sequência vulcânica e de acordo com seus aspectos composicionais e texturais podem ser classificados geneticamente como ignimbritos. Todos os depósitos apresentam um grau de soldagem elevada e, descritivamente, apresentam variações faciológica incipiente e gradacional entre elas, representadas por duas litofácies distintas: lúpili-tufos rico em fragmentos líticos (ILT) nas porções inferiores da sequência (Fig.10); lúpili-tufos ricos em cristais e com notável textura eutaxítica (ecLT), com variações na quantidade de cristais e fragmentos de púmice (Fig.11). Sobrepondo discordantemente esta sequência piroclástica, ocorrem os depósitos efusivos, caracterizados principalmente por derrames riolíticos hemicristalinos, com notável estrutura de fluxo (fhR) e porções autobrechadas (bR) (Fig.12).

O Cerro Partido é representado exclusivamente por um corpo subvulcânico de composição riolítica, cortando as rochas do embasamento e também os depósitos piroclásticos. É caracterizado por riolitos porfiríticos com matriz equigranular fina (pR) (Fig.13).

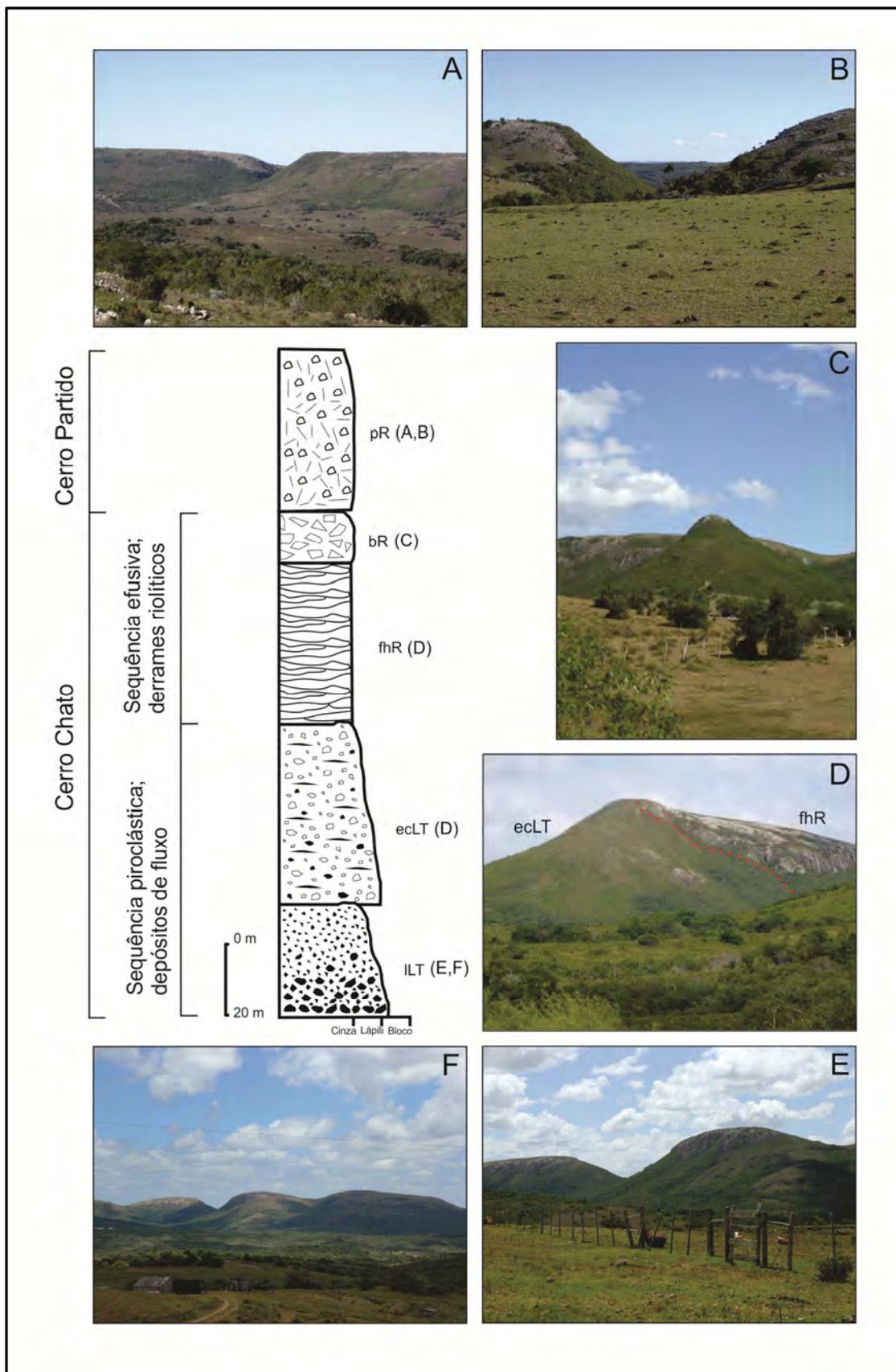


Figura 9 – Coluna estratigráfica da região do Cerro Chato; A e B: fotografias evidenciando feições geomorfológicas e de campo do Cerro Partido; C: feição dômica, típica dos riolitos porfíricos do Cerro Chato; D: fotografia destacando contato entre rochas piroclásticas e riolitos efusivos do Cerro Chato; E e F: Imagens destacando morfologia e forma de ocorrência das rochas piroclásticas do Cerro Chato.

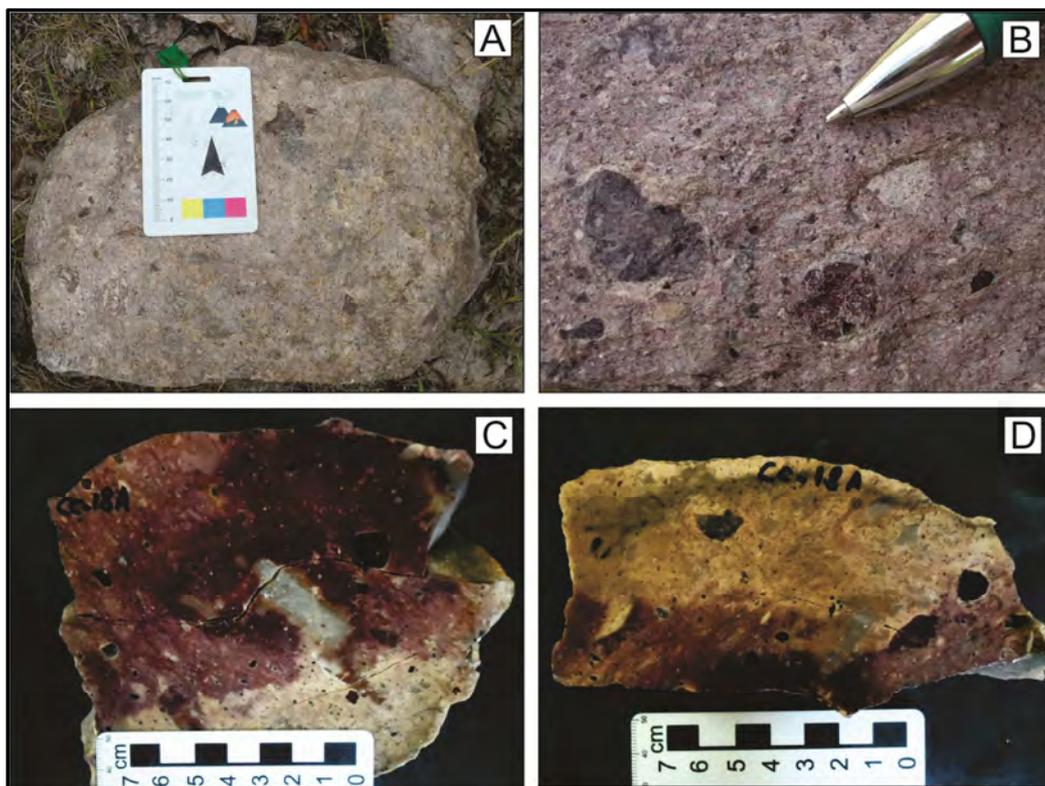


Figura 10 – Aspectos macroscópicos dos ignimbritos ricos em litoclastos. A e B: fotografias evidenciando aspectos de campo. C e D: imagens de amostras serradas para confecção de lâmina delgada, perceptível litoclastos de diâmetros centimétricos.

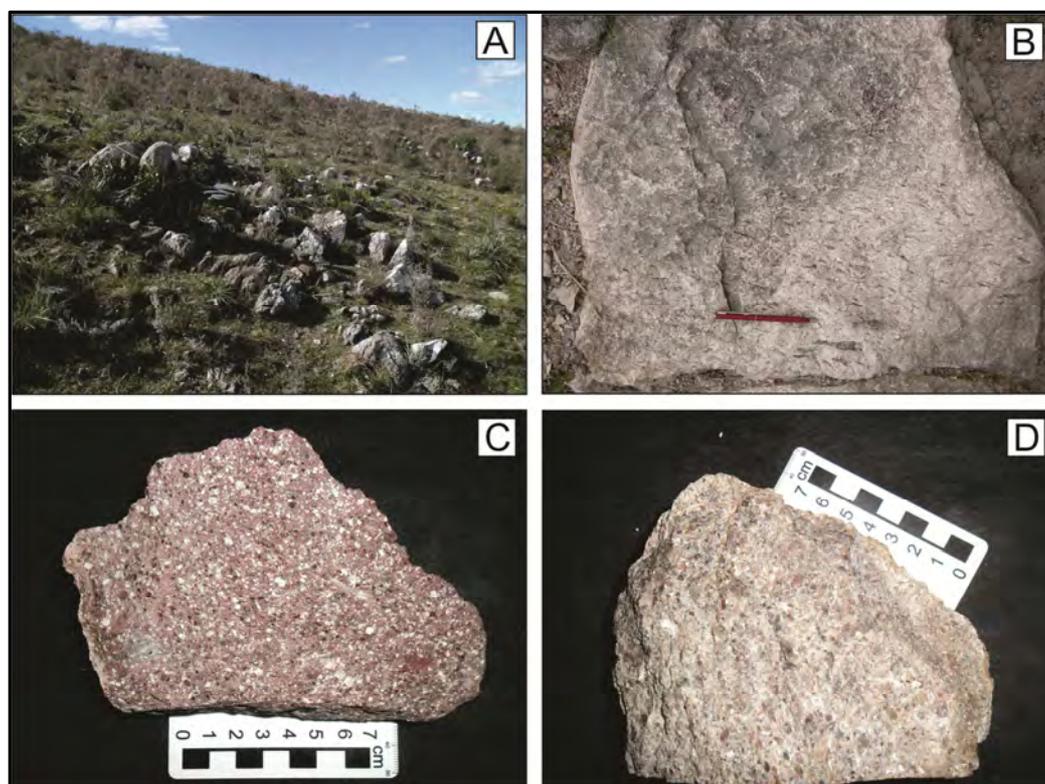


Figura 11 – A e B: Aspectos Gerais de campo e forma de ocorrência; C e D: Aspectos macroscópicos de ignimbritos ricos em cristais.

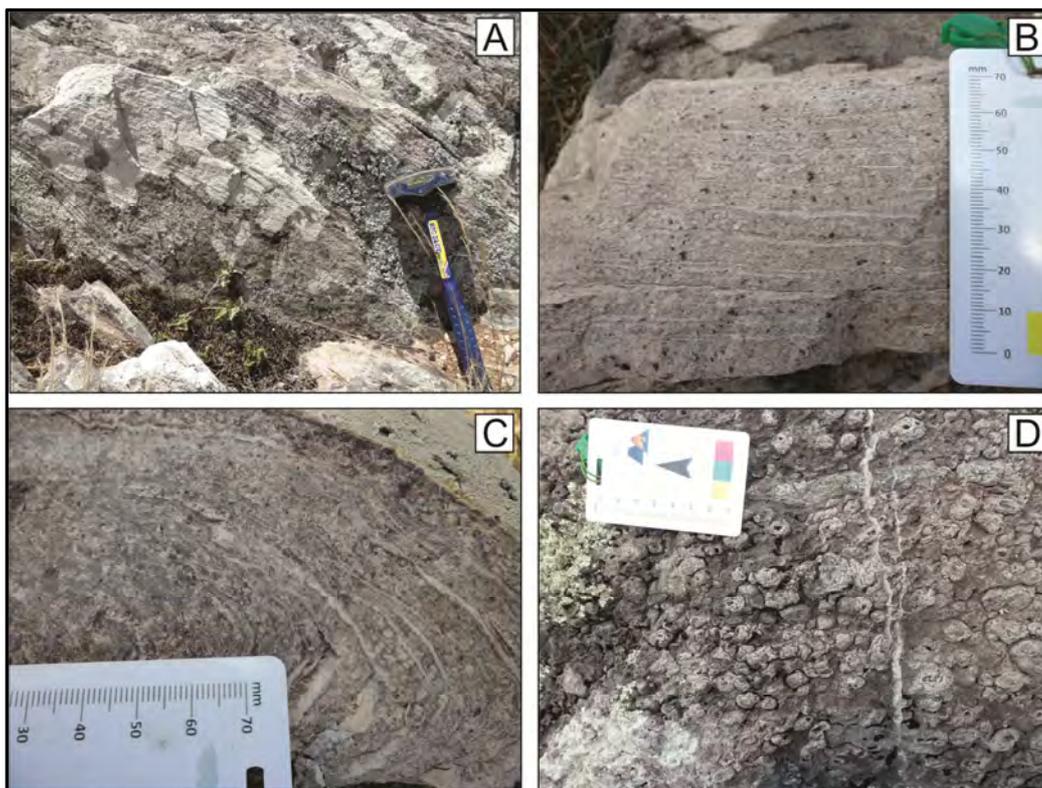


Figura 12 – Aspectos gerais de campo do Riolitos do Cerro Chato. A: foto de afloramento evidenciando estrutura de fluxo; B: Amostra macroscópica apresentando detalhe da estrutura de fluxo; C: dobras de fluxo e D: esferulitos em escala macroscópica.

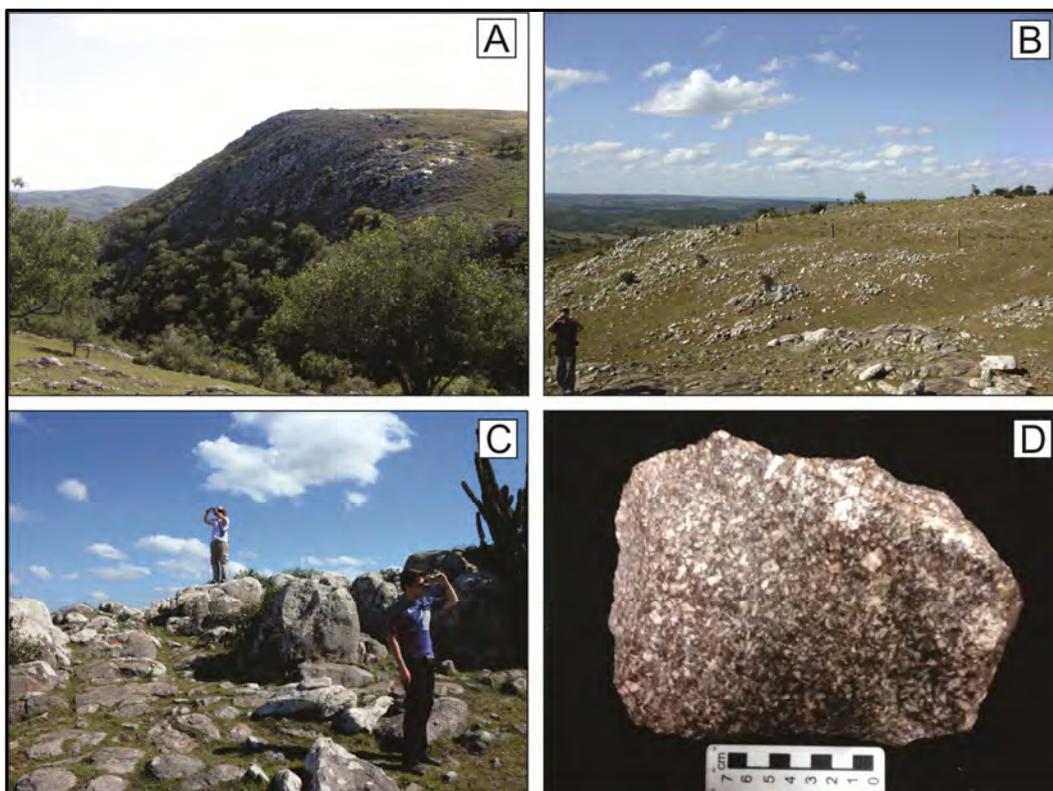


Figura 13 – Aspectos gerais de campo. A: Detalhe dos aspectos morfológicos; B e C: Afloramentos na forma de lajeados e campo de blocos e matacões; e D: Amostra macroscópica evidenciando textura porfirítica a glomeroporfirítica, com fenocristais milimétricos.

#### 4.2.2.1 Lápili-tufos rico em fragmentos líticos (ILT)

Ignimbritos caracterizados por depósitos tabulares com espessuras métricas, com moderado a alto grau de soldagem, mal selecionados, com fragmentos tamanhos cinza a lápili predominantes. Os litoclastos perfazem cerca de 20% da rocha e são subarredondados, com dimensões variando entre 1 mm a 2 cm de diâmetro. Composicionalmente é constituído por fragmentos conatos de riolitos e ignimbritos e, subordinadamente, acidentais oriundos das rochas encaixantes da região. Os constituintes juvenis são representados por fragmentos de púmice e cristais (cerca de 30%), e 50% de matriz tufácea. É comum a presença de fragmentos achatados de púmices (*fiamme*), cuja orientação configura a textura eutaxítica. Os cristais normalmente ocorrem como fragmentos de quartzo, sanidina e plagioclásio, com diâmetros entre 0,2 e 1mm. Fenocristais de quartzo ocorrem de maneira subordinada, subédricos a euédricos e inferiores a 1mm de diâmetro médio. As vezes apresentam bordas quebradas e reabsorvidas (quartzo). A matriz é extremamente fina, constituída por *shards* e produtos de devitrificação de material originalmente vítreo. (Fig.14).

#### 4.2.2.2 Lápili-tufos ricos em cristais e com notável textura eutaxítica (ecLT)

Litofácies caracterizada por depósitos tabulares de espessuras métricas, com elevado grau de soldagem. São mal selecionados, onde predominam os fragmentos lapilíticos de cristais e púmices e uma matriz tufácea muito fina. É abundante a presença de fragmentos de cristais e púmices (cerca de 40-50%). Púmices e *fiammes* por vezes ocorrem em maior quantidade em relação a cristais e cristaloclastos. Litoclastos riolíticos são raros (< 5%). Os púmices ocorrem em diversos tamanhos, porém nunca superando a granulometria tamanho lápilli. Por vezes ocorrem devitrificados para um arranjo granofírico de composição quartzo-feldspática. O nível de achatamento dos púmices é forte-moderado, sendo possível a identificação de uma forte textura eutaxítica. Estilolitos são observados ao longo das lâminas delgadas evidenciando uma dissolução por pressão e posterior preenchimento por óxidos. Os cristais ocorrem predominantemente como fenocristais de quartzo, sanidina e plagioclásio de 1 a 1,5 mm, subédricos a euédricos, por vezes preservados dentro dos púmices. Fraturas e bordas reabsorvidas são feições muito comuns, principalmente nos cristais de quartzo. Os

fragmentos de cristais geralmente são formados por cristais de quartzo, angulosos e de tamanhos inferiores a 1mm. A matriz é extremamente fina e constituída por shards na forma de meia lua e filamentos, de comprimento inferior a 0,2 mm. (Fig.15).

#### 4.2.2.3 Riolitos hemicristalinos com estrutura de fluxo (fhR) e riolitos autobrechados (bR).

Os derrames riolíticos ocorrem sobrepostos aos ignimbritos na área do Cerro Chato, são porfíricos de coloração rosada a cinza escuro, constituídos por fenocristais (5–10%) euédricos a subédricos de quartzo, sanidina e subordinadamente plagioclásio, envoltos por uma matriz equigranular fina a afanítica (90-95%). Geralmente são maciços, mas é comum a presença de estruturas de fluxo de alto ângulo, formando dobras de diferentes padrões.

O quartzo é uma das principais fases e ocorre como fenocristais e na matriz. Os fenocristais são subédricos a euédricos, com bordas retas e por vezes arredondadas sugerindo cristalização precoce e posterior desequilíbrio com o sistema. Suas dimensões variam de 0,5 a 1,5 mm e comumente apresentam microfaturas. Na matriz, podem ocorrer preenchendo espaços intersticiais e intercrescido com feldspato alcalino, gerando textura granofírica (Fig.16).

Os fenocristais de sanidina possuem hábito tabular a prismático e diâmetros que variam entre 0,8 e 1,5 mm. Zircão e apatita ocorrem como minerais acessórios com diâmetros inferiores a 0,4mm. Minerais opacos ocorrem dispersos na matriz e preenchendo microfaturas. Processos de devitrificação de alta temperatura do material originalmente vítreo são comuns e vários estágios são observados desde esferulitos até intercrescimentos granofíricos matriz (Fig. 16).

Em algumas porções os riolitos foliados gradam para termos autobrechados (bR), onde observa-se a ruptura desta foliações, devido a alta viscosidade do sistema. Os fragmentos são centimétricos, angulosos, sendo comum a textura *jig saw fit*. A matriz era originalmente vítrea e mostra-se desvitrificada para um intercrescimento granofírico quartzo-feldspático (Fig.16).

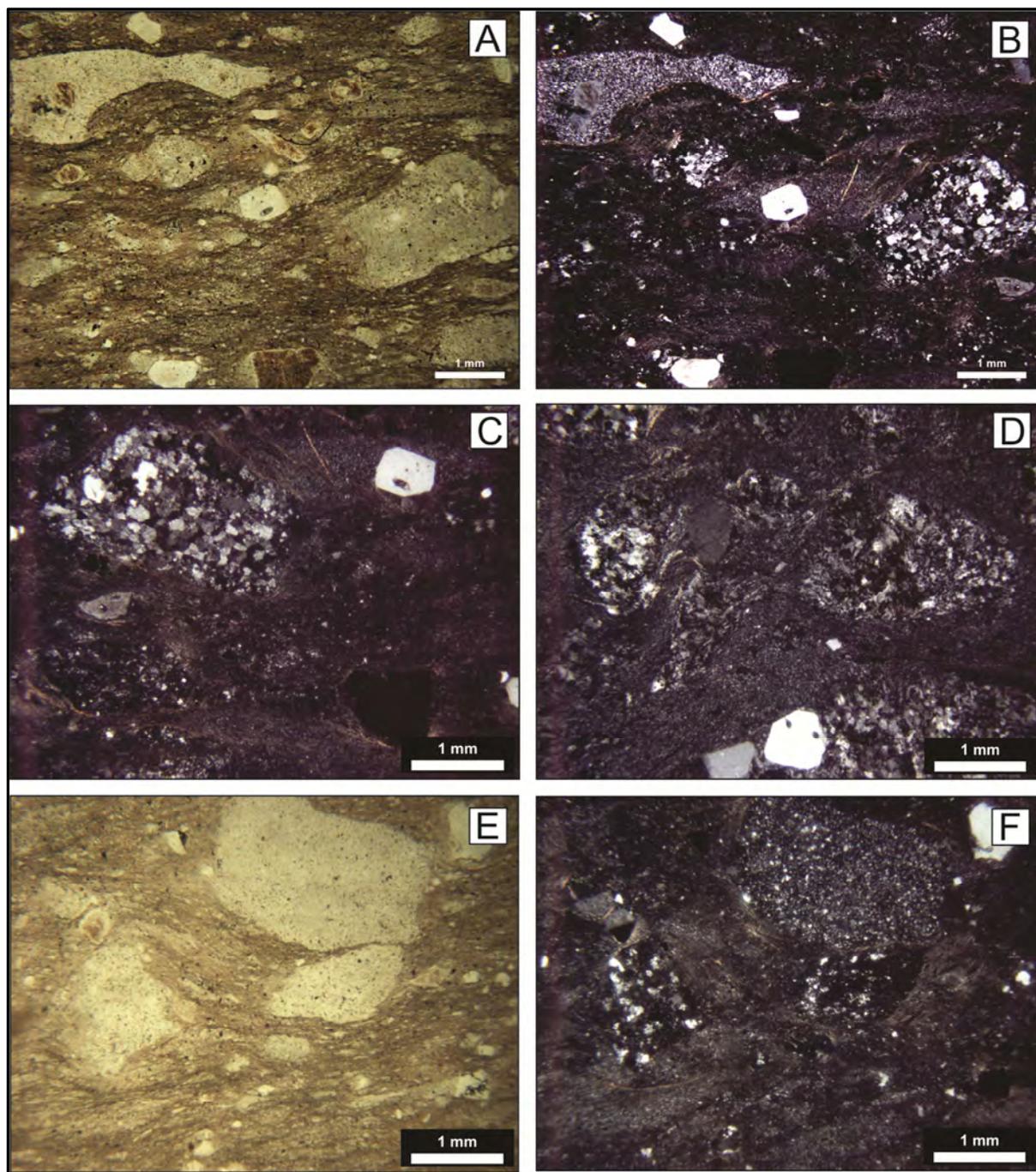


Figura 14 – Fotomicrografia mostrando: A e B: Grande quantidade de litoclastos riolíticos, cristaloclastos milimétricos de quartzo e textura eutaxítica. LN e LP respectivamente; C e D: Detalhe a LP evidenciando fenocristais de quartzo euédricos reabsorvidos e litoclastos devitrificados, milimétricos e arredondados. E e F: Alto grau de soldagem, caracterizado pela grande quantidade de *fiammes*, textura eutaxítica, matriz tufácea com presença de *shards*.

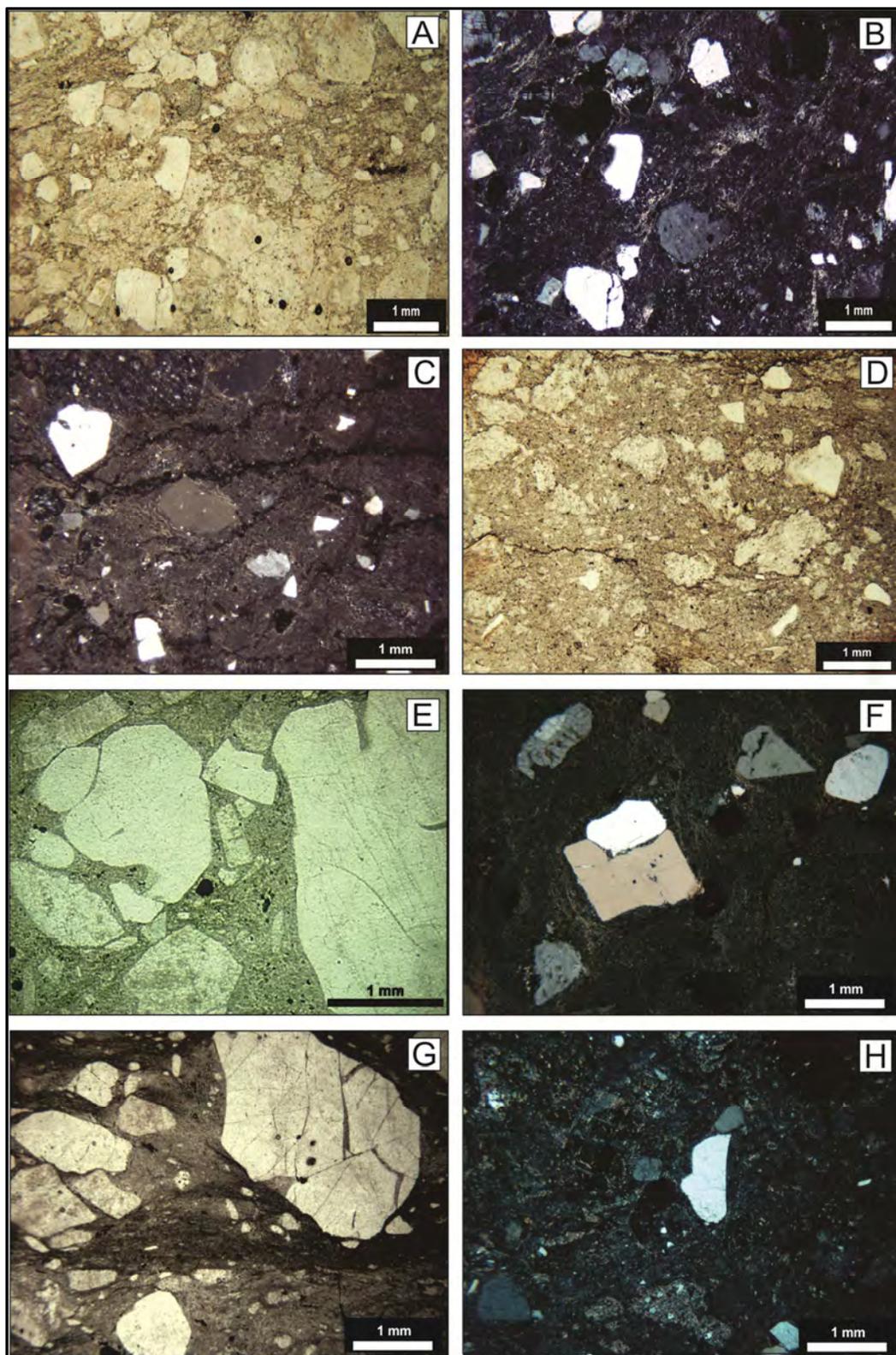


Figura 15 – A e B: Aspectos gerais em lâmina delgada, cristaloclastos imersos em matriz tufácea, textura eutaxítica incipiente, matriz rica em *shards*, LN e LP respectivamente; C: Estilolito ao longo da matriz evidenciando dissolução sob pressão, LP; D: Fotomicrografia a LN demonstrando quantidade de púmice maior que cristais, com matriz rica em *shards*; E e F: Reabsorção nos cristais gerando golfos de corrosão e bordas arredondadas, evidenciando desequilíbrio dos cristais com a matriz, LN e LP respectivamente; G: Alto grau de faturamento nos cristais de quartzo e textura eutaxítica marcante, LN; e H: Cristais de quartzo e feldspatos, com bordas corroídas imersos em uma matriz tufácea, estrutura maciça, LP.

A porcentagem mineralógica foi adquirida através de estimativa visual. Com isso, a matriz corresponde cerca de 93%, enquanto os fenocristais à 7%, com os minerais essenciais correspondendo a 65% de quartzo, 30% de k-feldspato e 5% de plagioclásio. Segundo o diagrama QAPF (STRECKEISEN, 1978) e as recomendações da IUGS (LE MAITRE, 2002, p. 5), com base na composição mineralógica dos fenocristais de minerais essenciais, estas rochas podem ser classificadas como feno-riolitos. Os minerais acessórios, máficos e opacos não totalizam mais de 5% em nenhuma amostra, sendo assim, não foram utilizadas para nomear a rocha.

#### 4.2.2.4 Riolitos porfíricos (pR)

Esta litofácies é vinculada ao Cerro Partido que é caracterizado por um corpo riolítico subvulcânico. É constituída predominantemente por riolitos com textura porfírica a glomeroporfírica, com fenocristais (45%) subédricos a euédricos de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio. A matriz é afanítica a equigranular fina, hipidiomórfica e de composição quartzo-feldspática predominante. O zircão é o mineral acessório predominante. Como minerais de alteração ocorrem argilo-minerais. Minerais opacos ocorrem disseminados ao longo de toda matriz como grãos anédricos, por vezes ocorrendo de maneira inclusa no fenocristais. Texturas de intercrescimento entre quartzo e K-feldspato são comuns, como a textura granofírica, decorrentes de processos de rápido resfriamento ou devitrificação. Um forte padrão de fraturamento é observado evidenciado pela quebra das fases minerais. (Fig.17).

Os fenocristais de quartzo são geralmente euédricos, facetados, por vezes microfraturados com diâmetros máximo de 3 mm, com alguns grãos apresentado feições de reabsorção como bordas e golfos de corrosão. Na matriz ocorrem como grãos anédricos, e intercrescidos com feldspato alcalino com contatos lobados.

Os fenocristais de K-feldspato apresentam formas subédricas a euédricas com diâmetros variando de 1 a 5 mm. Muitos grãos apresentam reabsorção pela matriz caracterizada pelos golfos de corrosão. Na matriz ocorre de maneira anédrica, com contatos lobados, por vezes intercrescido com o quartzo. Alteração para mica branca e argilominerías é comum.

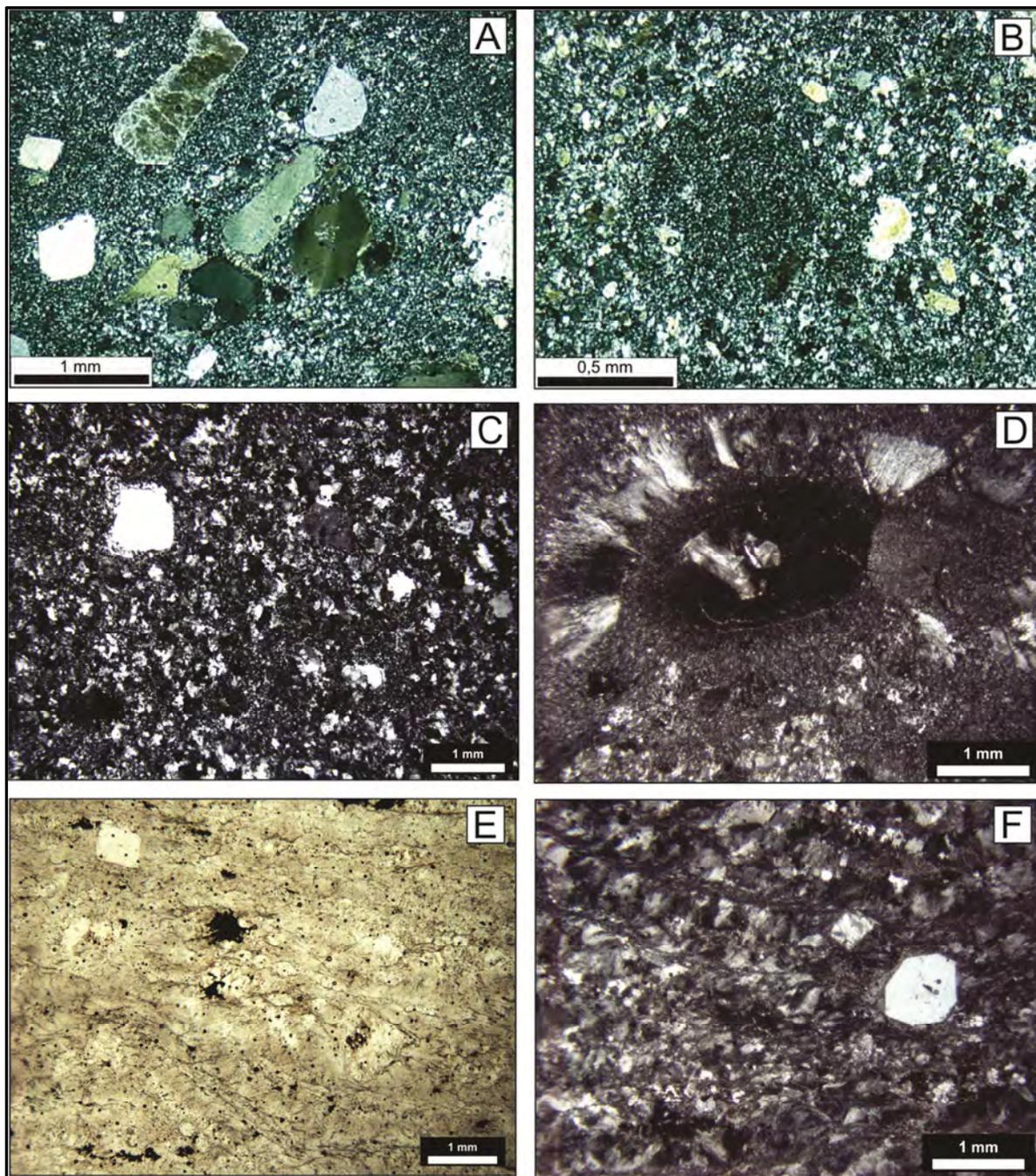


Figura 16 – Fotomicrografias mostrando: A e B: Variação na quantidade de fenocristais a LP, onde A retratada textura porfirítica rica em fenocristais de quartzo e sanidina, e B demonstra menor quantidade de fenocristais com dimensões inferiores a 0,5 mm; C: Fenocristais de quartzo imerso em matriz com textura granofírica (LP); D: Textura esferulítica, gerada por devitrificação em alta temperatura de forma radial (LP); E: Fotomicrografia a LN destacando estrutura de fluxo e presença de minerais opacos disseminados ao longo da matriz; e F: Fenocristal euédrico de quartzo imerso em matriz com estrutura de fluxo marcante. Matriz completamente devitrificada (LP).

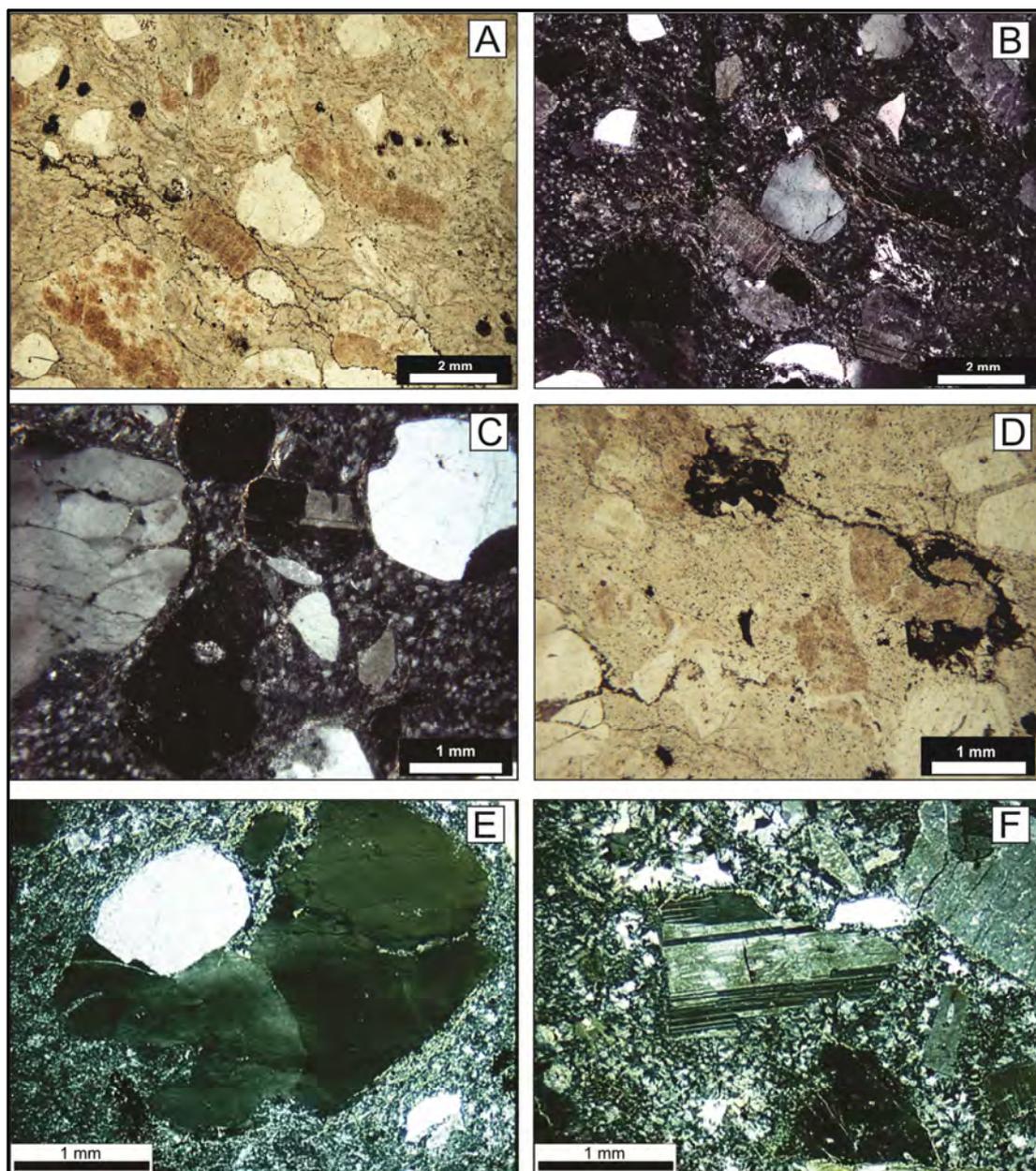


Figura 17 – Aspectos microscópicos; A e B: Aspectos gerais em LN e LP respectivamente. Textura porfirítica, fenocristais euédricos a subédricos de quartzo, K-feldspato e plagioclásio imersos em matriz equigranular fina; C: Detalhe na textura glomeroporfirítica, com aglomerados de fenocristais imersos em matriz equigranular fina (LP); D: Fotomicrografia a LN evidenciando minerais opacos preenchendo microfraturas e substituindo cristais de K-feldspato; E: Detalhe de cristal de quartzo com grau de faturamento elevado e feições de reabsorção como golfos de corrosão e bordas arredondadas (LP); e F: Cristal de plagioclásio imerso em matriz afanítica, com feições de reabsorção e moderado grau de faturamento (LP).

O plagioclásio como fenocristal apresenta formas subédricas a euédricas, geralmente apresentando hábito prismático tendo diâmetros variando entre 1 – 5 mm. Os cristais apresentam contatos retos e maclas polissintéticas. O grau de faturamento nesta fase mineral é baixo a moderado e o processo de argilização e alteração encontram-se em estágio inicial.

O zircão ocorre como mineral acessório predominante, geralmente incluso em outras fases minerais como o quartzo, geralmente apresentando formas subédricas com diâmetros aproximados de 0,1 mm.

Os minerais opacos, ocorrem como acessórios correspondendo menos de 1% do total das amostras analisadas. Ocorrem disseminados de maneira anédrica, amorfa, disseminados na matriz, preenchendo microfraturas e por vezes incluso nos fenocristais

A porcentagem mineralógica foi adquirida através de estimativa visual. Com isso, a matriz corresponde a aproximadamente 55%, enquanto os fenocristais à 45%, com os minerais essenciais correspondendo a 40% (quartzo) e 27% (k-feldspato) e 33% (plagioclásio). Segundo o diagrama QAPF (Streckeisen, 1978) e as recomendações da IUGS (Le Maitre, 2002), com base na composição mineralógica dos fenocristais de minerais essenciais, estas rochas podem ser classificadas como feno-riolitos. Os minerais acessórios, máficos e opacos não totalizam mais de 1% em nenhuma amostra, sendo assim, não foram utilizadas para nomear a rocha.

### 4.3 LITOQUÍMICA DAS ROCHAS RIOLÍTICAS DA REGIÃO DO CERRO CHATO

As interpretações litogeoquímica basearam-se na análise de elementos maiores, traços e terras raras (ETR), em rocha total, de 16 amostras, sendo nove de ignimbritos e três de riolitos relacionados ao Cerro Chato, e seis de riolitos relacionados ao Cerro Partido. Os dados encontram-se apresentados nas tabelas 1, 2 e 3.

A caracterização geoquímica de sequências piroclásticas permanece para alguns autores como uma questão problemática (e.g. Ui, 1971; Walker, 1972; Cas & Wright, 1987). Para esses, as características composicionais e texturais deste tipo de rocha, como a presença de piroclastos acidentais e acessórios, podem causar erros que podem ser significativos na análise química de rocha total. Para evitar estes erros, através da petrografia foram descartadas todas aquelas amostras que apresentavam contaminação por fragmentos acidentais, acessórios e conatos que poderiam alterar a composição original do magma gerador desta sequência. Outro procedimento importante foi o de evitar também, as amostras mais vítreas, onde os elementos como sódio e potássio poderiam ser facilmente removidos por processos de alteração.

Na caracterização química da sequência vulcânica do Cerro Chato procurou-se utilizar amostras de ignimbritos sempre associadas aos depósitos efusivos, dando-se preferência aos elementos de menor mobilidade (e.g.  $\text{TiO}_2$ , Nb, Y, Zr e ETR). De uma maneira geral não se observou muita variação entre as lavas e os ignimbritos, podendo ser desta forma, utilizados na caracterização geoquímica da sequência piroclástica e das rochas efusivas.

As rochas riolíticas apresentam teores elevados de  $\text{SiO}_2$ , variando de 69 a 78% (Tabela 1 e 3). A grande maioria das amostras apresenta teores superiores a 73%, podendo assim classificá-las como “sistemas riolíticos alta-sílica” segundo Mahood & Hildreth (1983) e Metz & Mahood (1991). Geralmente as rochas com estas características têm pequenos intervalos de variação, o que torna difícil o enquadramento nas classificações com base em parâmetros geoquímicos.

**Tabela 1** – Resultados de litoquímica para elementos maiores nas amostras do Cerro Chato. Em azul estão destacadas as amostras de riolitos, em marrom as amostras de ignimbritos.

Majores (%)										
	CC 01 A	CC 11 A	CC 12	CC 03b (B)	CC 03b (A)	CC-07B	CC-19B	CC 08b	PB 011	PB 015
SiO <sub>2</sub>	74,20	75,44	76,59	77,14	76,11	76,10	77,28	76,92	76,69	76,47
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,15	0,13	0,09	0,07	0,15	0,09	0,06	0,07	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,41	13,23	11,40	12,26	12,53	12,31	11,82	11,46	11,78	11,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,06	1,79	1,67	1,53	1,43	2,26	1,68	1,48	1,21	1,26
MnO	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
MgO	0,38	0,21	0,06	0,07	0,29	0,12	0,07	0,01	0,02	0,01
CaO	1,05	0,37	0,27	0,87	0,51	0,40	0,27	0,32	0,09	0,05
Na <sub>2</sub> O	3,69	2,80	2,54	2,46	2,42	3,26	2,87	3,81	3,89	4,42
K <sub>2</sub> O	2,75	5,68	5,66	5,27	5,31	4,94	5,38	4,79	4,50	4,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03
LOI	1,87	0,89	0,54	1,16	1,05	0,20	0,40	0,55	0,43	0,36
TOTAL	99,65	100,62	98,92	100,91	99,77	99,84	99,89	99,45	98,73	98,66

**Tabela 2** – Resultados de litoquímica para elementos traços e terras raras nas amostras do Cerro Chato. Em marrom estão destacadas as amostras de ignimbritos, em azul as amostras de riolitos.

Traços /ETR (ppm)										
	CC 01 A	CC 11 A	CC 12	CC 03b (B)	CC 03b (A)	CC-07B	CC-19B	CC 08b	PB 011	PB 015
Ba	160	105	72	89	18	204	29	21	24	10
Rb	222	287	269	295	363	261	29	21	24	10
Sr	190	62	25	91	27	81,4	15,8	12	9	5
Ga	31	30	22	28	35	19,3	23,2	28	31	34
Nb	56,8	59,2	36,6	58,2	84,5	48,6	48,8	79,9	56,3	63,6
Zr	268	247	222	178	233	231,3	159,1	193	185	193
Y	101	79,1	70,4	94,2	97,6	75,4	70,6	88,9	61,9	104
La	84,6	49,8	67,4	34,9	29	61,6	33,7	20	14,4	32,5
Ce	162	110	147	82,3	76,1	141,0	98,8	54,5	58,6	84,7
Pr	19,7	13,8	17,9	10,8	10,2	16,87	10,38	6,89	5,77	11,4
Nd	69,8	54,7	67,4	48,5	46,2	68,4	44,7	32,4	22,1	46,7
Sm	15,2	13,3	15,1	13,4	13,1	14,84	10,42	9,73	6,52	12,2
Eu	0,363	0,251	0,218	0,155	0,035	0,29	0,08	0,012	0,059	0,017
Gd	14,9	12,3	13,5	14,4	14	14,31	10,81	10,1	9,52	15,2
Tb	2,56	2,25	2,21	2,58	2,64	2,59	2,04	2,13	2,05	3,04
Er	9,42	8,57	7,2	9,31	10,5	7,42	6,64	9,97	7,68	9,97
Yb	8,32	7,98	6,13	8,04	9,47	6,86	5,94	8,73	7,19	8,81
Lu	1,17	1,13	0,859	1,12	1,32	0,95	0,84	1,24	1,02	1,21
U	4,19	5,68	2,95	3,76	5,08	4,8	4,2	5,03	3,4	6,1
Th	34,4	32,7	24,6	30,7	27,1	29,0	28,8	22,5	20,1	22,2
Hf	10,3	9,6	7,9	7,9	11,2	9,1	7,1	9,6	8,7	9,2
Cs	5,9	4,4	2,8	2,8	7,3	2,9	1,8	2,2	1,1	1,6
Ta	5,31	4,86	2,91	4,87	6,61	3,4	3,4	5,95	5,26	5,69

**Tabela 3** – Resultados de litoquímica para elementos maiores, traços e terras raras nas amostras do Cerro Partido.

**Maiores (%)**

	<b>PB 007</b>	<b>PB 008</b>	<b>PB 019</b>	<b>PB 021C</b>	<b>PB 022</b>	<b>PB 024</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	74,65	76,92	68,85	76,95	74,5	76,83
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,17	0,22	0,14	0,16	0,19	0,17
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12,09	12,29	11,67	11,56	11,80	11,98
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,78	1,90	1,54	1,65	1,74	2,03
<b>MnO</b>	0,03	0,04	0,06	0,03	0,04	0,02
<b>MgO</b>	0,11	0,17	0,12	0,23	0,20	0,18
<b>CaO</b>	0,32	0,45	0,64	0,44	0,83	0,33
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2,85	2,90	1,57	2,79	2,09	2,72
<b>K<sub>2</sub>O</b>	5,62	5,27	4,91	4,79	5,86	5,40
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04
<b>LOI</b>	0,75	0,75	1,81	1,06	1,09	0,98
<b>TOTAL</b>	98,43	100,97	91,36	99,71	98,39	100,68

**Traços / ETR (ppm)**

<b>Ba</b>	260	385	261	171	224	266
<b>Rb</b>	320	304	305	320	355	323
<b>Sr</b>	122	80	44	48	70	72
<b>Ga</b>	22	21	24	20	23	23
<b>Nb</b>	24,2	20,7	25,4	23,6	22,5	23,7
<b>Zr</b>	186	240	147	182	192	188
<b>Y</b>	67,1	65,6	104	69,7	71,7	52,1
<b>La</b>	78,7	88,7	55,9	84,8	85,1	59
<b>Ce</b>	181	198	115	182	181	131
<b>Pr</b>	20,6	22,9	15,8	22	22,3	16,3
<b>Nd</b>	69,8	74	55	69	69,8	50,6
<b>Sm</b>	11,6	13	12	13,1	13,2	9,16
<b>Eu</b>	0,36	0,735	0,508	0,421	0,493	0,383
<b>Gd</b>	10,6	11,6	13,2	12,2	12,1	7,75
<b>Er</b>	6,56	6,4	8,4	6,72	6,85	5,36
<b>Yb</b>	6,45	6,04	7,54	6,4	6,44	5,74
<b>Lu</b>	0,986	0,855	1,1	0,931	0,962	0,885
<b>U</b>	2,56	3,18	2,07	5,36	3,19	2,76
<b>Th</b>	42,5	35,1	35,9	40,7	40	41,2
<b>Hf</b>	6,1	6,9	6	6,1	6,2	6,4
<b>Ta</b>	2,82	2,12	3,03	2,71	2,59	2,96

Seguindo as determinações da IUGS para classificação de rochas vulcânicas, as amostras quando plotadas no diagrama TAS (Le Bas *et al.* 1986), seguindo a razão álcalis (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) vs. SiO<sub>2</sub>, ocupam o campo dos riolitos, mas devido ao alto teor de sílica, não é possível distinguir entre os campos alcalino/sub-alcalino utilizando este diagrama (Fig. 18).

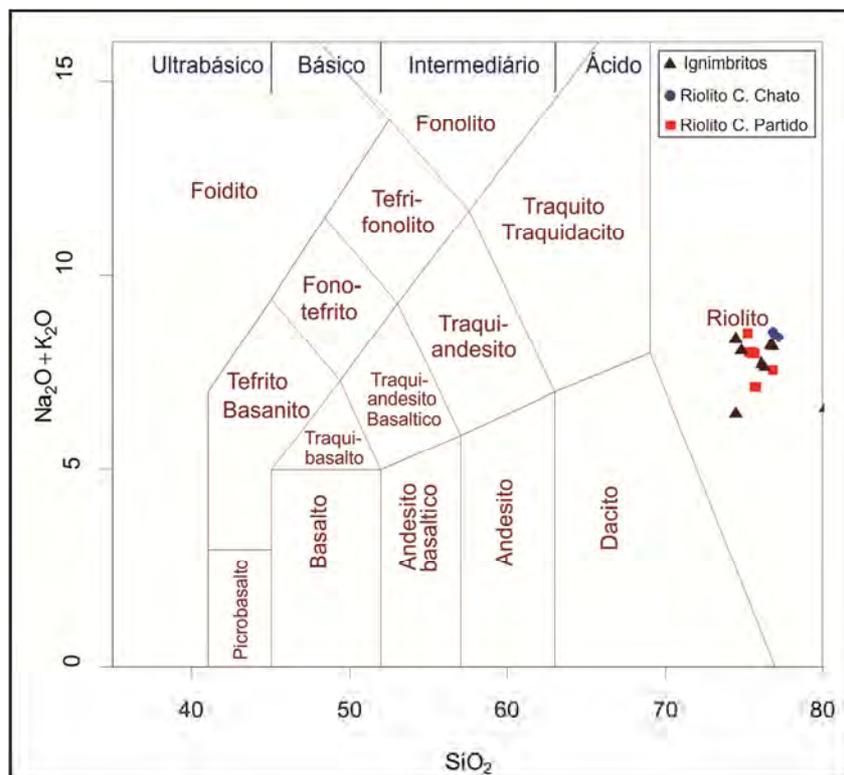


Figura 18 – Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo a razão álcalis vs. Sílica, de acordo com Le Bas *et al.*, (1986).

Levando em consideração a possibilidade de ocorrer uma perda de álcalis durante a cristalização de magmas alcalinos ou em processos de alteração pós-magmáticos (Leat *et al.*, 1986), decidiu-se plotar as amostras em outros diagramas, como o diagrama de De La Roche *et al.* (1980) que utiliza a razão entre o somatório de diversos elementos maiores, e os de Pearce (1996) e Winchester & Floyd (1977), que utilizam a razão entre elementos traços e a razão destes com a SiO<sub>2</sub> respectivamente (Fig.19).

Nestes diagramas percebe-se um comportamento muito similar ao observado no diagrama TAS, onde as amostras tendem a ocupar os campos dos riolitos e riolitos alcalinos, sempre próximo do limite com as rochas subalcalinas. Porém no diagrama Zr/Ti vs. Nb/Y, é perceptível a diferença química entre as litologias do Cerro Chato que apresentam um caráter mais alcalino, e os riolitos do Cerro Partido que tendem a termos mais dacíticos.

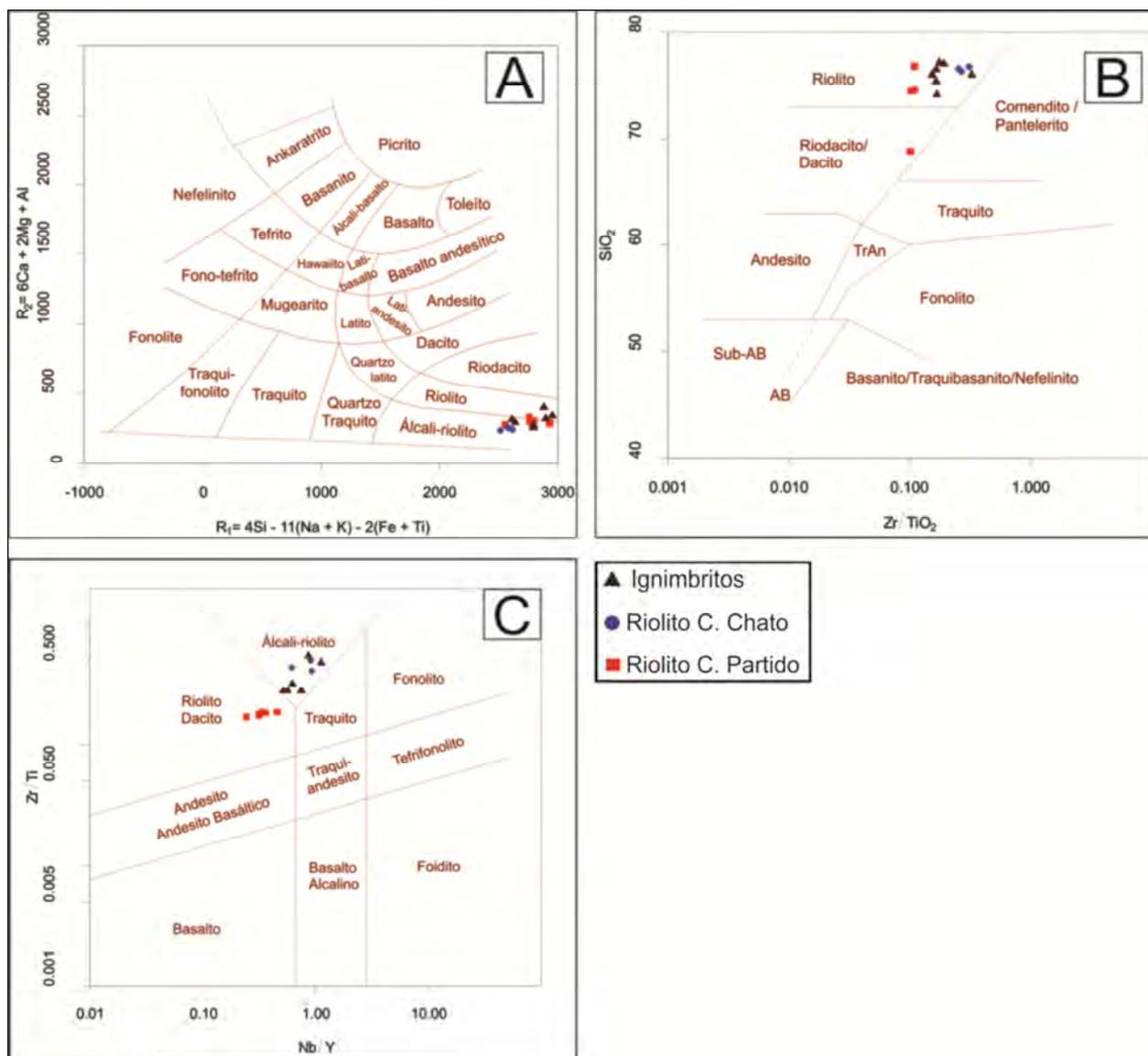


Figura 19 - Diagramas de classificação e afinidade geoquímica; A) Diagrama R1 vs. R2 proposto por De La Roche *et al.*, (1980); B) Diagrama de classificação SiO<sub>2</sub> vs. Zr/TiO<sub>2</sub> proposto por Winchester & Floyd (1977); C) Diagrama de classificação Zr/Ti vs. Nb/Y Pearce (1996).

Nos diagramas binários de Harker é possível verificar dois *trends* evolutivos para os riolitos, um alto-Ti, relacionado ao corpo intrusivo raso do Cerro Partido e outro baixo-Ti, associado aos depósitos efusivos do Cerro Chato. Os depósitos piroclásticos apresentam teores de TiO<sub>2</sub> intermediários, se comparados aos riolitos anteriormente citados.

A utilização dos teores de TiO<sub>2</sub> como índice de diferenciação ao invés da SiO<sub>2</sub> teve como objetivo minimizar o efeito da soma constante comum em sistemas alta-sílica. No diagrama que se refere aos elementos maiores (Fig.20) o MgO, FeO<sub>t</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> apresentam uma correlação positiva com o TiO<sub>2</sub>, já os demais elementos não apresentam um padrão

definido onde possa ser feita alguma correlação. Os riolitos do Cerro Partido além de apresentar alto teor de  $TiO_2$ , apresentam também elevados teores de  $CaO$ ,  $P_2O_5$ ,  $FeOt$ ,  $MgO$  e  $K_2O$  quando comparados com os riolitos do Cerro Chato. O  $Na_2O$  no Cerro Partido encontra-se em menores teores e o  $Al_2O_3$  e o  $SiO_2$  com concentrações semelhantes em ambos corpos riolíticos.

Em relação aos elementos traços (Fig.21), ambos os cerros apresentam médio a altos valores para os elementos Zr, Y, Nb e Rb acompanhado de baixas concentrações de Ba e Sr. Os teores de Ba e Sr apresentam uma correlação positiva com o  $TiO_2$  enquanto que o Nb apresenta uma correlação negativa. A análise dos valores de Ba, Sr e Nb nos permite diferenciar os depósitos riolíticos com valores de Ba e Sr superiores, e valores de Nb inferiores no Cerro Partido se comparados ao Cerro Chato. Os altos teores de para Zr, Nb, Y e Rb, aliados aos baixos teores de Ba e Sr são característicos de magmatismo ácido de afinidade alcalina (Pearce *et al.*, 1984; Whalen *et al.*, 1987; Nardi, 1991).

A natureza potássica deste magmatismo é retratada pela alta razão entre  $K_2O$  e  $Na_2O$ , com valores entre 1,3 e 3,0 (Fig 22). Este comportamento é típico de riolitos shoshoníticos (alcalina-K), porém os baixos teores de Sr (<150 ppm) não permite que as rochas estudadas se encaixem nesse contexto. Tais características, associadas aos valores elevados em álcalis (predominantemente entre 7,5 e 8,5), as razões  $FeOt/FeOt+MgO$  (0,9 a 1,0) e índices aluminos (molar  $Na_2O+K_2O/Al_2O_3$ ) predominantemente superiores a 0,75 (Fig.23), são indicativos de séries alcalinas, saturadas em sílica e metaluminosas, relacionados a granitos tipo-A de ambientes pós-colisionais (Nardi & Bitencourt, 2009). A natureza alcalina do magmatismo é também evidenciada com o uso do diagrama de Sylvester (1989), baseado em razões de elementos maiores (Fig.24) O caráter metaluminoso, anteriormente citado, é corroborado pelo diagrama de Shand (Maniar & Piccoli, 1989), onde as amostras selecionadas ocupam o campo das rochas metaluminosas a peraluminosas (Fig. 25).

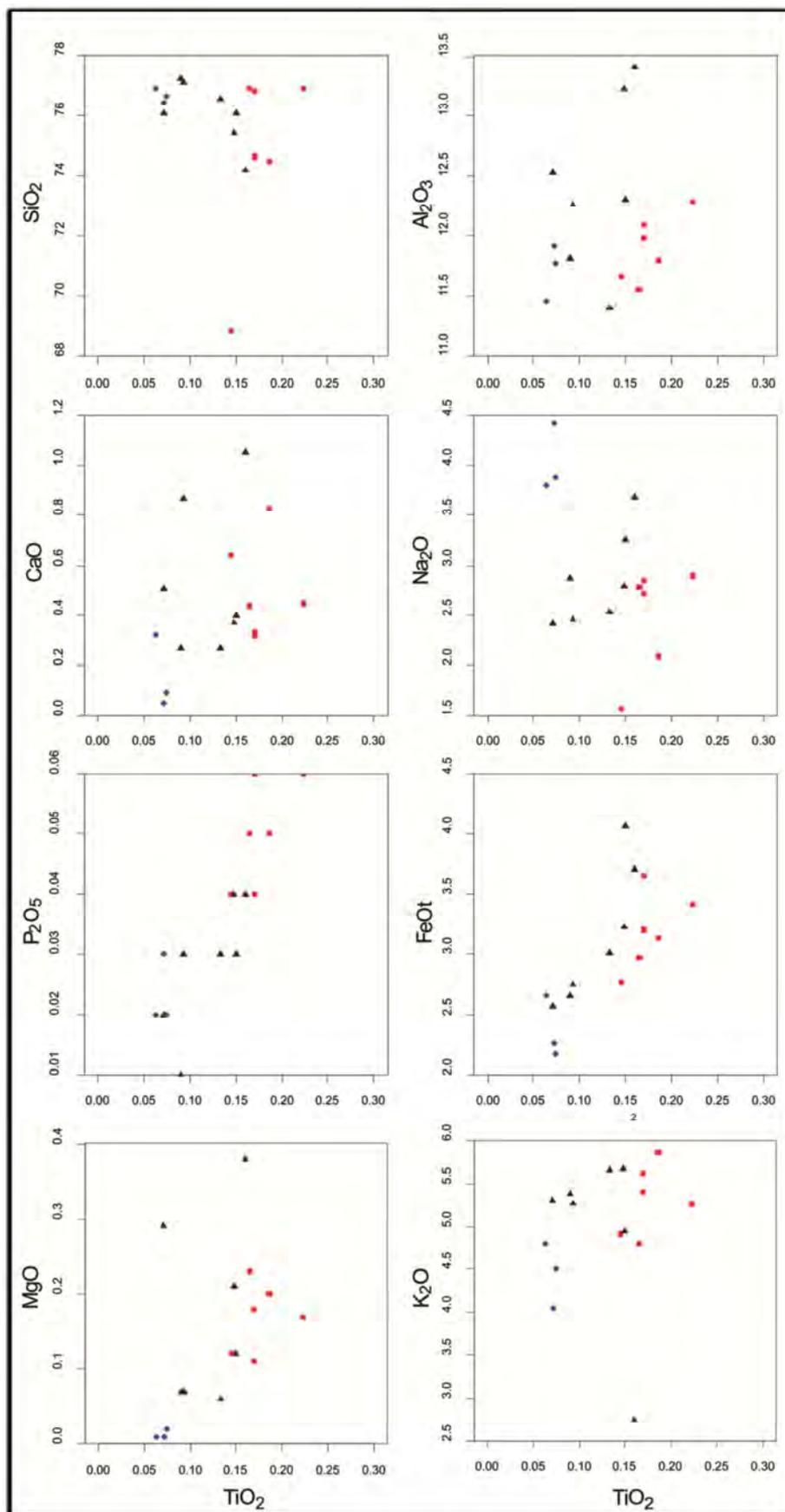


Figura 20 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação dos elementos maiores (wt.%) em função do  $\text{TiO}_2$  (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19.

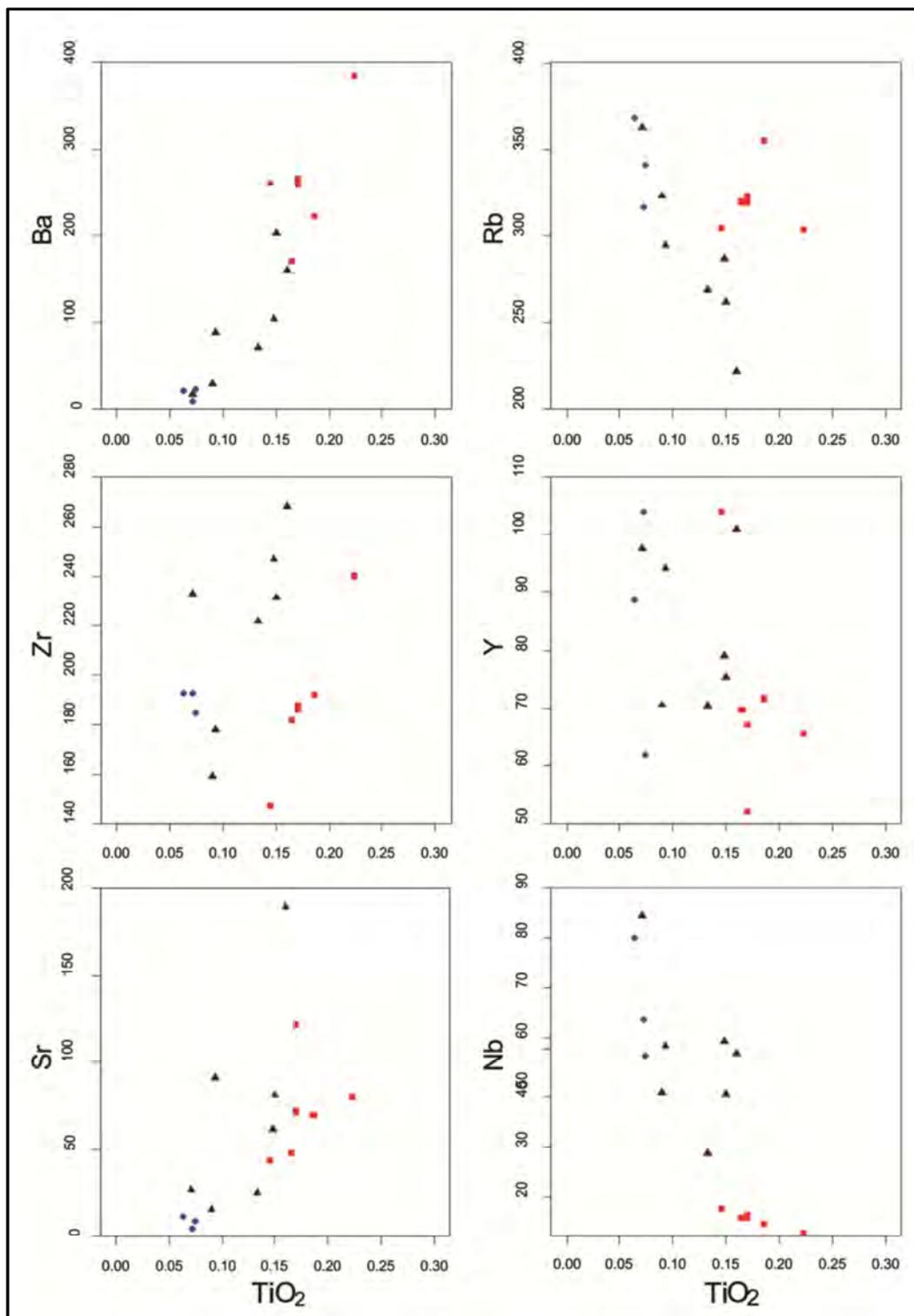


Figura 21 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traços (ppm) em função dos teores de TiO<sub>2</sub> (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19.

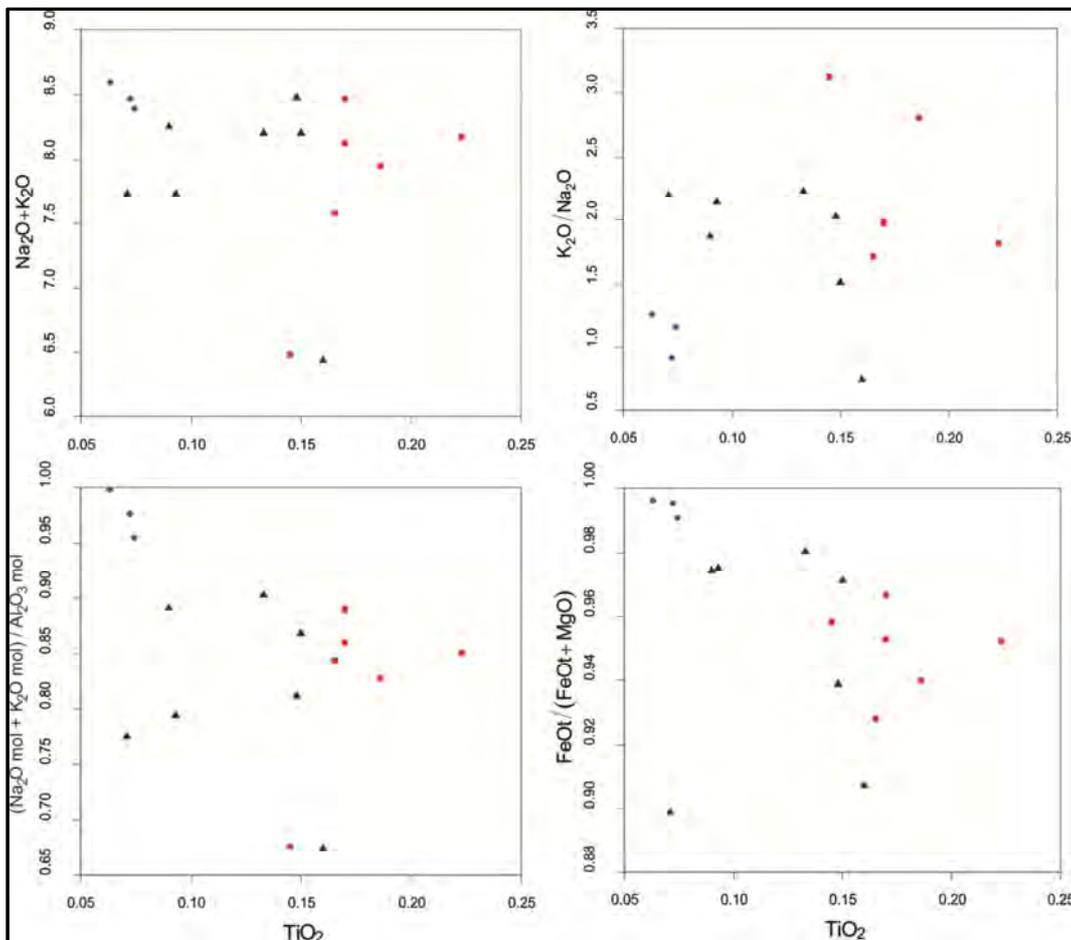


Figura 22 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório  $K_2O+Na_2O$  e razões  $K_2O/Na_2O$ ,  $FeOt/FeOt+MgO$  e índice agpaítico (wt.%) em função do  $TiO_2$  (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19.

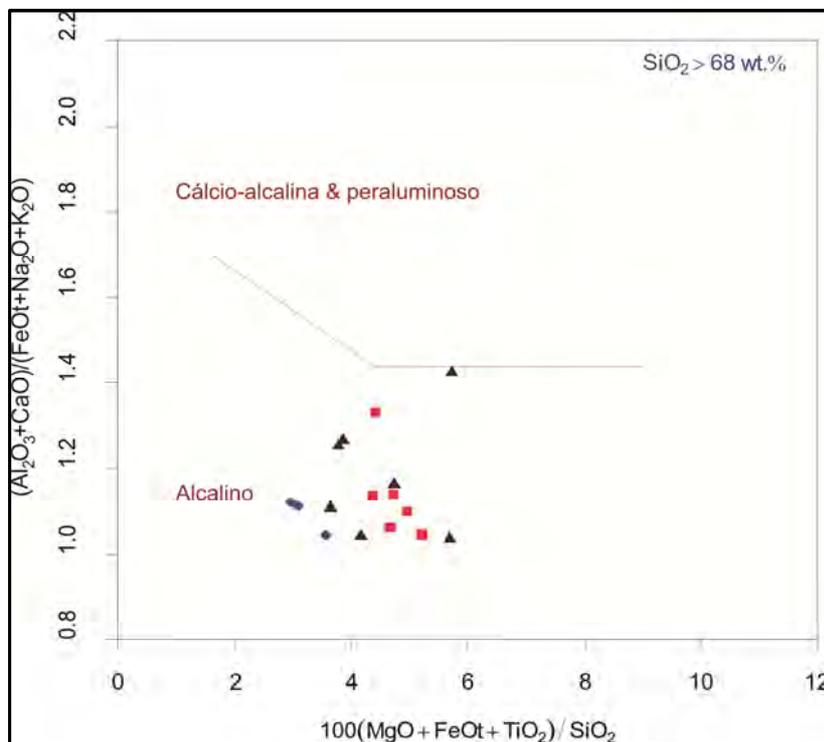


Figura 23 – Diagrama de classificação proposto por Sylvester (1989), evidenciando a natureza alcalina das rochas estudadas. Legenda conforme figuras 18 e 19.

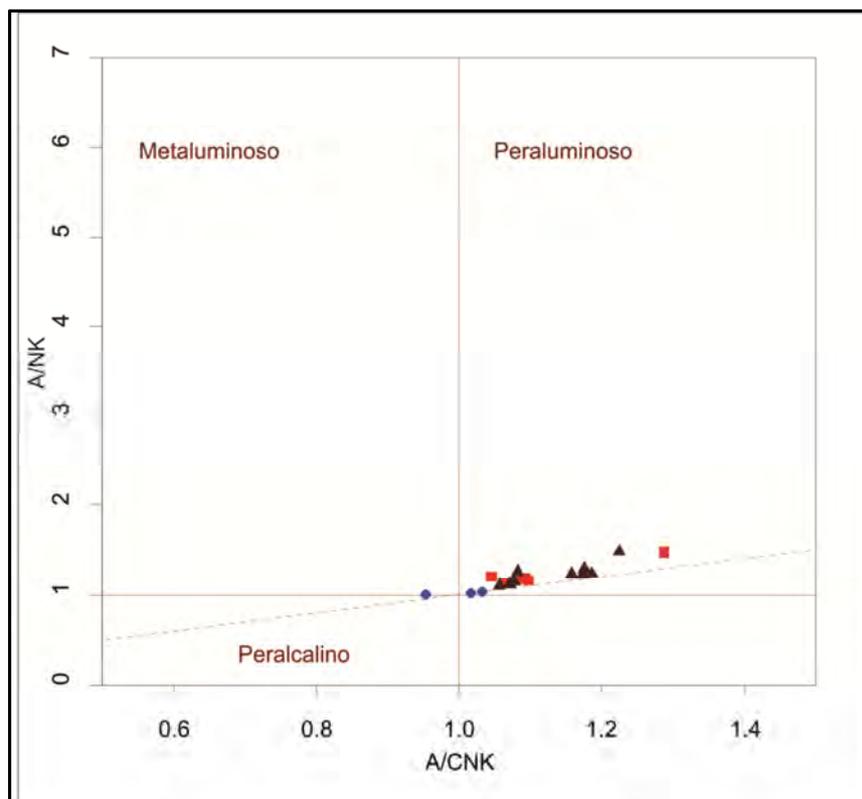


Figura 24 – Diagrama de Shand com as razões molares entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / NaO+K<sub>2</sub>O vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / NaO+K<sub>2</sub>O+CaO, segundo Maniar & Piccoli (1989). Legenda conforme figura 18 e 19.

Na figura 25 visualiza-se o comportamento de alguns elementos traços e ETR normalizados segundo os valores de ORG (Pearce *et al.*, 1984), demonstram um enriquecimento geral nos elementos LILE como o K<sub>2</sub>O, Rb e Th, bem como a tendência a um padrão horizontalizado relacionados aos HFSE (Hf, Zr, SM, Y e Yb). A distinção química dos riolitos (Cerro Chato e Cerro Partido), também pode ser feita através deste diagrama, onde é possível perceber, uma forte anomalia de Ba marcada principalmente pelas amostras do Cerro Chato com valores muito inferiores se comparados com o Cerro Partido. Outros elementos passíveis de distinção são o Ta, Nb e Ce, onde os dois primeiros apresentam maiores concentrações no Cerro Chato, e no último este padrão inverte-se estando o Ce em maiores concentrações nas amostras do Cerro Partido. O enriquecimento de K<sub>2</sub>O e Rb em relação ao Nb sugere que estas rochas possam ser derivadas de uma fonte mantélica enriquecida em elementos incompatíveis por um processo de contaminação crustal. Esta participação crustal fica evidente quando as amostras são normalizadas segundo a crosta continental (Taylor & McLennan 1995), onde se constata valores levemente superiores a unidade, com exceção do Ba, Sr e Ti que mostram anomalias negativas e mais acentuadas nos vulcanitos do Cerro Chato (Fig.26).

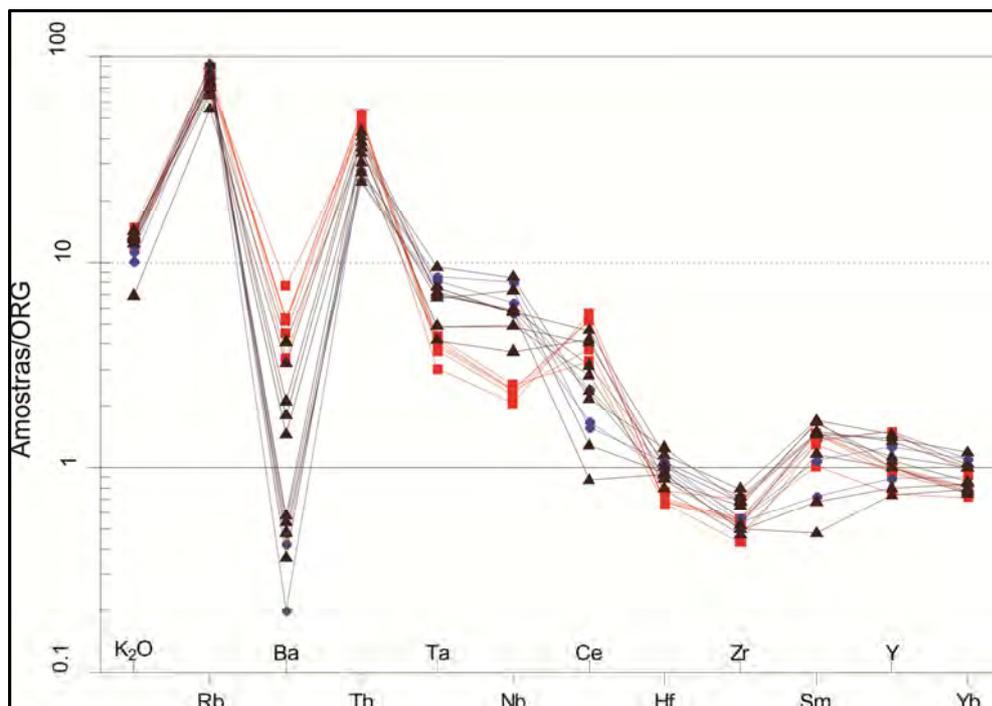


Figura 25 – Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, segundo Pearce *et al.*, (1984).

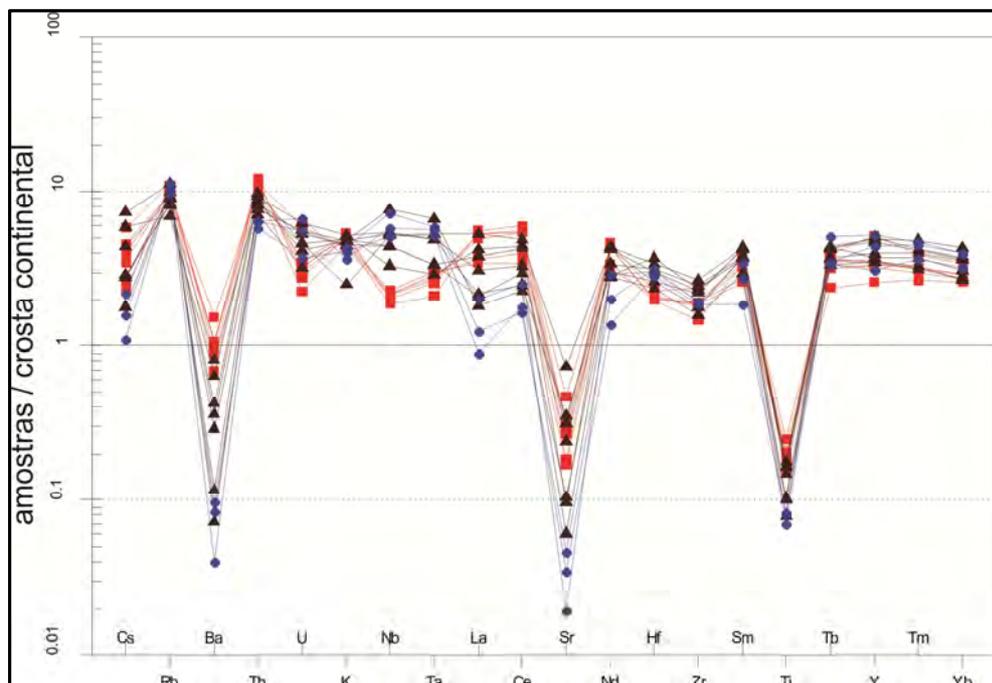


Figura 26 – Diagrama multielementar normalizado pela crosta continental, segundo Pearce *et al.*, (1984).

A razão Th/Ta pode indicar processos relacionados a interação crosta-manto e segundo alguns autores (e.g. Shellnut et al. 2009), rochas de origem mantélica deveriam ter razões próximas a 2,0, enquanto que para as rochas derivadas de mecanismos relacionados a fusão/contaminação crustal, os valores esperados para Th/Ta seriam  $\geq 6,9$ . Para as rochas riolíticas da região do Cerro Chato, observa-se um comportamento distinto entre as unidades estudadas (Fig. 27). Os riolitos do Cerro Partido caracterizam-se por apresentar valores muito altos ( $> 11$ ) da razão Th/Ta, indicando uma origem provavelmente relacionada a fusão crustal. Por outro lado, as rochas vulcânicas do Cerro Chato mostram um comportamento distinto. Os ignimbritos apresentam razões Th/Ta entre 4 e 8, enquanto que os riolitos valores próximos a 4. Este comportamento pode sugerir uma origem a partir de fontes mantélicos modificados por processos de assimilação/contaminação crustal.

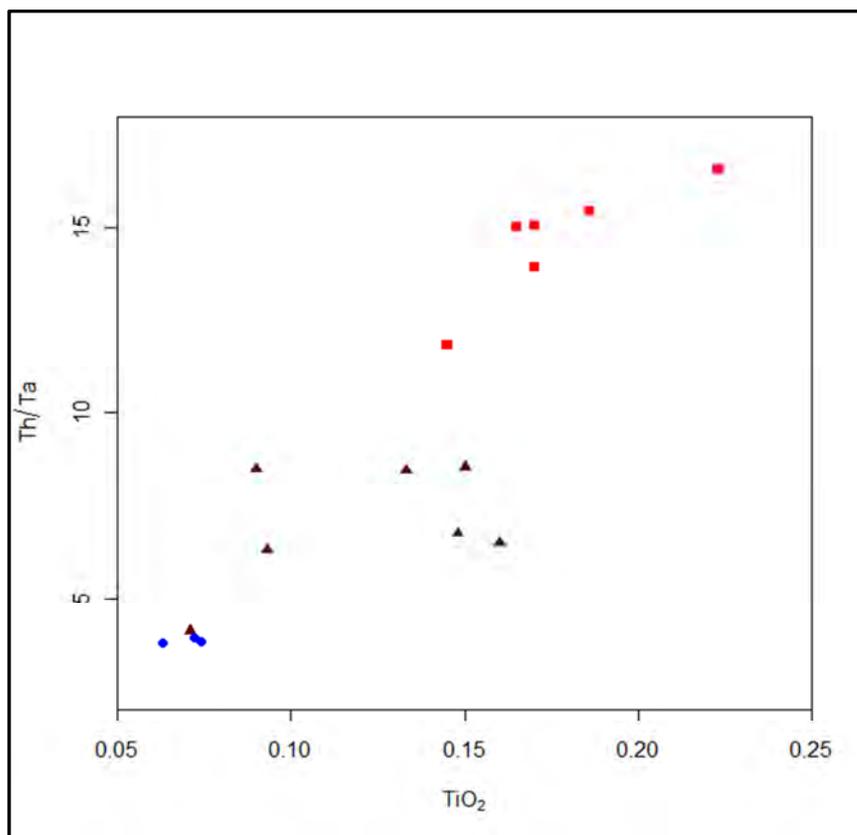


Figura 27 - Diagrama binário demonstrando a variação da razão Th/Ta (ppm) em função do  $\text{TiO}_2$  (wt.%). Legenda conforme figuras 18 e 19.

Eby (1990, 1992) sugere que a razão Y/Nb, poderia também indicar a fonte principal do magmatismo. Segundo este autor, magmas derivados de fontes mantélicas possuiriam razões Y/Nb < 1,2, enquanto aqueles de origem crustal as razões seriam > 1,2. Por este critério, todas as rochas da região estudada possuem uma contribuição crustal, confirmando o discutido anteriormente. Por estes dados fica também evidente a maior contribuição crustal na geração dos riolitos do Cerro Partido, quando comparados com o Cerro Chato (Fig.28).

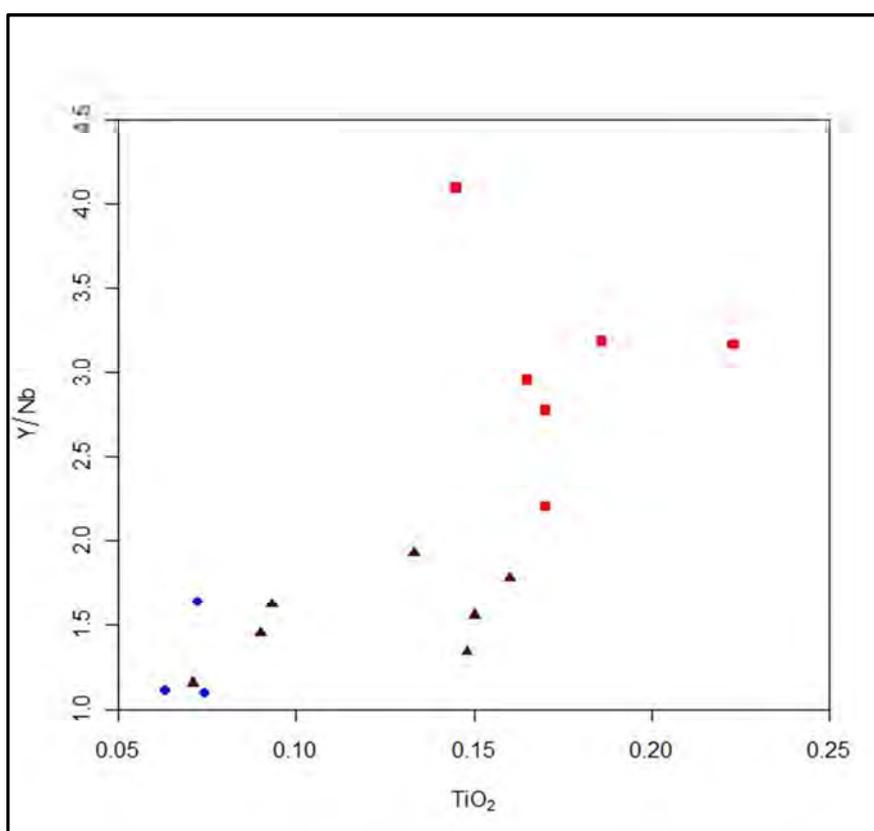


Figura 28 - Diagrama binário demonstrando a variação da razão Y/Nb (ppm) em função do TiO<sub>2</sub> (wt.%).Legenda conforme figuras 18 e 19.

Os padrões de elementos terras raras (ETR) quando normalizados pelo condrito (Nakamura, 1974) podem ser visualizados na figura 29. Em geral, as rochas estudadas apresentam uma concentração moderada a elevada destes elementos ( $\Sigma_{ETR} = 151 - 440$  ppm) e são caracterizados por um leve enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP. Este comportamento é característico de magmas riolíticos alcalinos metaluminosos. O fracionamento entre ETRL e ETRP é baixo nas amostras dos riolitos do Cerro Chato com uma razão  $La_N/Yb_N$  variando entre 1,5 e

2,5. Através desta normalização em relação ao condrito (Nakamura, 1974), é possível distinguir quimicamente os riolitos do Cerro Chato dos riolitos do Cerro Partido. As amostras do Cerro Partido ( $La_N/Sm_N = 2,87 - 4,20$ ) tem concentração mais elevadas de ETRL em relação as amostras do Cerro Chato ( $La_N/Sm_N = 1,26 - 3,42$ ), fato que se inverte em relação aos ETRP, porém não de maneira tão acentuada ( $Tb_N/Lu_N$  - Cerro Partido =  $1,15-1,40$ ; - Cerro Chato =  $1,55-1,65$ ). Todas as amostras apresentam uma forte anomalia negativa em Eu ( $Eu/Eu^* = 0,0 - 0,18$ ), ocorrendo de maneira mais expressiva nas amostras do Cerro Chato. Esta anomalia provavelmente está relacionada ao caráter bivalente deste elemento e o fracionamento de feldspatos, principalmente dos plagioclásios.

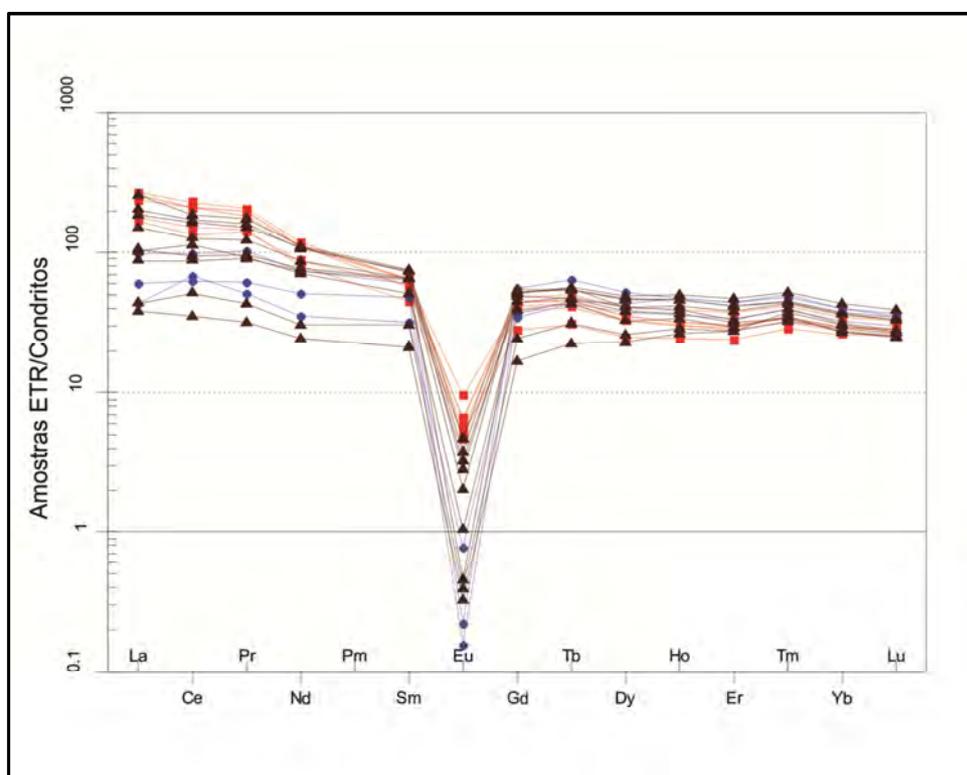


Figura 29 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas em diagrama multielementar quando normalizado pelo padrão condritico (Nakamura, 1974). Legenda conforme figuras 18 e 19.

Nos diagramas discriminantes de ambiente tectônico de Pearce *et al.*, (1984) que utilizam razões entre elementos traços ( $Y+Nb$  vs.  $Rb$ ;  $Y$  vs.  $Nb$ ), as amostras ocupam o campo relacionado a ambientes pós-colisionais (Fig.30), e por serem rochas mais diferenciadas, com valores de  $Nb$  e  $Y$  relativamente elevados,

as amostras relacionadas ao Cerro Chato (ignimbritos e riolitos) apresentam uma tendência afinidade com rochas de ambiente intra-placa (WPG).

Nos diagramas de classificação de granitóides de Whalen *et al.*, (1987), as amostras ocupam o campo dos granitos do tipo "A" (Fig. 31), o qual para o autor representam granitos alcalinos e anorogênicos. Esta classificação é confirmada pelos valores de  $(10^4 \text{Ga})/\text{Al} > 2.6$ ,  $\text{Ce} + \text{Y} + \text{Nb} + \text{Zr} > 400$  ppm e  $\text{FeOt}/\text{FeOt} + \text{MgO} > 0,9$ , como sugerido por Nardi e Bitencourt (2009) para magmatismo granítico do tipo "A" no sul do Brasil.

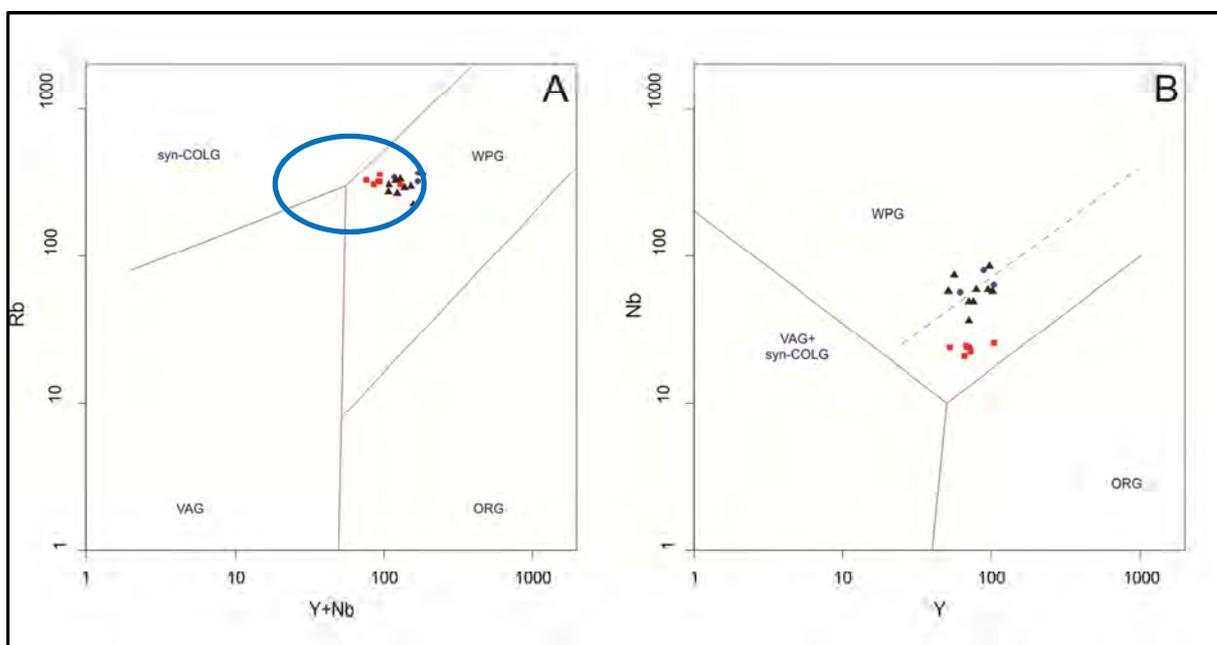


Figura 30 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos segundo Pearce *et al.* (1987). A) Diagrama Rb vs. Y+Nb, o círculo azul representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda conforme figuras 18 e 19.

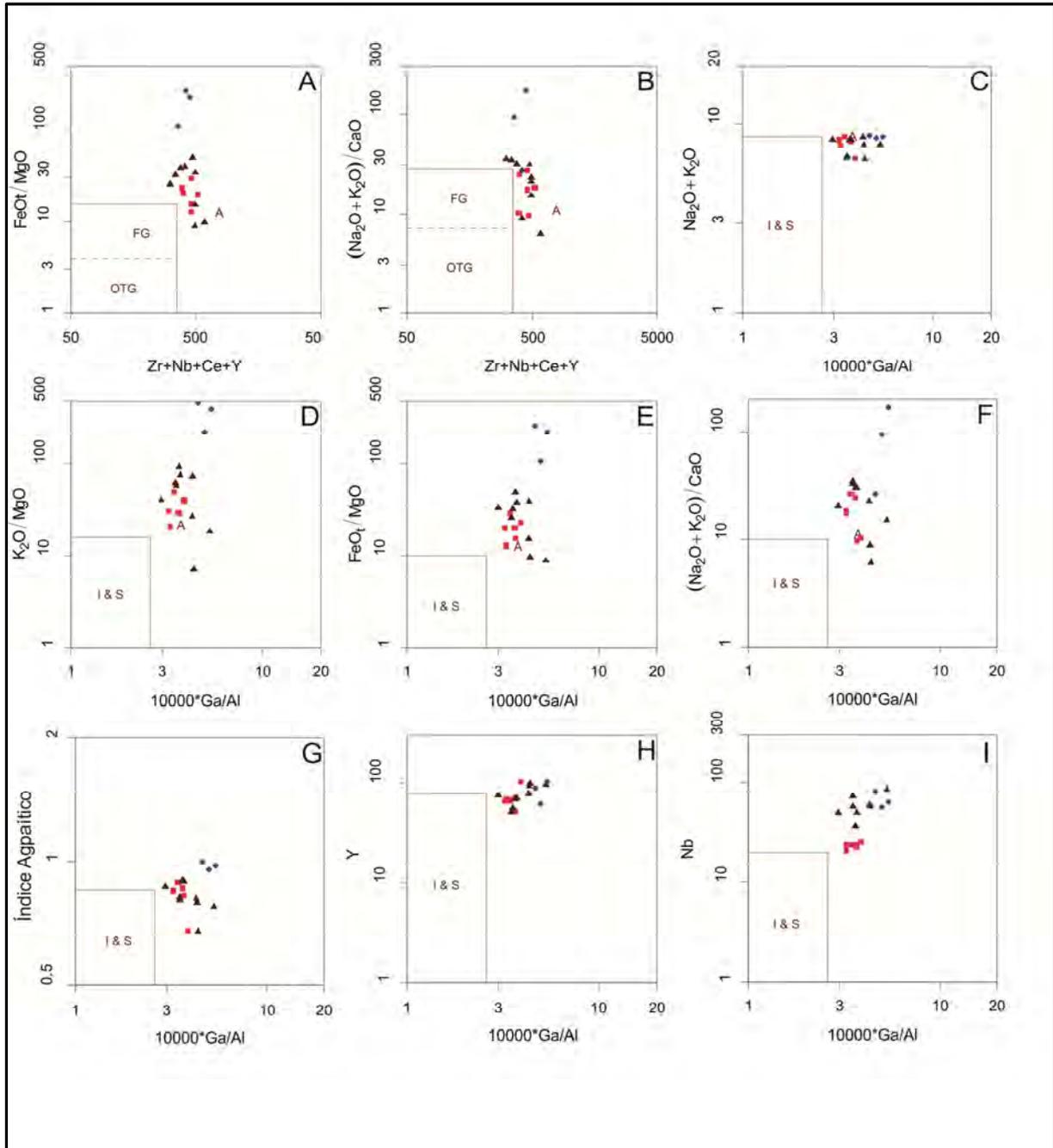


Figura 31 – Diagramas de classificação de granitóides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen *et al.*, (1987): A)  $FeOt/MgO$  vs.  $Zr+Nb+Ce+Y$ ; B)  $(Na_2O+K_2O)/CaO$  vs.  $Zr+Nb+Ce+Y$ ; C)  $Na_2O+K_2O$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; D)  $K_2O/MgO$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; E)  $FeOt/MgO$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; F)  $(Na_2O+K_2O)/CaO$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; G) IAGP vs.  $10000*Ga/Al$ ; H) Y vs.  $10000*Ga/Al$ ; I) Nb vs.  $10000*Ga/Al$ . Legenda conforme figuras 18 e 19.

#### 4.4 CORRELAÇÃO COM O MAGMATISMO GRANÍTICO DO BATÓLITO PELOTAS.

Com o intuito de estabelecer a correlação geoquímica das rochas riolíticas da região do Cerro Chato com as litologias associadas ao magmatismo ácido tardio do Batólito Pelotas, foram selecionadas amostras representativas de rochas graníticas mais diferenciadas, vinculados à Suíte Dom Feliciano (Philipp *et al.*, 2007), riolitos associados ao Enxame de Diques Piratini (Zanon *et al.*, 2005) e riolitos associados ao Cerro Ana Dias (Oliveira, 2012).

Nos diagramas TAS (Le Bas *et al.*, 1986) e R1-R2 (De la Roche *et al.*, 1980), percebe-se que o comportamento dos granitóides mais diferenciados da Suíte Dom Feliciano e dos riolitos do Cerro Ana Dias é muito similar com o *trend* formado pelas rochas da região do Cerro Chato, predominando amostras plotadas no campo dos riolitos e álcali-riolitos. As amostras do Enxame de Diques Piratini, quando plotadas nesses diagramas apresenta uma leve variação tendendo de termos riolíticos a termos de composição mais traquítica (Fig. 32).

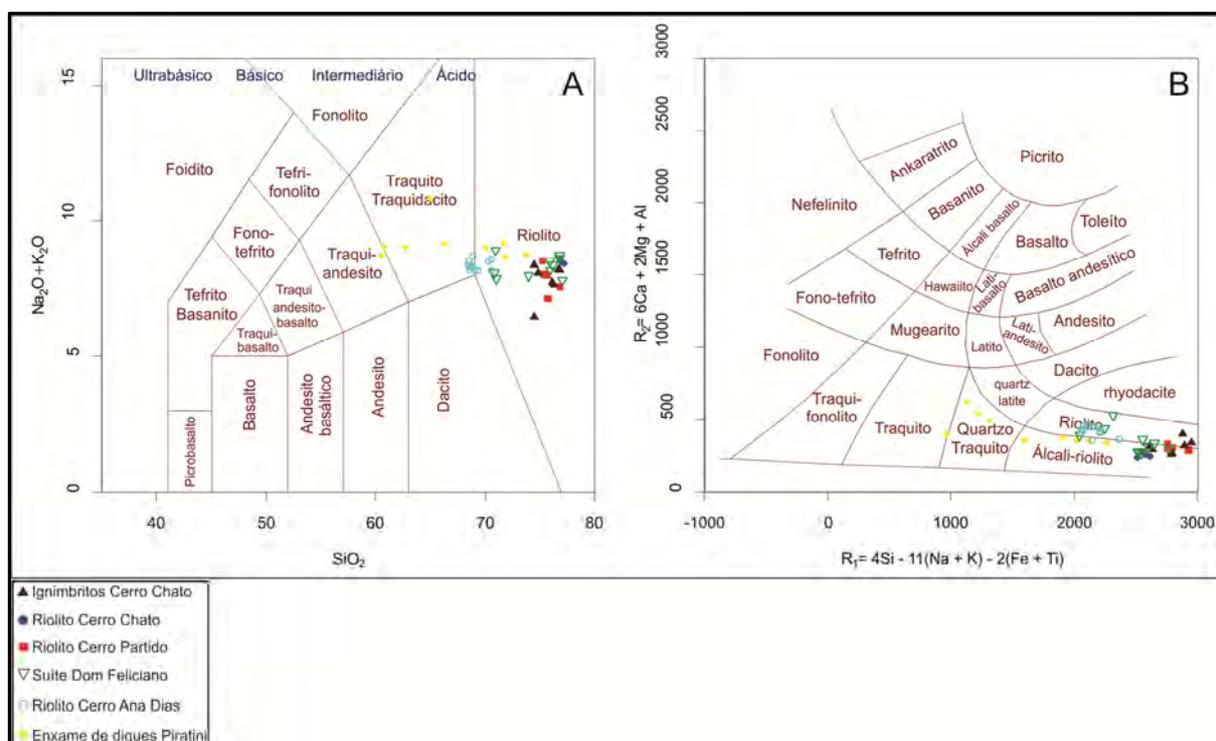


Figura 32 – A) Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas segundo razão Álcalis vs. Sílica, segundo Le Bas *et al.*, (1986). B) Diagrama R1-R2 como proposto por De La Roche *et al.*, (1980).

Observa-se uma tendência das rochas pertencentes ao Enxame de Diques Piratini a apresentar uma alcalinidade mais acentuada, tendendo para termos peralcalinos, como evidenciados nas figuras 33A e 33B, onde as amostras são plotadas nos diagramas propostos por Winchester & Floyd (1977). Nesses diagramas que levam em consideração a razão entre elementos maiores e traços, os riolitos de Piratini perfazem um *trend* paralelo às demais rochas ocupando o campo das rochas comendíticas/panteleríticas, a exceção de algumas amostras dos riolitos do Cerro Chato que também ocupam o campo das rochas mais peralcalinas como pode ser visto na figura 33B.

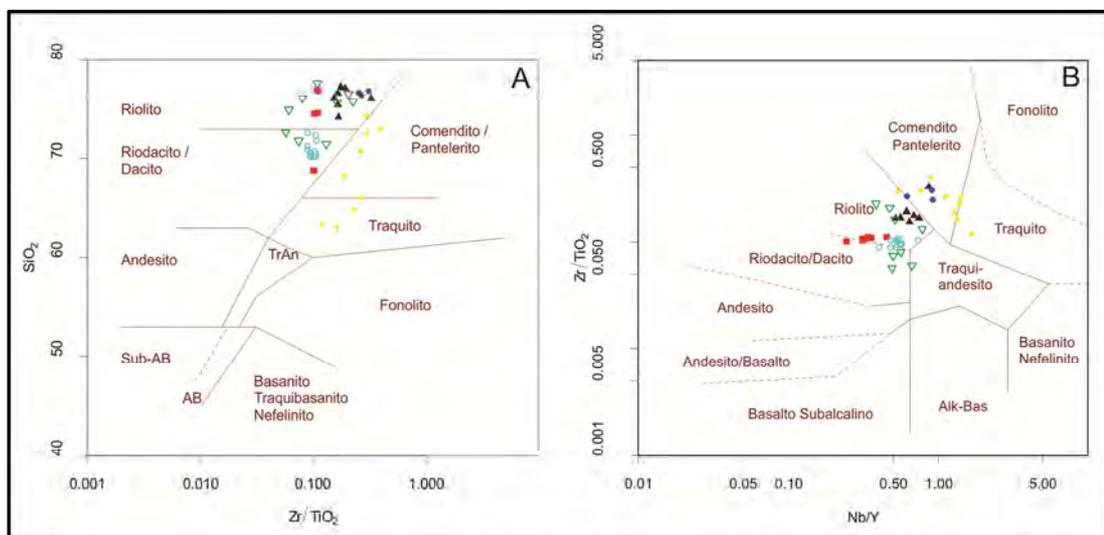


Figura 33 – Diagramas de classificação como proposto por Winchester & Floyd (1977). A)  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$ ; B)  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  vs.  $\text{Nb}/\text{Y}$ . Legenda como a da figura 32.

Elevados teores de álcalis são apresentados por todas as associações litológicas, com predomínio de valores superiores a 7,5, porém os maiores valores estão relacionados aos riolitos pertencentes ao Enxame de Diques Piratini, com valores iguais ou superiores a 9 dominantes (Fig.34). O magmatismo referente a estas rochas possuem um caráter mais sódico, o que é comprovado pelas baixas razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ , no qual os valores situam-se próximo de 1, semelhante ao que ocorrem com as rochas granitóides da Suíte Dom Feliciano e com os riolitos do Cerro Chato (Fig.34). Ao comparar os valores de índices agpaíticos dos diferentes sistemas analisados, percebe-se que as amostras apresentam valores entre 0,75 e

0,95, a exceção das amostras dos riolitos do Cerro Chato que apresentam valores mais elevados, porém não ultrapassando a unidade, o que seria típico para rochas alcalinas. AS razões  $\text{FeO}t/\text{FeO}t+\text{MgO}$  são elevadas para todas associações, contudo os maiores valores são representados nas rochas da região dos Diques Piratini, o que é típico de magmatismo alcalino, o que ratifica as informações obtidas através dos diagramas de classificação de Winchester & Floyd,1977 (Fig.33).

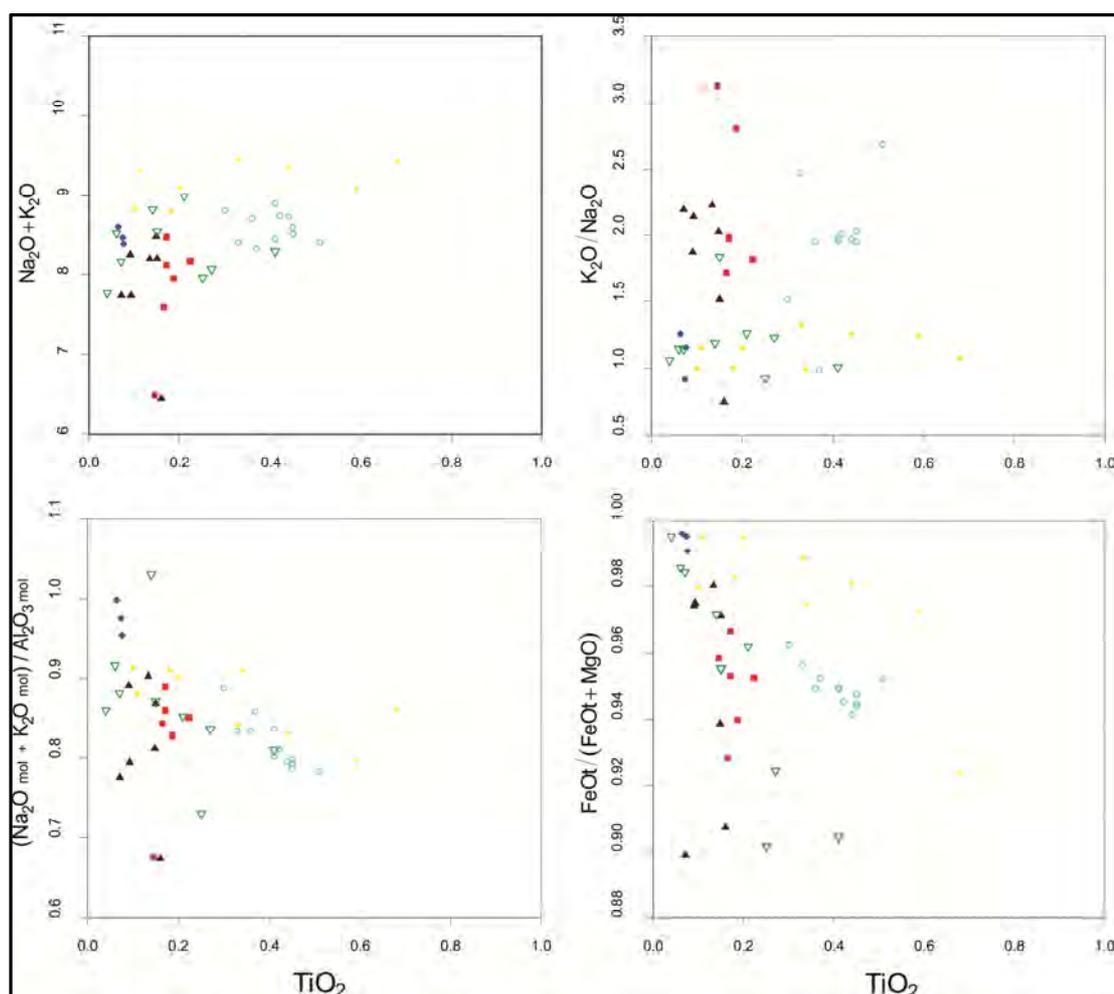


Figura 34 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação do somatório  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  e razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{FeOt}/\text{FeOt}+\text{MgO}$  e índice apaitico (wt.%) em função do  $\text{TiO}_2$ . Legenda como a da figura 32.

Em diagramas binários de Harker, tendo o  $\text{TiO}_2$  foi utilizado como índice de diferenciação para minimizar o efeito da soma constante comum em sistemas alta-sílica, o  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e o  $\text{CaO}$  apresentam uma correlação positiva com o  $\text{TiO}_2$  levando em consideração todas associações petrológicas (Fig.35). O  $\text{SiO}_2$  foi o único elemento maior que demonstra uma correlação negativa com o  $\text{TiO}_2$  o que demonstra a incompatibilidade do titânio com este tipo de magmatismo. Apenas observando os teores de  $\text{TiO}_2$ , é possível distinguir dois grupos de litologias tendo como base os dados revelados pelas análises químicas: sistemas Alto-Ti onde se encaixam Cerro Ana Dias e Diques Piratini, com valores entre 0,3 e 0,65, e sistemas baixo-Ti, englobando as amostras da região do Cerro Chato e Suíte Dom Feliciano que abrangem valores entre 0,05 e 0,35 predominantemente (Fig. 35). *Trends* evolutivos similares das litologias da região do Cerro Chato e dos granitóides da Suíte Dom Feliciano são perceptíveis, principalmente quando analisamos os elementos  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{CaO}$ , que são em geral mais empobrecidos quando comparados aos demais sistemas riolíticos, e apresentam uma correlação positiva desses elementos com o  $\text{TiO}_2$ . Em relação ao  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , notam-se os valores mais baixos nas amostras da região do Cerro Chato se comparados aos demais sistemas analisados, o que se inverte quando analisamos os teores de  $\text{SiO}_2$ .

Em relação aos elementos traços, observa-se um comportamento muito semelhante ao observado nos diagramas de elementos maiores. As rochas riolíticas da região do Cerro Chato e os granitos da Suíte Dom Feliciano apresentam valores e *trends* muito semelhantes. As rochas do enxame de Diques Piratini por sua vez possui um leve empobrecimento em Ba, Rb e Sr, e enriquecimento em Zr, Y e Nb o que corrobora a tendência alcalina desta unidade (Fig.36). Valores elevados nos teores de Zr, Nb Y e o enriquecimento em Rb, somados com os baixos teores de Ba e Sr, são típicos de magmatismo ácido de afinidade alcalina (Pearce *et al.*, 1984; Whalen *et al.*, 1987; Nardi, 1991).

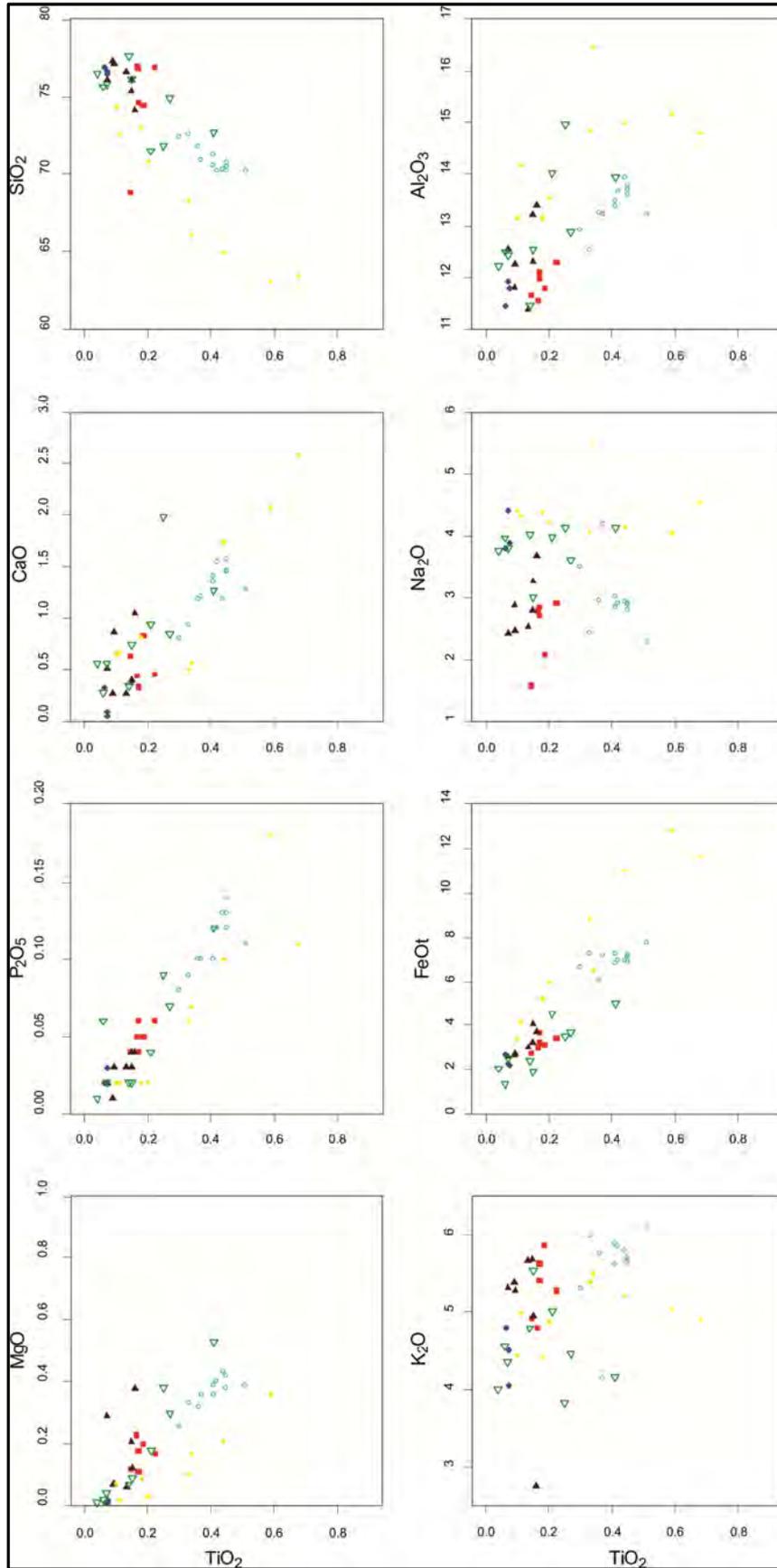


Figura 35 – Diagramas de Harker de variação dos elementos maiores (wt.%) em função do  $\text{TiO}_2$  (wt.%). Legenda como a da figura 32.

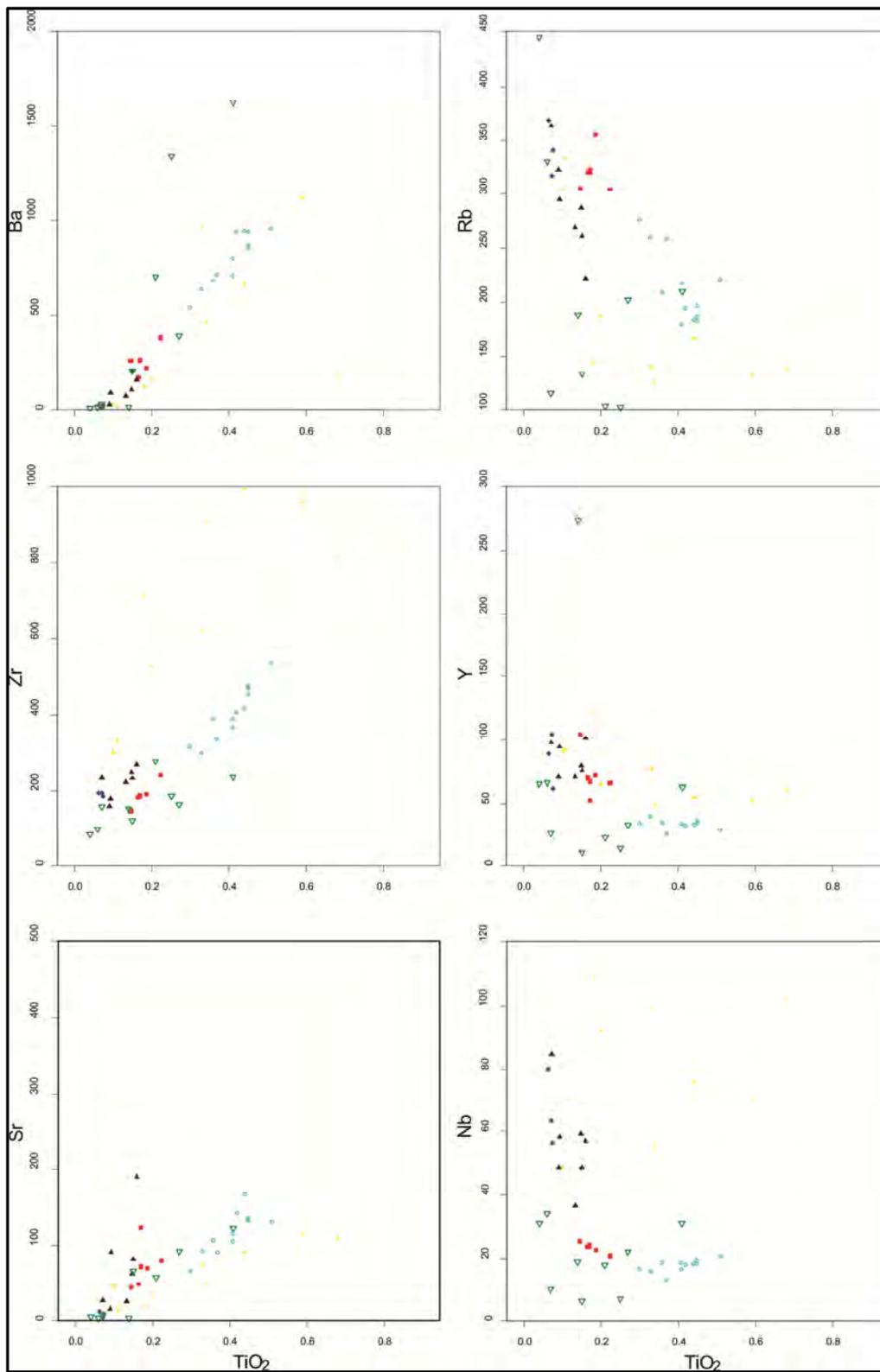


Figura 36 – Diagramas binários de Harker mostrando a variação de elementos traço (ppm) com os teores de  $\text{SiO}_2$  (wt.%). Legenda como a da figura 32.

O comportamento de alguns elementos traços e terras raras das rochas riolíticas da região do Cerro Chato e das demais unidades analisadas, quando normalizados segundo os padrões do ORG (*Ocean Ridge Granites*) proposto por Pearce *et al.* (1984), é apresentado no diagrama multielementar da figura 37. O padrão apresentado é grosseiramente semelhante para todas as rochas analisadas. Percebe-se um enriquecimento global em elementos mais incompatíveis (LILE), como evidenciado pela variação entre os valores normalizados do Yb para o  $K_2O$ , bem como um padrão mais horizontalizado em relação aos HFSE. Pontualmente, destacam-se a anomalia negativa em Ba e o leve enriquecimento em Ce e Nb em relação aos elementos adjacentes. Estas características, aliadas a um enriquecimento de Rb e  $K_2O$  em relação ao Nb, são comuns em associações derivadas de fonte mantélica com significativa participação crustal. O maior enriquecimento em HFSE, observado nas amostras do enxame de diques Piratini, é característico sistemas alcalinos sódicos, com tendências peralcalinas.

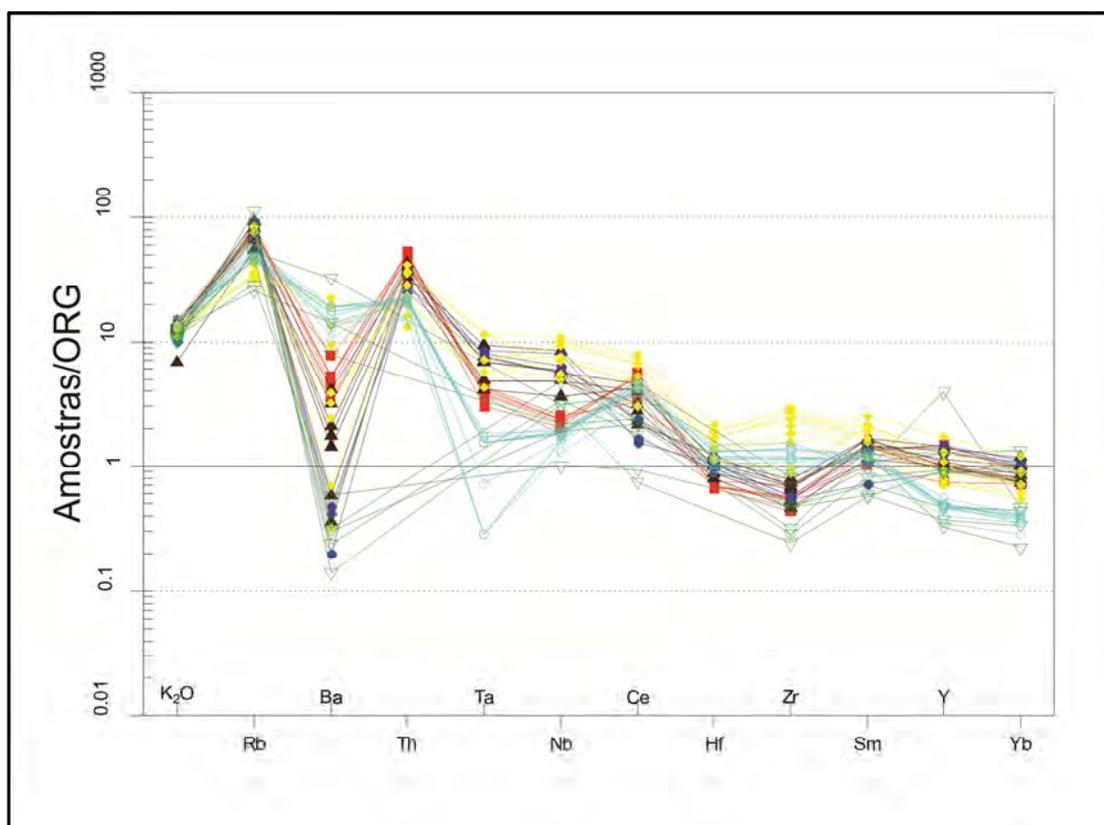


Figura 37—Diagrama multielementar normalizado pelo ORG, Segundo Pearce *et al.* (1984). Legenda como a da figura 32.

Os padrões de elementos terras raras (ETR) quando normalizados pelo condrito (Nakamura, 1974) são visualizados na figura 38. Neste diagrama multielementar, percebe-se também um padrão muito similar para todas as rochas ácidas diferenciadas, com leve enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP e uma acentuada anomalia de Eu, com destaque par as amostras da região do Cerro Chato que apresenta os menores valores deste elemento, em relação a todos sistemas riolíticos analisados. Este padrão é característico de associações alcalinas sódicas e de ambientes pós-orogênicos a pós-colisionais. Assim como mostrado no diagrama multielementar normalizado pelo ORG, exibido anteriormente na figura 37, percebe-se o maior enriquecimento em ETR nas rochas riolíticas dos diques Piratini, principalmente os ERTL, o que caracteriza magmas alcalinos com tendências peralcalinas.

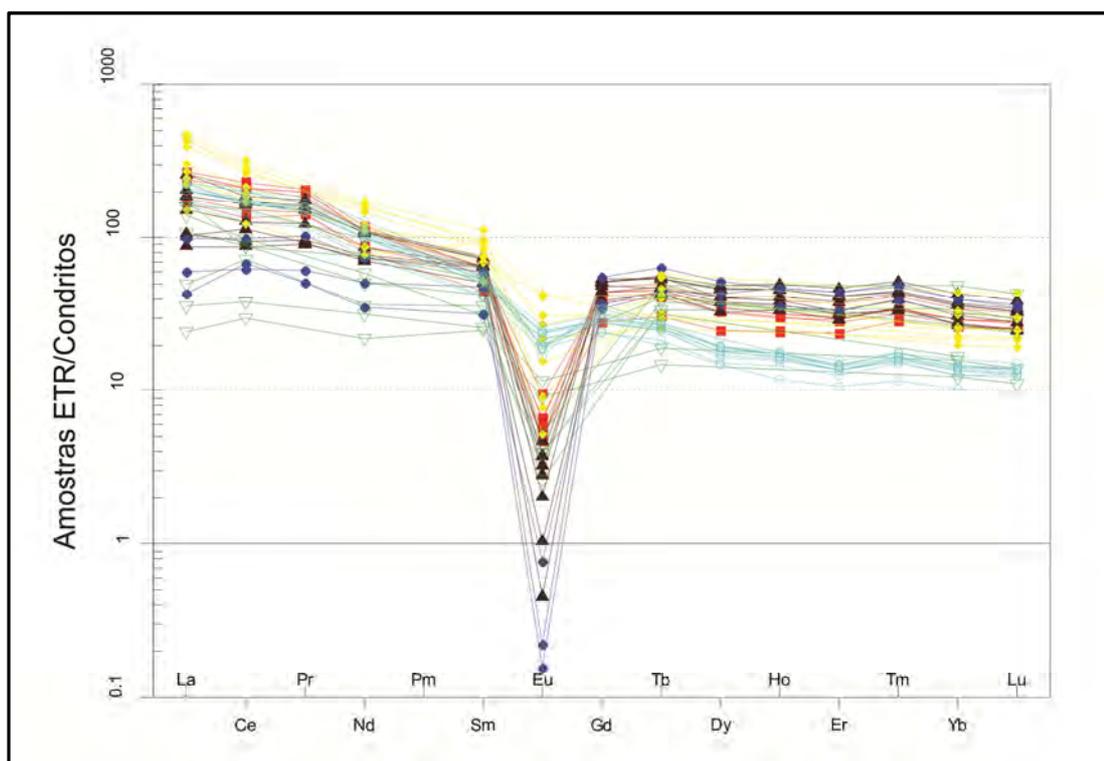


Figura 38 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras das rochas riolíticas normalizadas pelo condrito padrão (Nakamura, 1974). Legenda como a da figura 32.

Nos diagramas discriminantes de ambientes tectônicos de Pearce *et al.*, (1984), que utilizam as relações Rb vs. Y+Nb e Nb vs. Y, as amostras ocupam o campo que representa ambientes pós-colisionais tendendo ao campo dos ambientes intraplaca, principalmente para as rochas fortemente alcalinas pertencentes ao enxame de diques Piratini (Fig. 39). Ao analisarmos os diagramas de classificação de granitóides, proposto por Whalen *et al.*, (1987), as amostras demonstram-se compatíveis com os granitos do tipo “A”, ocupando o campo dos mesmos (Fig. 40). Tal classificação é corroborada pelos valores de  $(10^4 \text{Ga})/\text{Al} > 2,5$ ,  $\text{Ce}+\text{Y}+\text{Nb}+\text{Zr} > 400$  ppm e  $\text{FeO}t/\text{FeO}+ \text{MgO} > 0,9$ , como proposto por Nardi & Bitencourt (2009) para o magmatismo granítico do tipo “A” no sul do Brasil.

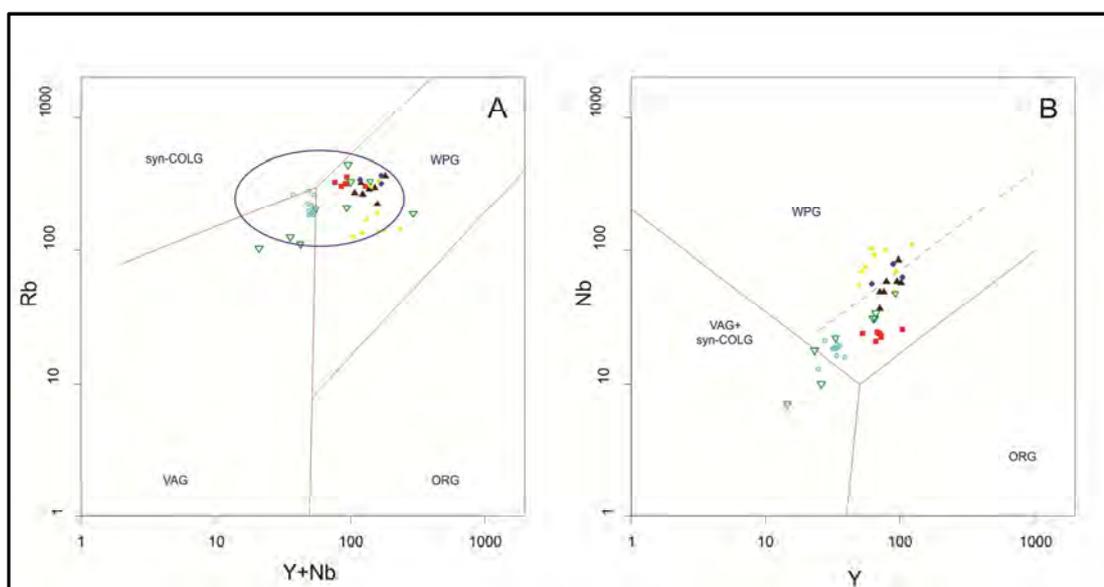


Figura 39 – Diagramas discriminantes de ambientes tectônico segundo Pearce *et al.* (1987). A) Diagrama Rb vs. Y+Nb, o círculo azul representa o campo do magmatismo pós-colisional sugerido por Pearce (1996); B) Diagrama Nb vs. Y. Legenda como a da figura 32.

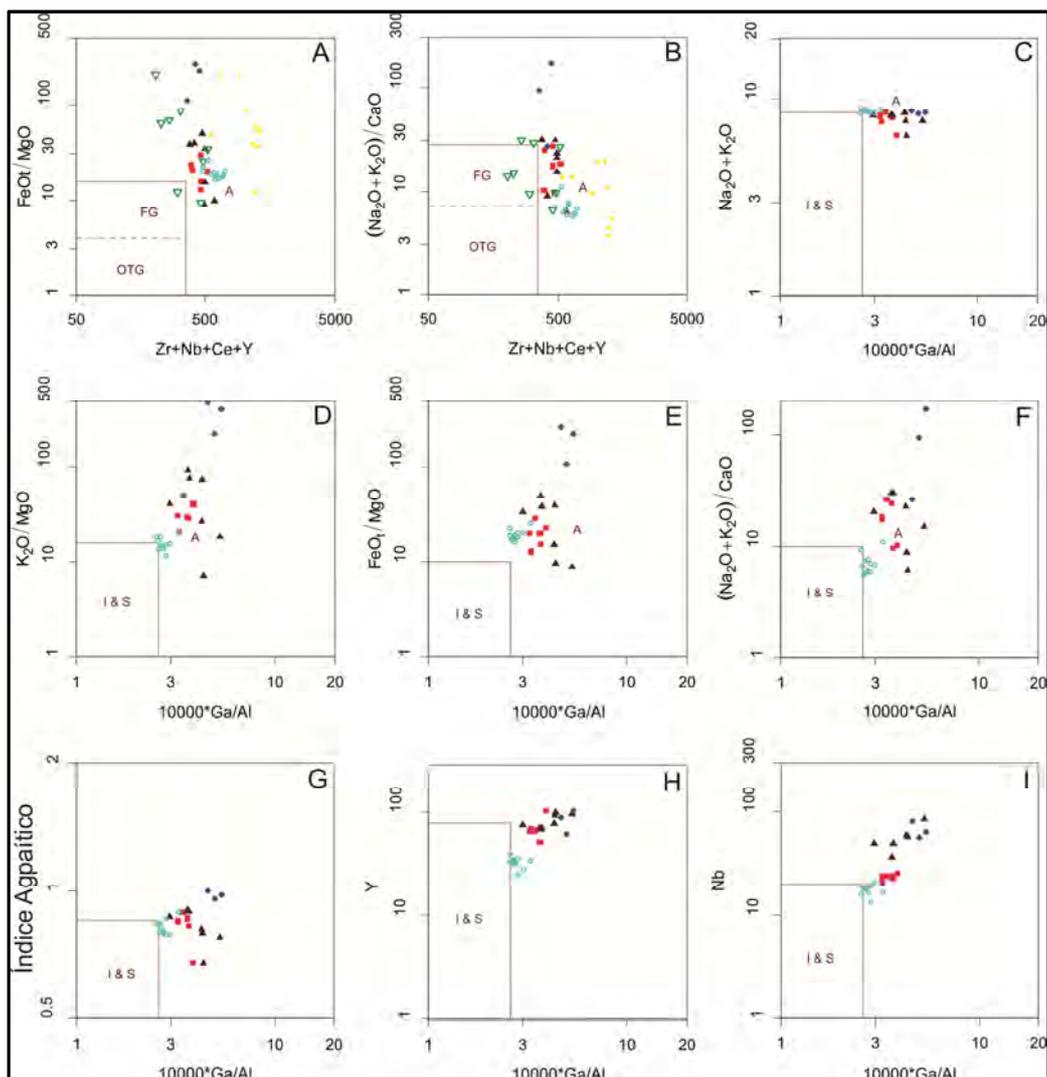


Figura 40 - Figura 41 - Diagramas de classificação de granitóides e discriminantes de ambientes tectônicos segundo Whalen *et al.*, (1987): A)  $FeOt/MgO$  vs.  $Zr+Nb+Ce+Y$ ; B)  $(Na_2O+K_2O)/CaO$  vs.  $Zr+Nb+Ce+Y$ ; C)  $Na_2O+K_2O$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; D)  $K_2O/MgO$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; E)  $FeOt/MgO$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; F)  $(Na_2O+K_2O)/CaO$  vs.  $10000*Ga/Al$ ; G) Índice Agpaítico vs.  $10000*Ga/Al$ ; H) Y vs.  $10000*Ga/Al$ ; I) Nb vs.  $10000*Ga/Al$ . Legenda como a da figura 32.

## 5. DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região do Cerro Chato está localizada no extremo sul do RS e é constituída por associações de rochas vulcânicas efusivas, piroclásticas e subvulcânicas de composição ácida. Tais litologias vulcânicas e subvulcânicas podem ser agrupadas em duas feições morfológicamente distintas, ambas afetadas por falhas NW e NE: Cerro Chato e Cerro Partido.

O Cerro Chato, localizado na porção oriental da área de estudo, é caracterizado por apresentar formas dômicas e é constituído por uma sucessão de depósitos piroclásticos seguidos por depósitos efusivos, ambos de composição riolítica. OS depósitos piroclásticos são classificados em duas litofácies distintas: lúpili-tufos rico em fragmentos líticos (ILT) nas porções inferiores da sequência; lúpili-tufos ricos em cristais e com notável textura eutaxítica (ecLT), ocorrendo na forma de camadas tabulares e sub-horizontais, Os depósitos efusivos são caracterizados por derrames riolíticos hemicristalinos, com notável estrutura de fluxo (fhR) e porções autobrechadas (bR) sobrepondo de maneira discordante os depósitos piroclásticos.

O Cerro Partido é caracterizado por um corpo subvulcânico de composição riolítica com textura porfirítica a glomeroporfirítica (pR). Ocorre na porção ocidental da área estudada, com orientação NE-SW, cortando as rochas do embasamento e os depósitos piroclásticos na porção basal do Cerro Chato.

Normalmente, estes tipos de depósitos vulcânicos estão associados a reservatórios magmáticos superficiais, com magmas extremamente viscosos de composição ácida, que muitas vezes podem estar localizados a profundidades inferiores a 1 km. O tipo de erupção gerada por esses reservatórios com magmas de composição ácida geralmente apresenta um caráter explosivo, que é explicado

pela diferença de pressão, onde a pressão interna no reservatório, gerada pelo enriquecimento gradual de voláteis, é maior do que a pressão litostática. O excesso de pressão exercido pela concentração de voláteis permite superar a pressão litostática promovendo a formação de fraturas seguida pela extrusão altamente explosiva (Llambías *et al.*, 2008).

Esta erupção libera para a superfície fragmentos juvenis (originados do próprio magma), conatos (originados da fragmentação de rochas vulcânicas comagmáticas anteriormente formadas), acessórios (originados a partir da fragmentação da rocha encaixante ejetados durante a erupção) ou acidentais (clastos englobados aleatoriamente durante o transporte), e o processo de deposição desses materiais pode ocorrer através de três diferentes mecanismos: fluxo de massa, tração e suspensão, gerando assim, três principais tipos de depósitos piroclásticos primários: de fluxo, *surge* e queda (McPHIE *et al.*, 1993).

A violenta descompressão do reservatório magmático produz de maneira imediata a supersaturação em água, gerando uma fase vapor independente que se separa do material fundido e forma bolhas. A viscosidade do magma sendo alta faz com que a pressão interna das bolhas aumente. Quanto maior a resistência do magma, maior o caráter explosivo do fraturamento do mesmo, sendo este processo denominado fragmentação e dá lugar a uma suspensão consistente de partículas vítreas, gás e partículas sólidas já existentes na câmara magmática.

Os fluxos piroclásticos se formam principalmente a partir de dois tipos de processos segundo Llambías *et al.*, (2008): 1) pelo colapso da parte inferior, mais densa, da coluna eruptiva e 2) pelo colapso ou a desintegração de um domo em crescimento.

O vulcanismo explosivo relacionado ao início do ciclo eruptivo na região do Cerro Chato ocorreu de maneira pontual no domínio do Batólito Pelotas, estando até então restrito à área de estudo. A base de sequência piroclástica é caracterizada por depósitos ricos em materiais líticos, o que sugere estar relacionado à fase de maior intensidade explosiva, onde a grande pressão exercida pelos voláteis tornou capaz a fragmentação e arranque de fragmentos principalmente do conduto e das litotipos adjacentes. Através da constante desvolatilização da câmara magmática, o sistema gradou para termos mais ricos em cristais (fenocristais e cristaloclastos), por vezes extremamente ricos em púmices em relação aos cristais. Esta gradação deve-se pela diminuição da

pressão dos voláteis dentro do reservatório magmático, o que leva a uma diminuição da potência eruptiva, diminuindo a vesiculação e fragmentação magmática e liberando para a superfície quase que unicamente material juvenil.

As características observadas tanto em campo como em laboratório, permite diferenciar o processo formador destes fluxos piroclásticos dos dois principais processos propostos por Llambías *et al.*, (2008), inferindo que o processo ali estabelecido foi de menor magnitude e provavelmente esteja relacionado ao colapso instantâneo de uma coluna de erupção como proposto por Cas & Wright (1987). Neste modelo, a coluna não consegue se sustentar por apresentar uma baixa razão voláteis/sólidos e colapsa de maneira que os materiais piroclásticos deslocam-se através de fluxos, a partir do momento que é expelido provavelmente por um sistema fissural, uma vez que as morfológicas onde afloram tais depósitos encontram-se alinhados com direção NE-SW.

Os depósitos efusivos caracterizados por domos e derrames de lava riolítica ocorrem na região do Cerro Chato cortando e sobrepondo as rochas de origem piroclásticas, localizadas na base da sequência. Com o término do período explosivo, e esgotada a capacidade de vesiculação e fragmentação, a erupção não necessariamente cessa. A atividade vulcânica pode prosseguir através de magmatismo não fragmentado, dando início à erupção de lavas empobrecidas em voláteis que, devido a alta viscosidade do sistema, dificilmente fluem por distâncias superiores a 6 km em relação a sua fonte alimentadora. No caso do Cerro Chato, este magma expelido é de composição riolítica e, conseqüentemente, com viscosidade extremamente alta, que geram derrames de lavas com estruturas de fluxo bem marcadas e dobras de fluxo geradas pela dificuldade de deslocamento desta lava. A formação de domos é outra característica deste processo eruptivo não explosivo. Os domos riolíticos são estruturas vulcânicas geradas pela extrusão de lavas viscosas, a partir de um conduto central ou fissural. Segundo Aguillón Robles *et al.*, (1994), seu crescimento é endógeno, através de injeções de lava dentro de um corpo inicial. Geralmente, as paredes externas do domo, em contato com o ar formam brechas caóticas de mesma composição em relação a parte interna do domo. Esta brecha se forma durante o crescimento do domo. Tais características encontram-se presentes no Cerro Chato e influem diretamente na topografia local composta por uma sequência de morros com topos aplainados pela erosão dos derrames riolíticos, associados a pequenos domos relacionados aos estágios finais do ciclo eruptivo ali ocorrido.

Corpos intrusivos subvulcânicos normalmente encontram-se associados a ambientes e sistemas vulcânicos efusivos, originados a partir de líquidos com alta viscosidade e baixa mobilidade. A grande parte destes corpos não consegue ascender até superfície, congelando-se em porções mais rasas da crosta. Quando a erosão descobre as raízes de um sistema vulcânico, observa-se a presença destes corpos intrusivos rasos, cortando e intrudindo as unidades basais cogenéticas, correspondentes ao mesmo sistema magmático e vulcânico. Estes corpos geralmente apresentam textura porfirítica, rica em fenocristais, apresentando um aspecto textural transicional entre um corpo plutônico intrusivo, com textura fanerítica e corpos efusivos, normalmente afaníticos com raros fenocristais. O corpo intrusivo do Cerro Partido, através de observações de campo e interpretação de imagens de satélite foi definido como sendo intrusivo na sequência piroclástica do Cerro Chato. Sua direção NE-SW é concordante com a orientação do alinhamento formado pelos morros e domos vulcânicos, sugerindo assim um possível magmatismo regional de origem fissural, ou através de condutos associados a estruturas lineares regionais.

É importante destacar que a região do Cerro Chato, até o momento, é a única área onde ocorrem depósitos vulcânicos efusivos e piroclásticos *strictu sensu*, preservados no domínio do Batólito Pelotas. As demais manifestações riolíticas estão relacionadas à intrusões subvulcânicas, sugerindo níveis crustais diferentes de ocorrência, podendo estar relacionados a processos tectônicos regionais que serão investigados em etapas futuras de pesquisa.

Do ponto de vista geoquímico, os dados demonstram elevados teores de SiO<sub>2</sub> apresentando valores superiores a 74%, sendo assim considerados como "sistemas de alta-sílica". Muitos autores sugerem que os riolitos alta-sílica poderiam representar líquidos residuais, resultantes do fracionamento de magmas alcalinos de origem mantélica (Loiselle & Wones, 1979; Turner, 1992; Wilson 1989). Nesta hipótese, processos de cristalização fracionada, combinados com processos de contaminação crustal, seriam os principais responsáveis pela evolução de magmas alcalinos diferenciados de basaltos transicionais ou moderadamente alcalinos.

As rochas riolíticas estudadas possuem características das séries alcalinas saturadas em sílica e metaluminosas, como valores de álcalis elevados (7,5 a 8,5), razões FeO<sub>t</sub>/FeO<sub>t</sub>+MgO (0,9 a 1) e índices agpaíticos superiores a 0,75. Embora apresentem altas razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, que é um fator característico de riolitos de

séries shoshoníticas (alcalina-K), os baixos teores de Sr (< 200 ppm) não permitem incluir as rochas estudadas nesta série. O  $TiO_2$  foi utilizado como índice de diferenciação, a partir dos gráficos binários gerados foi possível identificar dois grupos distintos de, um alto-Ti, compreendido pelos riolitos do Cerro Partido e outro de baixo-Ti, compreendido pelos riolitos do Cerro Chato. As diferenças composicionais observadas entre os grupos alto e baixo-Ti podem estar atribuídas a diferentes taxas de fusão de um manto, ou a diferentes taxas de contaminação crustal..

Ao analisarmos os elementos traços e ETR, são constatados que as amostras de ambos os cerros apresentam valores moderados a elevados de Zr, Y e Rb. Os Nb apresenta valores muito baixos no Cerro Partido, e no Cerro Chato seus teores demonstram-se moderados, acompanhado de baixos valores de Ba e Sr, corroborando mecanismos de diferenciação magmática na evolução destes magmas riolíticos.

Os elementos traços e ETR demonstram um enriquecimento no LILEs, uma forte anomalia negativa em Ba e um enriquecimento de  $K_2O$  e Rb em relação ao Nb, sugerindo características de magmas derivados de fontes mantélicas rasas, enriquecidas em elementos incompatíveis e com possível participação crustal. Este comportamento, aliado ao leve enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP e a forte anomalia de Eu, observados quando normalizados em relação ao condrito de Nakamura (1974), também sugere magmas riolíticos alcalinos metaluminosos.

Tratando-se do Batólito Pelotas, a hipótese inicial de que as rochas riolíticas da região do Cerro Chato tivessem correlação genética com as suítes mais diferenciadas demonstrou-se plausível. Quando comparados com os dados químicos de rochas graníticas da Suíte Dom Feliciano (Philipp *et al.*, 2007), riolitos relacionados ao Enxame de Diques Piratini (Zanon *et al.*, 2005) e riolitos relacionados ao Cerro Ana Dias (Oliveira, 2012), constatou-se que as rochas riolíticas do Cerro Chato possuem características mas semelhantes com as Rochas graníticas da Suíte Dom Feliciano e com os riolitos do Cerro Ana Dias. Os riolitos de Piratini são mais diferenciados e possuem grau de alcalinidade superior, tendendo a magmas peralcalinos. O magmatismo relacionado a estas litologias possuem um caráter mais sódico, como comprovado pelas menores razões  $K_2O/Na_2O$ , com valores próximos a 1. O comportamento dos elementos traços ratifica as constatações feitas a partir dos elementos maiores, sendo muito similares

Para as rochas do Cerro Chato, Cerro Ana Dias e Suíte Dom Feliciano. O maior enriquecimento em HFSE, observado nos riolitos do Enxame de Diques Piratini, é característico de líquidos alcalinos sódicos.

Os as rochas riolíticas do Cerro Chato, bem como os riolitos do Cerro Ana Dias, granitóides da Suíte Dom Feliciano e do Enxame de Diques Piratini, possuem características geoquímicas compatíveis com os granitos do tipo-A, como valores de  $(10^4 \text{Ga})/\text{Al} > 2,5$ ,  $\text{Ce}+\text{Y}+\text{Nb}+\text{Zr} > 400$  ppm e  $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO}) > 0,9$ . Tais valores juntamente com as razões  $\text{Rb}/(\text{Y}+\text{Nb})$  e  $\text{Nb}/\text{Y}$ , sugerem magmas associados a ambientes intra-placas e pós-colisionais como proposto por Nardi & Bitencourt (2009) para os granitos do tipo-A no sul do Brasil. Segundo Nardi & Bitencourt (2009), a origem e a evolução deste magmatismo granítico podem estar relacionados a processos envolvendo diferenciação magmática, a partir de magmas mantélicos básicos a intermediários.

## 6. REFERÊNCIAS

Aguillón-Robles, A., Aranda-Gómez, J. J., & Solorio-Munguía, J. G. 1994. Geología y tectónica de un conjunto de domos riolíticos del Oligoceno medio en el sur del Estado de San Luis Potosí, México. *Rev. Mex. Cienc. Geol*, 11(1), 29-42.

Almeida, D. P. M., Gomes, M. E. B., Philipp, R. P., Robaina, L. E. S., & Pintaúde, D. A. 1990. Contribuição ao conhecimento dos granitóides alcalinos da Suíte Dom Feliciano do Batólito Pelotas, região de Torrinhas, RS. *Acta Geológica Leopoldensia*, 13(31), 59-72.

Babinski, M., Chemale Jr, F., Van Schmus, W. R., Hartmann, L. A., & Da 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), 263-274.

Bitencourt, M. F., Gastal, M. C. P., Kirchein, R. E., Costa, K. B., & Toledo, F. A. L. 1993. Reavaliação preliminar das relações estratigráficas do Complexo Granítico Encruzilhada (CGE), RS. *Simp. Intern. Neoproterozóico-Cambriico de la Cuenca del Plata, I., Las Palomas-Minas, Bol. Res. Expandidos*, 2(34).

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(1), 184-187.

Branney, M. J., & Kokelaar, B. P. 2002. Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. Geological Society of London.

Caldasso, A. L. S., & Lopes, R. C. 1994. A Calha Tectônica de Cerro Chato no contexto da Evolução Eo-Paleozóica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camburiú, 1994. Boletim dos Resumos Expandidos. Balneário Camburiú: SBG, v. 3: 229-230.

Cas, R. A. F. & Wright, J. V. 1987. *Volcanic successions, modern and ancient: a geological approach to processes, products and successions*. London, Allen & Unwin, 528p.

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 Porto Alegre e Lagoa Mirim. Brasília, DNPM, p. 70-84.

CPRM. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. 1999. Folha Pedro Osório SH.22-Y-C, Escala 1:250.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

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. 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26(1), 115-134.

Eby, G. N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20(7), 641-644.

Figueiredo, M. C. H.; Fragoso-César, A. R. S. & 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.

Fragoso-César, A. R. S. 1991. Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As orogêniass dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul, 362p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Fragoso-César, A. R. S., Lavina, E. L., Paim, P. S. G., & Faccini, U. F. 1984. A antefossa molássica do cinturão Dom Feliciano no escudo do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33, 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, SBGEO, v.1, p. 3272-3283.

Fragoso-César, 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.

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

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., 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.

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.

- Kerr, P. F. 1977. *Optical Mineralogy* (4 ed.). New York, McGraw-Hill, 492p.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streickeisen, A. & Zanettin, B. 1986. *A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali-silica diagram*. *Journal of Petrology*, 27(3): 745-750.
- Le Maitre, R. W., 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms recommendations of the international union of geological sciences subcommision of the systematic of igneous rocks (2 ed.)*. Cambridge, Cambridge University Press, 252p.
- Llambías, E. J. 2008. *Geología de los cuerpos ígneos* (3 ed.). Buenos Aires, Instituto Salesiano de Artes Gráficas, 222p.
- Machado, R., Philipp, R. P. & 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.
- Mackenzie, W. S., Donaldson, C. H. & Guilford, C. 1991. *Atlas of igneous rocks and their textures*. Longman Scientific & Technical. 98p.
- Mahood, G. A. & Hildret, 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.
- McPhie, J., Doyle, M. & Allen, R. 1993. *Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. University of Tasmania, 197p.
- 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.
- Miall, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits*. Berlín: Springer Verlag. 582p.
- Miall, A. D. 2000. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Springer Verlag. 616p.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica ey Cosmochimica Acta*, 38: 757-775.
- Nardi, L. V. S. 1991. Caracterização petrográfica e geoquímica dos granitos metaluminosos da associação alcalina: revisão. *Pesquisas*, 18(1): 44-57.
- Nardi, L. V. S. & Bitencourt, M. F. 2009. A-type granitic rocks on post-collisional settings in southernmost Brazil: their classification and relationship with tectonics and magmatic series. *Canadian Mineralogist*, 47(6): 1493-1503.
- Noll Filho, R. J., Sommer, C. A., Lima, E. F., Philipp, R. P. & Oliveira, D. S. 2012. Faciologia e petrografia das rochas vulcânicas na região do Cerro Chato (Município de Herval), extremo sul do Brasil. *In: 46 Congresso Brasileiro de Geologia, 2012, Santos*. Anais do 46 Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo: SBG – Núcleo São Paulo, 2012. V. CD.

Oliveira, D. S., Sommer, C. A., Lima, E. F., Philipp, R. P. & Noll Filho, R. J. 2012. Aspectos petrográficos e geoquímicos do riolito Ana Dias, região de Quitéria, RS. *In: 46 Congresso Brasileiro de Geologia, 2012, Santos*. Anais do 46 Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo: SBG – Núcleo São Paulo, 2012. V. CD.

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.

Oyhantçabal, 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., 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. 1998. A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 225p.

Philipp, R. P., Chemale Jr., F. & Machado, R. 2007. A Geração dos Granitóides Neoproterozóicos 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, R. 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. V. S. & 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.

Picada, R. S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense: 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. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Shellnutt, J. G., Zhou, M. F., & Zellmer, G. F. 2009. The role of Fe–Ti oxide crystallization in the formation of A-type granitoids with implications for the Daly gap: an example from the Permian Baima igneous complex, SW China. *Chemical Geology*, 259(3), 204-217.

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 Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 425 p.

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.

Sparks, R. S. J. & Walker, G. P. L. 1973. The ground surge deposit: a third type of pyroclastic rock. *Nature Physics Sciences*, 241: 62-64.

Streckeisen, A. L., 1978. IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. Recommendations and Suggestions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 141: 1-14.

Sylvester, P. J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *J. Geol.* 97: 261-280.

Taylor, S. R., & McLennan, S. M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33: 241-265.

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

Ui, T. 1971. Genesis of magma and structure of magma chamber of several pyroclastic flows in Japan. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, 18: 53-127.

Vasquez, M. L. 1997. *Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul-RS*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 195p.

Whalen, J. B., Currie, K. L., & Chappell, B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to mineralogy and petrology*, 95: 407-419.

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. 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.

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: 23-34.