

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**GEOLOGIA DA INTRUSÃO DIORÍTICA DO PLATÔ DA RAMADA (RS) E
RELACÕES PETROGENÉTICAS COM A FORMAÇÃO ACAMPAMENTO
VELHO**

VINÍCIUS MATTÉ

ORIENTADORES

**Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima
Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer**

COMISSÃO EXAMINADORA

**Prof. Dr. Lauro Valentim Stoll Nardi
Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira**

COMISSÃO DOS PROJETOS TEMÁTICOS

**Profa. Dra. Maria Lídia Medeiros Vignol Lelarge
Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Geólogo.

Porto Alegre, dezembro de 2008

Matté, Vinícius

Geologia da intrusão diorítica do Platô da Ramada (RS) e
relações petrogenéticas com a Formação Acampamento Velho. /
Vinícius Matté - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2008.
[78 f]. il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. -
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2008.

1. Formação Acampamento Velho. 2. Bimodal. 3. Platô da Ramada. 4. Intrusão
Diorítica I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grün CRB 10/1113

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família (Remiro, Neiva, Vânia, Luis, Vivi, Jado, Michele...) por todo apoio recebido, pois sem ele eu não teria chegado aonde cheguei.

Meus profundos agradecimentos aos orientadores Chinês e Sommer, companheiros de pesquisa e de risadas a 4 anos e que não apenas me ensinaram geologia, mas também a ser o que eu sou hoje.

Deixo também os meus mais sinceros agradecimentos aos amigos das atividades “outdoor” (Felipe, Cássio, Leandro, Carol, Pressi, Fischer, Manara, Cristiano, Rafael, Paula, Jeremias, Bisol), pois sem os momentos de descontração vivenciados com eles em morros, montanhas, planícies, praias, paredões e trilhas, a elaboração deste trabalho com certeza haveria de ter sido muito mais penosa.

Ao CNPq que financiou grande parte do meu trabalho e também à UFRGS e seus professores que através do ensino público e de qualidade transformou-me em um humilde conhecedor e entendedor dos conceitos e processos básicos observados nas ciências geológicas.

Enfim, gostaria de agradecer a mãe natureza, esta simpática amiga em forma de matéria e energia que me acompanha desde os primórdios e que cada vez mais tem estado presente em minha vida.

SUMÁRIO

Listade Figuras.....	iii
List de Tabelas.....	v
Abreviações.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	viii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1- Localização e Acesso.....	3
1.2- Caracterização do Problema.....	5
1.3- Objetivos e Metas.....	7
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1 - Sensoriamento Remoto.....	8
2.2 -Levantamento Bibliográfico.....	9
2.3 - Trabalho de Campo.....	9
2.4 - Preparação de Amostras.....	13
2.5 - Petrografia.....	13
2. - Geoquímica.....	14
CAPÍTULO 3 – GEOLOGIA DA ÁREA.....	17
3.1 - Formação Acampamento Velho: Evolução do Conhecimento...	17
3.2 - Contexto Geológico.....	21
3.3 - Geologia Local.....	23
3.3.1 - O Platô da Ramada.....	23
3.3.2 - Intrusão Diorítica.....	27
CAPÍTULO 4 – PETROGRAFIA.....	31
4.1 - Descrição das Fases.....	34
4.2 - Contagem Modal.....	39
CAPÍTULO 5 – LITOQUÍMICA.....	41

5.1 - Caracterização Geoquímica de Elementos Maiores da Intrusão Diorítica.....	41
---	----

CAPÍTULO 6—RELAÇÕES PETROGENÉTICAS DA INTRUSÃO DIORÍTICA COM A FORMAÇÃO ACAMPAMENTO VELHO.....46

6.1-Gênese e Evolução de Magmas Alcalinos-Considerações Gerais.	49
---	----

6.2 - Evolução e Modelagem da Intrusão Diorítica e o Magmatismo da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada.....	50
---	----

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....60

CAPÍTULO 8 – REFERÊNCIAS.....62

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização da área de estudo e principais vias de acesso
- Figura 2 – Imagem de satélite, sensor Aster, da região do Platô da Ramada com a demarcação da feição correlacionada ao corpo diorítico
- Figura 3 – Mosaico de imagens de satélite obtidas no programa *Google Earth* e tratadas no programa *Photoshop*, representativas da área estudada
- Figura 4 – Mapa de amostragem destacando os pontos com lâmina e análise litoquímica
- Figura 5 – Ilustração esquemática mostrando as principais ocorrências do vulcanismo neoproterozóico na Bacia do Camaquã
- Figura 6 – Mapa geológico da região do Platô da Ramada
- Figura 7 – Perfil estratigráfico esquemático, proposto para as seqüências vulcânicas do Platô da Ramada
- Figura 8 – Detalhe da figura 6, destacando a intrusão diorítica na porção sul do Platô da Ramada
- Figura 9 – Padrão de fraturamento E-W à NE-SW e subordinadamente N-S
- Figura 10 – Ilustração esquemática da relação dos lineamentos com a geomorfologia na área aflorante da intrusão diorítica
- Figura 11 – Anomalia botânica entre a intrusão diorítica (vegetação arbustiva) e ignimbritos (gramíneas)
- Figura 12 – Xenólito ignimbrítico em encaixante diorítica
- Figura 13 – Diorito de petrotrama porfirítica, com fenocristais de plagioclásio (luz natural)
- Figura 14 – Fenocristal de plagioclásio (PL) envolto por crescimento de feldspato potássico (F-K) marcando a textura anti-rapakivi. Intercrescimento de quartzo (QZO) + feldspato potássico formando textura micrográfica (luz polarizada)

Figura 15 – Fenocristal de plagioclásio (centro) envolto por arranjo micrográfico (quartzo + feldspato potássico) (luz polarizada)

Figura 16 – Arranjo micrográfico (quartzo + feldspato potássico) (luz polarizada)

Figura 17 – Zonação em fenocristal de plagioclásio (luz polarizada)

Figura 18 – Reabsorção em fenocristal de plagioclásio (luz polarizada)

Figura 19 – Cristais subédricos de quartzo (QZO) (luz polarizada)

Figura 20 – Anfibólio cloritizado em interstícios granulares (luz natural)

Figura 21 – Cristais de apatita com hábito acicular (luz natural)

Figura 22 – Cristais de zircão com hábito prismático (luz polarizada)

Figura 23 – Cristais de zircão com hábito acicular (luz polarizada)

Figura 24 – Calcita (CC) em interstícios granulares (luz natural)

Figura 25 – Resultados do procedimento de contagem modal. A partir de uma amostra digitalizada obteve-se os percentuais (áreas em cor preta) 20% de plagioclásio, 56% de feldspato potássico + quartzo e 24% de minerais máficos

Figura 26 – Diagrama classificatório TAS para rochas plutônicas

Figura 27 – Diagrama de Peacock (1931), mostrando o caráter alcali-cálcico das rochas intermediárias. A linha pontilhada representa o *trend* SiO_2 X Álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) e a linha cheia representa o *trend* SiO_2 x Cao

Figura 28 – Diagramas binários dos elementos maiores e somatório de álcalis da intrusão diorítica, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação

Figura 29 – Diagrama classificatório TAS para rochas vulcânicas. As rochas da intrusão diorítica estão representadas por losangos verdes

Figura 30 – Diagramas binários dos elementos maiores e somatório de álcalis da intrusão diorítica utilizando SiO_2 como índice de diferenciação. As rochas da intrusão diorítica estão representadas por losangos verdes

Figura 31 – Representação esquemática do tetraedro de basalto. Di-En-Ab é o plano de saturação em sílica e Di-Fo-Ab é o plano crítico de subsaturação em sílica

Figura 32 – Esquema sugerido para a evolução do magmatismo no Platô da Ramada, de acordo com os resultados dos modelos matemáticos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados analíticos para elementos maiores das amostras representativas da intrusão diorítica. Óxidos em peso %

Tabela 2 – Composições das fases minerais utilizadas no modelo, conforme Lima (1995)

Tabela 3 – Resultados do primeiro teste de modelagem petrogenética

Tabela 4 – Resultados do segundo teste de modelagem petrogenética

Tabela 5 – Resultados do terceiro teste de modelagem petrogenética

ABREVIações

LOI - **Loss-On-Ignition** (Perda ao fogo)

TAS - **Total Alkali-Silica**

AFM - **Álcalis-Ferro total-Magnésio**

RESUMO

Recentemente o vulcanismo da Formação Acampamento Velho (573-549 Ma) foi descrito em diversos trabalhos como sendo uma associação bimodal constituída predominantemente de rochas ácidas, com termos básicos subordinados, relacionado a um magmatismo alcalino sódico e saturado em sílica. Corresponde à porção superior do Grupo Bom Jardim, sucedendo as rochas vulcânicas shoshoníticas da Formação Hilário (592 Ma). A Formação Acampamento Velho tem expressividade em volume e exposições no Platô da Ramada, cuja unidade basal é constituída por vulcanitos félsicos e conglomerados vulcanogênicos da Formação Hilário, sucedida por um vulcanismo ácido e subordinadamente básico representado por depósitos efusivos e piroclásticos. Estudos utilizando técnicas de sensoriamento remoto permitiram a identificação de uma intrusão de composição intermediária, predominantemente diorítica, nas unidades ácidas da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada. Esta intrusão possui uma forma elíptica com dimensões em torno de 5 km E-W x 2 km N-S. As bordas são finas no contato com os vulcanitos, com fenocristais de plagioclásio envoltos por matriz fina, definindo uma textura porfirítica. A matriz da borda é transicional para uma matriz mais fanerítica, com textura micrográfica que predomina na parte central do corpo. Petrograficamente observa-se a cristalização inicial de plagioclásio + augita, sendo esta última fase substituída por hornblenda, indicando um aumento no conteúdo de voláteis com a diferenciação. A etapa final de cristalização gerou um arranjo micrográfico (quartzo + feldspato alcalino). Zircão, apatita e minerais opacos ocorrem como fases acessórias. Feições de zonações e reabsorções observadas nos fenocristais de plagioclásio são indicativas de uma taxa de resfriamento compatível com rochas hipabissais. A litoquímica de elementos

maiores indicam valores de SiO_2 variando entre 56% e 63%, TiO_2 de 0,85% a 1,51% e CaO de 2,63% a 4,90%. As rochas apresentam elevados valores de Fe_2O_3 (6,97% a 8,96%) em relação à MgO (0,96% a 1,53%) e conteúdos elevados de álcalis (6,82% a 8,22%). No diagrama *TAS* para rochas plutônicas as amostras ocupam o campo sieno-diorito a quartzo diorito. Os dados litoquímicos indicam a afinidade alcalina sódica dessa intrusão, como realçado no diagrama de *Peacock* onde as rochas ocupam o campo álcali-cálcico. Adicionando-se os dados geoquímicos das rochas dioríticas aos das rochas básicas e ácidas do Platô da Ramada no diagrama *TAS* para rochas vulcânicas constata-se um *trend* magmático. Nos diagramas binários de *Harker* os dados químicos das rochas dioríticas colocam-se entre os termos mais básicos e ácidos do Platô, definindo, em geral, *trends* hiperbólicos regulares e contínuos, sugestivos de processos de cristalização fracionada. Os resultados da modelagem petrogenética feita através de cálculos de balanço de massa obtidos no presente trabalho permitem sugerir que a evolução do magmatismo alcalino sódico do Platô da Ramada está vinculada, principalmente, a processos de cristalização fracionada que podem ter ocorrido em dois estágios diferentes e estes resultados são coerentes com as fases minerais identificadas petrograficamente e com as condições de baixa pressão. Dados obtidos no presente trabalho sugerem, portanto, um vínculo petrogenético do litotipo diorítico com a evolução do magmatismo da Formação Acampamento Velho.

Palavras-chave: Formação Acampamento Velho - bimodal - Platô da Ramada - intrusão diorítica

ABSTRACT

The volcanism of the Acampamento Velho Formation (573-549 Ma) has been described in many works as being a bimodal association constituted predominantly by silicic rocks, with basic terms subordinates, related to a sodic alkaline and saturated in silica magmatism. This unit corresponds to the superior portion of the Bom Jardim Group, covering the shoshonitic volcanic rocks of the Hilario Formation (592 Ma). The Ramada Plateau is located in the southernmost of the Brazil and represents one of the better occurrence of the Acampamento Velho Formation. The basal unit of the plateau is constituted by andesites and volcanogenic conglomerates of the Hilário Formation, followed by bimodal volcanism of the Acampamento Velho Formation, characterized by pyroclastic and effusive deposits. Works carried out in the plateau area, using techniques of remote sensing has identified an intrusion of intermediate composition, constituted predominantly by dioritic rocks. This body is intrusive in the units acid of the Acampamento Velho Formation and shows an elliptic form with dimensions around 5 km E-W x 2 km N-S. The borders presents a rock texture fine in the contact with the volcanics, with plagioclase phenocrysts set in a fine groundmass, defining a porphyritic texture. The fine groundmass of the border is transitional to a medium equigranular texture and a micrographic texture that prevails in the central part of the body. Petrography data suggest an initial crystallization of plagioclase + augite, being this last phase substituted by hornblende, indicating probably an increase in the content of volatile during the differentiation. The final stage of crystallization has generated a micrographic arrangement (quartz + alkali feldspar). Zircon, apatite and opaque minerals are the accessory phases. Zoning features and reabsorptions observed in the plagioclase phenocrysts are indicative of a cooling rate that is typical to

hypabissal rocks. The litochemistry of major elements indicate values of SiO_2 varying between 56% and 63%, TiO_2 from 0,85% to 1,51% and CaO from 2,63% to 4,90%. The rocks present high values of Fe_2O_3 (6,97% to 8,96%) in relation to MgO (0,96% to 1,53%) and high contents of alkalis (6,82% to 8,22%). In the diagram TAS used to plutonic the rock samples occupy the field syeno-diorite to quartz-diorite. The litochemistry data indicate a sodic alkaline affinity for the dioritic rocks, and it was demonstrated too by Peacock diagram's where the rocks occupy the alkali-calcic field. The correlation between dioritic rocks and the volcanic rocks of the bimodal association can be observed in the TAS diagram where a very good magmatic trend is verified. In the Harker diagrams the dioritic data occupy an intermediate portion between the basic and silicic terms of the Plateau, defining, in general, regular and continuous hyperbolic trends that are suggestive of processes of fractional crystallization. A petrogenetic modeling was done, using mass balance (major elements) and results suggest that the evolution of the sodic alkaline magmatism of the Ramada Plateau is linked, mainly, to processes of fractional crystallization that might have happened in three different apprenticeships. These results are coherent with the petrographic studies that have indicated low pressure crystallization conditions. Data obtained in the present work suggest, therefore, a petrogenetic bond of the dioritic rocks with the evolution of the magmatism of the Acampamento Velho Formation.

Keywords: Acampamento Velho Formation - bimodal - Ramada Plateau - dioritic intrusion

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O vulcanismo da Formação Acampamento Velho foi descrito, a partir de meados da década de 90, como uma associação bimodal representada por termos básicos e ácidos (Sommer, 1994; Wildner *et al.*, 1997, 1999, 2002; Zerfass & Almeida, 1997; Sommer *et al.*, 1999, 2005, 2005a; Almeida *et al.*, 1998, 2002). A partir da identificação e individualização por sensoriamento remoto, de uma anomalia espectral na porção sul do Platô da Ramada (RS) (Pinheiro-Sommer, 2005), correspondente a uma intrusão subvulcânica de composição intermediária, considerou-se a hipótese deste corpo representar um estágio magmático vinculado a Formação Acampamento Velho, ocupando, portanto, o intervalo ou *gap* composicional que originalmente definiu a bimodalidade do platô. O corpo estudado possui variações petrográficas desde monzonito, monzodiorito, quartzo-monzodiorito, quartzo-diorito até diorito e é referido no presente trabalho como intrusão diorítica, tendo em vista que esta classificação representa uma média do seu aspecto textural e composicional.

Este trabalho faz parte das atividades do grupo de pesquisa - CNPq (projeto “Organização faciológica e petrologia das sucessões vulcânicas da Bacia do Camaquã-RS) coordenado pelo professor Evandro Fernandes de Lima e foi realizado durante um período de cerca de 18 meses. O trabalho foi financiado principalmente com recursos deste projeto e em parte do Instituto de Geociências.

O desenvolvimento deste trabalho deu-se em três etapas, correspondentes às disciplinas de Projeto Temático I, II, e III, ministradas, respectivamente, pelos (as) professores (as) Andréa Jelinek e André S. Mexias (Departamento de Geodésia), Rualdo Menegat e Ana Maria P. Misuzaki (Departamento de Paleontologia e Estratigrafia) e Marcus V. D. Remus e Maria Lidia M. Vignol (Departamento de Mineralogia e Petrologia). Na primeira etapa foi proposto e elaborado o projeto, na segunda se trabalhou principalmente no detalhamento da metodologia utilizada e na terceira o projeto foi organizado, apresentado e concluído.

Esta monografia apresenta os resultados da pesquisa, ordenados em oito capítulos:

No capítulo 1 – Introdução – é apresentada uma breve introdução do trabalho com localização e acesso da área estudada, caracterização do problema e seus objetivos e metas.

No capítulo 2 – Materiais e Métodos – são mostradas todas as ferramentas, metodologias e técnicas utilizadas na elaboração do trabalho.

No capítulo 3 – Geologia da Área – primeiramente é apresentada a evolução que se tem a respeito do conhecimento da Formação Acampamento Velho. São expostos o contexto geológico da Formação Acampamento Velho e a geologia local, inicialmente descrevendo as principais características geológicas do Platô da Ramada e após a intrusão diorítica em estudo, já apresentando alguns resultados, principalmente observações feitas em campo.

No capítulo 4 – Petrografia – são descritas texturas e fases minerais do corpo estudado. É apresentado o resultado do procedimento de contagem modal.

O capítulo 5 – Litoquímica – contém os resultados obtidos através da caracterização geoquímica dos elementos maiores da intrusão diorítica.

No capítulo 6 – Relações petrogenéticas da intrusão diorítica com a Formação Acampamento Velho – são discutidos brevemente conceitos a respeito da gênese e evolução de magmas alcalinos. É apresentado um modelo de evolução do magmatismo da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada tendo em vista a intrusão diorítica como um membro intimamente relacionado a este evento.

O capítulo 7 – Considerações finais – apresenta uma revisão dos capítulos anteriores e algumas idéias de trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

1.1 - Localização e Acesso

O Platô da Ramada é uma feição geomorfológica localizada a cerca de 20 km ao sul do município de Vila Nova do Sul, na porção centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul. A área do Platô é limitada, aproximadamente, pelos meridianos geográficos de 53°45'W e 54°05'W e paralelos 30°25'S e 30°33'S. O principal acesso à região, partindo-se de Porto Alegre, é feito pela BR-290 até a cidade de Vila Nova do Sul. A partir desta, segue-se por estrada secundária não pavimentada, na direção sudoeste por cerca de 20 km, onde aflora o corpo estudado, entre as coordenadas 53°58'12''W e 54°01'22''W e 30°29'55''S e 30°31'00''S, sobre a borda e a escarpa sudoeste do Platô (Fig. 1).

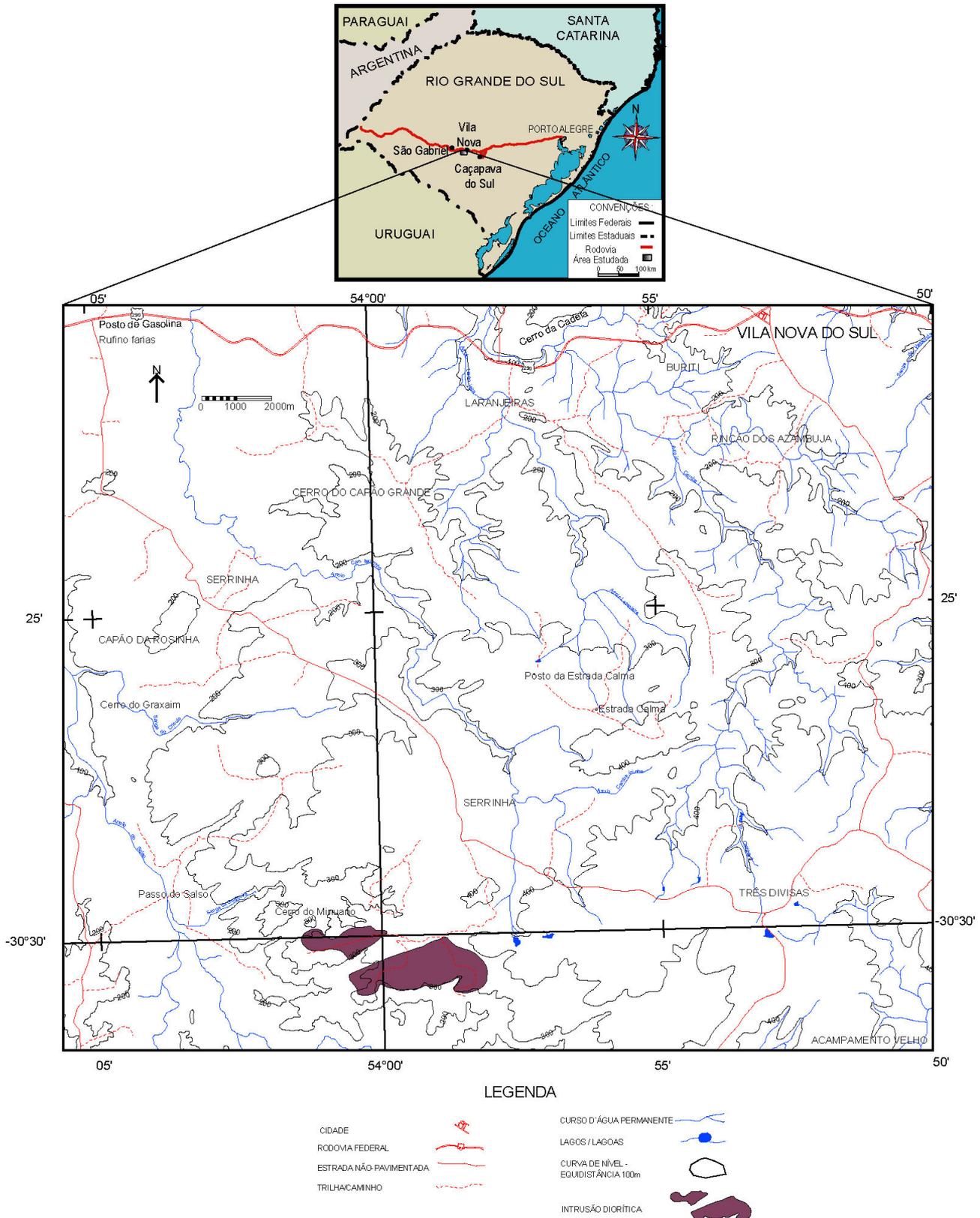


Figura 1 – Localização da área de estudo e principais vias de acesso

 (modificado de Sommer, 2003).

1.2 - Caracterização do Problema

Originalmente, a Formação Acampamento Velho era a unidade que abrangia as rochas vulcânicas ácidas da Bacia do Camaquã (a partir de Leinz *et al.*, 1941). Somente a partir dos anos 90, através de trabalhos de diversos pesquisadores (*e.g.* Sommer, 1994; Wildner *et al.*, 1997, 1999, 2002; Zerfass e Almeida, 1997; Sommer *et al.*, 1999, 2005, 2005a; Almeida *et al.* 1998, 2002) é que foram reconhecidas rochas básicas geneticamente relacionadas às rochas ácidas, o que permitiu caracterizar o vulcanismo da Formação Acampamento Velho como sendo bimodal, com grande predomínio dos termos ácidos sobre os básicos e, caracteristicamente, sem a presença da fração intermediária.

Recentemente, identificou-se por meio de sensoriamento remoto, uma anomalia espectral na porção sul do Platô da Ramada (Pinheiro-Sommer, 2005; Pinheiro-Sommer *et al.*, 2006) (Fig. 2). Trabalhos de campo preliminares efetuados nesta anomalia caracterizaram um corpo máfico subvulcânico, com composição média diorítica, envolvido por rochas riolíticas e ignimbríticas.

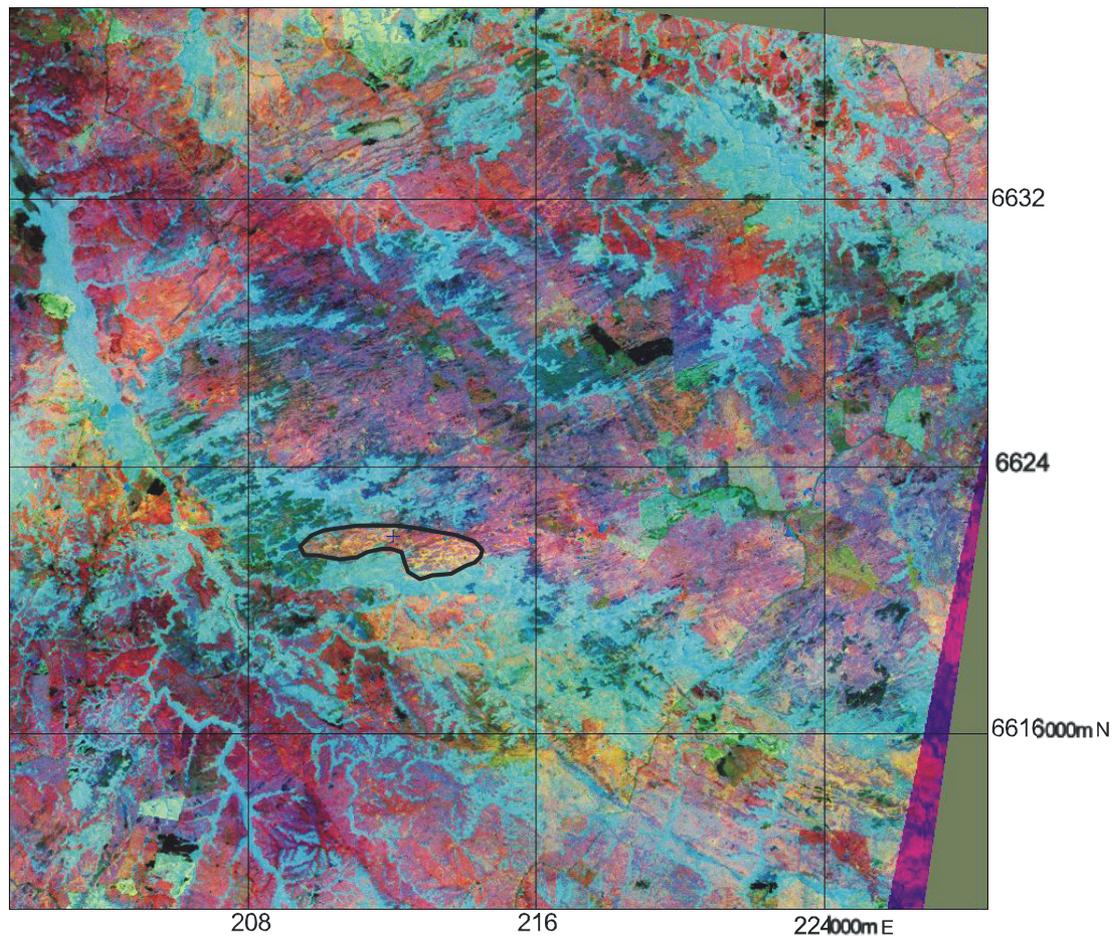


Figura 2: Imagem de satélite, sensor Aster, da região do Platô da Ramada (centro), com a demarcação da feição correlacionada ao corpo diorítico (modificado de Pinheiro-Sommer, 2005).

Neste trabalho pretende-se caracterizar geologicamente e geoquimicamente o corpo diorítico e avaliar a relação entre este litotipo e as rochas vulcânicas associadas ao magmatismo da Formação Acampamento Velho. O vínculo petrogenético entre a intrusão diorítica e os vulcanitos ácidos poderá auxiliar na discussão da origem deste magmatismo. Deverá ser avaliada a hipótese que sugere a origem da fração félsica a partir de processos de diferenciação magmática entre os termos básicos e ácidos desta formação, o que pode modificar a premissa do magmatismo representar uma associação bimodal. Até então, rochas de composição

intermediária nunca tinham sido registradas na Formação Acampamento Velho, sendo um dos motivos da origem da denominação “vulcanismo bimodal”.

1.3 - Objetivos e Metas

O projeto objetiva estabelecer as relações de contato entre o corpo subvulcânico de composição intermediária e as rochas encaixantes do Platô da Ramada, definir os tipos petrográficos e a sua natureza geoquímica. No presente trabalho optou-se, no capítulo 5 (litoquímica), pelo uso e interpretação apenas dos elementos maiores. Os resultados de elementos traços e de isótopos, em fase de aquisição, serão posteriormente interpretados. Pretende ainda, estabelecer os vínculos petrogenéticos dessas composições intermediárias com os demais litotipos da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada a fim de tentar aprofundar os conhecimentos que se tem a respeito da origem e evolução do magmatismo alcalino-sódico neoproterozóico na Bacia do Camaquã.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

São descritos neste capítulo os métodos de trabalho que foram utilizados na obtenção dos dados geológicos e geoquímicos da intrusão diorítica. A interpretação destes visou o estabelecimento de vínculos entre esta unidade intrusiva com o magmatismo da Formação Acampamento Velho.

2.1 - Sensoriamento Remoto

A identificação de parâmetros espectrorradiométricos determinou a individualização do corpo intrusivo por Pinheiro-Sommer *et al.*, (2006). De acordo com estes autores a imagem ASTER (*SWIR* e *VNIR*) foi processada no programa *Envi*, onde inicialmente, redimensionaram-se as três bandas *VNIR*/ASTER de resolução espacial de 15m para 30m, para permitir a análise conjunta das nove bandas do espectro óptico. Foram executados e avaliados diversos processamentos de realce, tais como o aumento de

contraste espectral por meio de diferentes funções de transferência, composições coloridas, operações aritméticas, tendo-se obtido como melhor resultado a aplicação da técnica transformada de *Karhunen-Loeve*, também chamada Análise por Componentes Principais (ACP). Esse cálculo consiste em uma transformação matemática envolvendo combinações lineares das imagens originais, obtendo-se novas imagens que não possuem correlação entre si. Na geração das Componentes Principais Seletivas (CP's), selecionaram-se os pares das bandas 3-4, 4-5 e 8-9 e foram utilizadas apenas as imagens CP's 2, que representam o contraste espectral entre o par de bandas envolvidas, tendo em vista que a CP1 concentra a informação comum às duas bandas. A partir das imagens componentes principais das CP's 2 gerou-se a composição colorida 4-5 (*Red*), 3-4 (*Green*) e 8-9 (*Blue*). Através da manipulação dos histogramas utilizando-se a função de transferência Gaussiana nas três imagens, obteve-se um realce de contraste das litologias. Este processamento utilizando a função gaussiana determina um melhor balanceamento de cores nas composições coloridas *RGB*.

2.2 - Levantamento Bibliográfico

O objetivo desta etapa foi compilar os dados e informações existentes sobre o Platô da Ramada, desde as definições originais até trabalhos recentes, com o intuito de auxiliar nas interpretações das relações da intrusão diorítica com os demais litotipos da Formação Acampamento Velho na área estudada.

2.3 - Trabalhos de Campo

Foram realizadas duas etapas de trabalho, uma em janeiro de 2007 e a outra em maio de 2008, totalizando sete dias de campo. Os dados de trabalhos anteriores foram integrados às novas informações obtidas nestes trabalhos, que consistiram no detalhamento geológico.

Os trabalhos de campo consistiram basicamente na execução de perfis geológicos geralmente na orientação norte-sul, pois assim se esperava identificar uma maior variação, do centro em direção as bordas, principalmente textural, das rochas intrusivas, já que o corpo é alongado no sentido leste–oeste.

As condições de trabalho no campo em geral foram favoráveis, com boas condições meteorológicas. O acesso à área de estudo se apresentou trafegável (na primeira etapa com um carro popular, já na segunda, com uma camionete própria para terrenos acidentados) e possível de se percorrer, inclusive em quase toda extensão leste – oeste do corpo intrusivo.

Para facilitar na orientação espacial, foi elaborado a partir do programa *Photoshop* um mosaico de 104 imagens de satélite, impresso na escala 1:25.000 (Fig. 3), obtidas no programa de navegação terrestre *Google Earth* e utilizado durante a segunda etapa de trabalho de campo, cuja importância se deu na decisão da escolha dos locais mais apropriados para execução de perfis, auxiliando na identificação de trilhas em meio à mata fechada, acessos com cobertura vegetal mais restrita e até mesmo na localização de afloramentos. O mapa base utilizado (1:25.000) foi digitalizado a partir das seguintes cartas topográficas confeccionada pelo exército: porções NE da carta Lagoa da Meia Lua (folha SH-21-Z-B-VI-2, MI 2994/2), NW da carta Arroio América (folha SH-22-Y-A-IV-1, MI 2995/1) , SW da carta Vila Nova (folha SH-22-Y-A-I-3, MI-2982/3) e SE da carta Rufino Farias (folha SH-21-Z-B-III-4, MI-2981/4).



Figura 3 – Mosaico de imagens de satélite obtidas no programa *Google Earth* e tratadas no programa *Photoshop*, representativas da área estudada.

Foram descritos cinquenta pontos (Fig. 4) que orientaram uma coleta seletiva de amostras para estudos petrográficos e geoquímicos. Procurou-se ter os cuidados de amostrar rochas frescas, sem alteração e de enumerá-las adequadamente. Em cada ponto se fez uso de um aparelho do tipo *GPS* da marca *Garmin*, modelo *GPS76* para obtenção de coordenadas *UTM* precisas. Eventualmente, foi utilizada uma bússula (*Brunton*, modelo “*type 15*”) para medidas de atitudes referentes a planos de fratura e de falha, principalmente junto aos lineamentos pré-identificados por sensoriamento remoto, a fim de se obter informações acerca da tectônica rúptil que afetou tanto o corpo intrusivo quanto as suas rochas encaixantes. Para a retratação de amostras, afloramentos e alguns elementos geográficos foi utilizada uma câmera fotográfica digital da marca *Sony*, modelo *H7*.

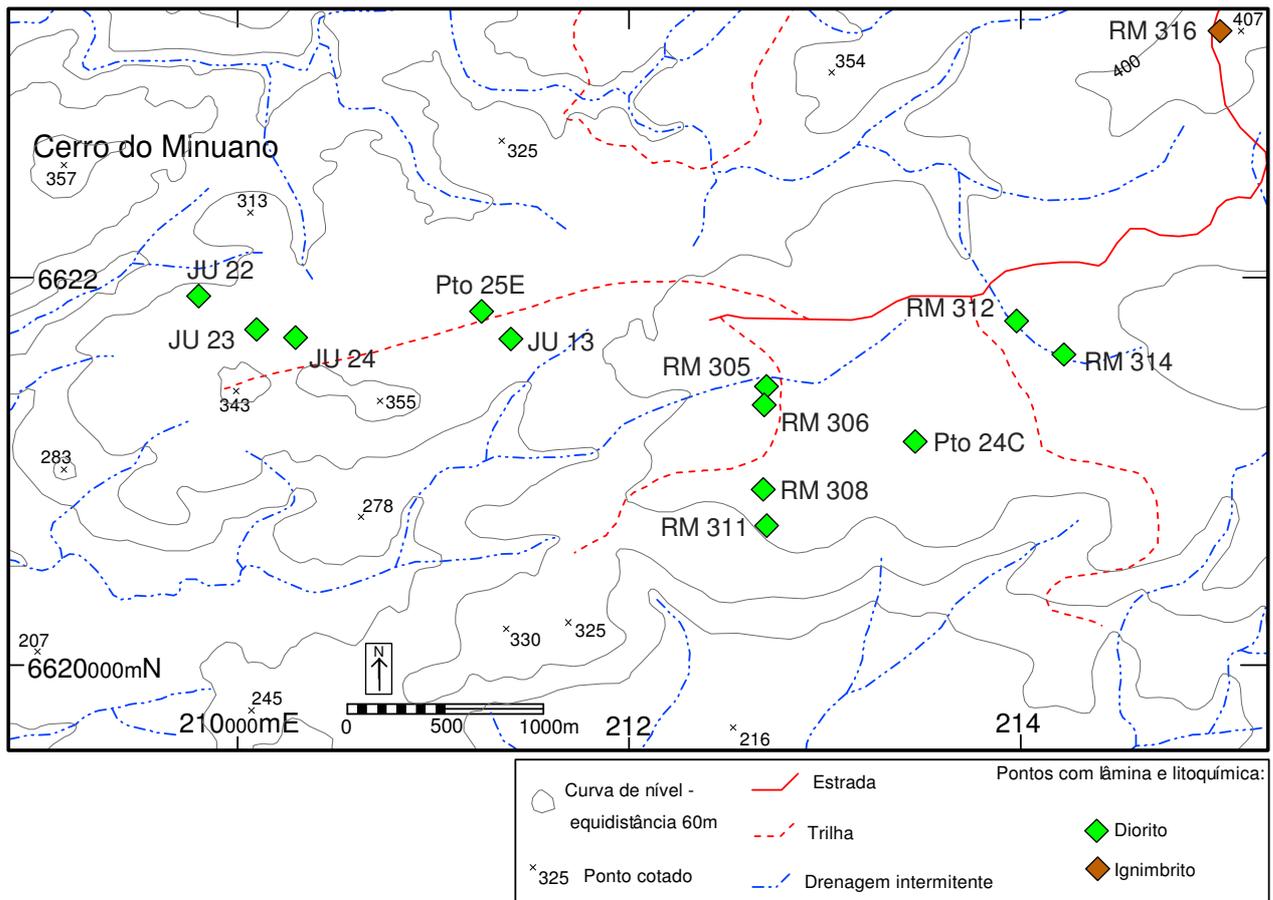


Figura 4 – Mapa de amostragem destacando os pontos com lâmina e análise litoquímica.

2.4 - Preparação de Amostras

As amostras coletadas no campo foram submetidas à preparação para análises posteriores, junto ao laboratório de apoio analítico e preparação de amostras, no Centro de estudos em Petrologia e Geoquímica – CPGq do Instituto de Geociências da UFRGS. Foram preparadas amostras para análises geoquímicas (litogeoquímica), para a confecção de lâminas delgadas e para descrição macroscópica. As amostras destinadas a análise geoquímica foram inicialmente fragmentadas em pedaços de no máximo 4 cm de comprimento por uma prensa hidráulica. Após foram trituradas por um britador e a brita peneirada em peneira de tamanho 7 *Mesh*. A fração passante neste tamanho de grão foi moída em um moinho de bolas de ágata, no tamanho 200 *Mesh* e assim ficando aptas à análise por equipamentos adequados.

As lâminas delgadas foram confeccionadas no laboratório de laminação do Instituto de Geociências da UFRGS. Para a confecção das lâminas, primeiro foi necessário cortar a amostra vinda do campo para que ela atinja uma dimensão aproximada de 10 cm de comprimento. Após corta-se um pequeno retângulo, denominado esquírola, onde será colado o vidro. A esquírola de rocha colada ao vidro será desgastada até chegar à espessura padrão de 0,3 micras. A última etapa é a sobreposição da lamínula e a amostra está pronta para ser analisada ao microscópio óptico.

2.5 - Petrografia

A petrografia consiste em descrições macroscópicas e microscópicas convencionais. Parte da primeira foi efetuada previamente em campo, com auxílio de lupa de mão com aumento de 15 vezes, durante a coleta das amostras. A outra etapa foi realizada em laboratório com o auxílio de lupa binocular da marca *Carls Zeiss Jena* cujos aumentos variam de 10 a 100 vezes.

A etapa de microscopia envolveu a descrição de 18 lâminas delgadas. Foi utilizado para as descrições um microscópio binocular da marca *Leitz Wetzlar* com cinco possibilidades de lentes óticas cujos aumentos são de 3,5, 10, 25, 50 e 100 vezes.

O objetivo da análise microscópica é a identificação das fases minerais, das variedades texturais e as relações entre elas, de forma a estabelecer a ordem e a história de cristalização, o que contribuiu para a caracterização petrogenética.

Uma amostra (RM 314) foi submetida a procedimentos de contagem modal. Esta, foi imersa em uma solução de cobaltinitro de sódio, nos laboratórios do CPGq/UFRGS, para a identificação do feldspato potássico. Após este procedimento a amostra foi digitalizada (*scanner*) e parte da imagem resultante deste processo (4cm x 2cm) tratada no programa *Photoshop*, para separação digital das espécies minerais. Neste programa, os minerais com características visuais semelhantes foram demarcados na cor preta e guardados em arquivos de imagens, um para cada espécie mineral (plagioclásio, feldspato potássico + quartzo e minerais máficos). Estas imagens foram introduzidas no programa *Scion Image Beta 4.03*, disponível no sítio www.scioncorp.com/pages/downloadnow.htm, que calcula a área total de cada imagem e a área ocupada pelos minerais nas respectivas imagens, sendo necessário, após este procedimento, realizar um cálculo simples de regra de três para saber qual a porcentagem de cada espécie mineral na amostra.

2.6 - Geoquímica

Após a preparação das amostras nos laboratórios da UFRGS foram selecionadas dezessete amostras para estudos geoquímicos. Estas foram enviadas para o *Activation Laboratories - ACTLABs* do Canadá para a determinação dos conteúdos de elementos maiores, menores e traços, porém, com já foi dito no capítulo 1 (introdução) optou-se neste trabalho em

fazer uso apenas dos elementos maiores. Os seguintes métodos foram utilizados:

ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO DE PLASMA (ICP):

Espectrometria de emissão de plasma (*Inductively coupled plasma - ICP*) é uma técnica capaz de medir a maioria dos elementos da tabela periódica com baixos limites de detecção e boa precisão. Os elementos são medidos simultaneamente e uma análise completa pode ser obtida em cerca de dois minutos, sendo um método analítico extremamente rápido. Uma descrição mais completa do método e sua aplicação pode ser obtida em Walsh & Howie (1980) e Thompson & Walsh (1983).

A espectrometria de emissão de plasma é uma técnica de "chama" com uma temperatura de chama entre 6.000 – 10.000 K. A amostra é solubilizada e após, nebulizada em um plasma de argônio. O ICP gera um fluxo de átomos de argônio, aquecidos por uma bobina de rádio-freqüência e inflamado por uma faísca em alto-freqüência de *Tesla*. A amostra é dissociada no plasma de argônio e um grande número de linhas espectrais atômicas e iônicas são excitadas. As linhas espectrais são detectadas por uma série de fotomultiplicadores, que são comparados em linhas de calibração, e as intensidades delas são convertidas em concentrações.

ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO DE PLASMA POR ESPECTRÔMETRO DE MASSA (ICP – MS):

Espectrometria de emissão de plasma por espectrômetro de massa (*Inductively Coupled Plasma emission Mass Spectrometry - ICP-MS*) é uma técnica semelhante a do ICP, mas com o incremento da espectrometria de massa, o que aumenta a abrangência do ICP (Data & Jarvis, 1989). Esta técnica é aplicada principalmente na determinação dos conteúdos de elementos traços, pois oferece resultados com limites de detecção muito

baixos e boa precisão. Destaca-se, ainda, que pode ser usada para analisar uma série de elementos traço, em uma única solução, usando, portanto, uma pequena amostra (Jenner *et al.*, 1990).

Os resultados das análises foram entregues pelo ACTLABs, via correio eletrônico, e interpretados com auxílio do programa *Petrograph*, disponível no sítio www.unipg.it/~maurip/SOFTWARE.htm e desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Perugia - Itália (Petrelli *et al.*, 2005). Permite a construção de diagramas do tipo *Harker* e de classificação geoquímica (*Total Alkali-Silica - TAS*), além de cálculos de modelagem petrogenética. Este último baseia-se no princípio da subtração de fases, semelhante ao problema de subtração idealizado em forma gráfica por Bowen (1928). O procedimento do programa é de um balanço de massas, associado a um método de mínimos quadrados, onde a partir da escolha de um líquido parental e um líquido final, é calculada a proporção provável mais adequada de cada fase mineral conhecida a ser subtraída do líquido inicial, bem como a quantidade de fracionamento necessária para atingir a composição final do líquido. O programa permite que sejam introduzidas fases minerais com a composição desejada. Nos testes deste trabalho foram utilizadas composições de fases minerais obtidas a partir da associação shoshonítica de Lavras do Sul, descrita no trabalho de Lima (1995), por possuírem também uma afinidade geoquímica alcalina.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA DA ÁREA

3.1 – Formação Acampamento Velho: Evolução do Conhecimento

Leinz et al. (1941) elaboraram os primeiros trabalhos sobre o vulcanismo Acampamento Velho na região do Platô da Ramada, descrevendo pela primeira vez a presença de riolitos extrusivos no então chamado “Planalto da Ramada” e classificando-os como quartzo-pórfiros. Estes autores interpretaram a ocorrência destas rochas relacionadas a eventos posteriores a uma possível orogênese, levando em conta a presença de depósitos não deformados de tufos riolíticos sobre as camadas dobradas dos Membros Hilário e Maricá que teriam sido formadas durante estes processos orogenéticos.

Mau (1959) e Robertson (1966) propuseram a criação de uma nova unidade litoestratigráfica, na categoria de Formação, denominado Riolito Ramada. Mau (1959) apresentou a primeira descrição detalhada e a individualização de diferentes litotipos dentro desta unidade, separando-os em ignimbritos e tufos soldados, gerados em um regime de erupção

subaéreo. Este autor diz que a espessura do pacote seria de 250 m ou mais e foi depositado discordantemente sobre as rochas sedimentares da então Série Maricá.

Goñi et al. (1962) denomina uma seqüência vulcânica, com a inserção dos riolitos da Ramada na parte superior do Grupo Maricá. Esta seqüência seria constituída de tufos, riolitos, riolitos porfiróides, vitrófiros e aglomerados. Os ignimbritos, anteriormente descritos por Mau (1959), são incluídos na unidade dos tufos, originados por deposição em processos tipo “nuvens ardentes”. Neste período Goñi et al. (1962) observaram que ocorria um menor volume de lavas em relação às rochas piroclásticas, a presença de intrusões hipabissais, mineralizações e modificações ocasionadas nas rochas encaixantes.

Robertson (1966) descreveu e identificou depósitos de tufos riolíticos, principalmente no Platô da Ramada e também na Serra de Santa Bárbara e Santa Barbinha.

Ribeiro et al. (1966) propuseram a formalização do Membro Acampamento Velho para a unidade litoestratigráfica que incluía riolitos, dacitos e piroclásticas associadas. Esta unidade faria parte da Formação Crespos do Grupo Bom Jardim e é correspondente ao Riolito Ramada, proposto por Robertson (1966), sendo a troca de nomenclatura devido a denominação Granito Ramada, dada por Leinz et al. (1941).

Cordani et al. (1974) propuseram a elevação de categoria, de Membro para Formação Acampamento Velho e esta nomenclatura foi utilizada posteriormente por Ribeiro & Fantinel (1978).

Outros trabalhos sugeriram algumas modificações, mas sempre tentando enquadrar a Formação Acampamento Velho dentro do contexto estratigráfico regional (e.g. Santos et al., 1978; Fragoso Cesar et al., 1985; Leites et al., 1990).

Paim et al. (1995) com base em aloestratigrafia, propuseram a compartimentação da Bacia do Camaquã em sub-bacias, cujo empilhamento

seria representado pelo Alosupergrupo Camaquã, e as rochas vulcânicas descritas anteriormente eqüivaleriam a Aloformação Acampamento Velho.

A partir da década de 80 foram obtidos os primeiros dados de litoquímica nas rochas vulcânicas desta unidade. Roisenberg et al. (1983), utilizando diagramas geoquímicos classificou as rochas vulcânicas na região do Cerro Tupancy em riolitos, traquitos e raríssimos basaltos, com caráter medianamente alcalino a fortemente alcalino, tectonicamente relacionado a ambientes orogênicos, correspondentes a arcos magmáticos e zonas de subducção em margens continentais ativas.

UFRGS (1984) realizaram trabalhos de mapeamento e obtiveram dados químicos em rochas do Platô da Ramada. O tratamento destes possibilitou interpretações similares às de Roisenberg et al. (1983).

A obtenção e o tratamento de dados químicos destas seqüências foram também decisivos na determinação da natureza e evolução química do magmatismo e da afinidade para mineralizações específicas, destacando-se os trabalhos de Sommer (1994), Wildner et al. (1997, 1999, 2002), Zeffass e Almeida (1997), Sommer et al. (1999, 2005, 2005a), Almeida et al. (1998, 2002). Uma contribuição importante foi a identificação de uma seqüência vulcânica básica geneticamente relacionável aos vulcanitos ácidos, permitindo desta forma, caracterizar o vulcanismo da Formação Acampamento Velho como bimodal.

A investigação da seqüência vulcânica ácida da porção sul do Platô do Taquarembó, por Sommer (1994) e Sommer et al. (1999), permitiu sugerir que o magmatismo ácido da Formação Acampamento Velho representa um sistema riolítico alta-sílica, de afinidade alcalina e caráter predominantemente comendítico. Estes autores propõem, a partir de modelagens petrogenéticas, uma evolução dos líquidos traquíticos e riolíticos, envolvendo mecanismos de diferenciação através de cristalização fracionada, associada a prováveis mecanismos de assimilação crustal (AFC).

Almeida et al. (1997, 1998, 2002) sugerem que a associação bimodal, nas regiões do Cerro do Bugio e Perau, apresenta características alcalina-

sódicas para a seqüência básico-intermediária e moderadamente alcalina-sódicas para a seqüência ácida, cuja origem das rochas estaria associado a um magma basáltico contaminado pela crosta em um ambiente pós-colisional.

Posteriormente, Wildner et al. (1999), a partir de estudos realizados no Platô da Taquarembó, assinalam a presença de vulcanitos básicos e intrusões rasas cogenéticas que evidenciaríamos a bimodalidade desta parcela do vulcanismo Acampamento Velho. Segundo estes autores, as rochas básicas ocorreriam de maneira subordinada e juntamente com a seqüência ácida (granitóides metaluminosos a peralcalinos, comenditos) seriam representantes de uma associação bimodal correlacionável à série moderadamente alcalina.

Sommer (2003) e Sommer et al., (2005, 2005b, 2006) apresentam e discutem novos dados de litoquímica e química mineral, que permitiram caracterizações e interpretações mais aprofundadas sobre esta parcela do magmatismo neoproterozóico na região do Platô da Ramada, como a identificação de grupos bimodais alto e baixo Ti, além de uma fração ácida alto Nb. Novas idades são apresentadas, possibilitando ampliar o período de ocorrência deste vulcanismo bimodal no Escudo Sul-rio-grandense. A integração destes dados com os de outras seqüências relacionadas ao vulcanismo Acampamento Velho na Bacia do Camaquã e a comparação destes com os da associação bimodal da Bacia de Campo Alegre – SC contribuiriam para um melhor entendimento sobre o vulcanismo neoproterozóico bimodal moderadamente alcalino no sul do Brasil.

Sommer et al., (2005, 2005b, 2006) sugerem que os ciclos vulcânicos investigados nas bacias neoproterozóicas do sul do Brasil representariam parte de uma seqüência evolutiva típica de um magmatismo pós-colisional (senso Liégeois, 1998). Neste estágio predominariam, inicialmente, rochas da série shoshonítica, tipicamente relacionadas a fontes afetadas por subducção, sendo sucedidas por seqüências vulcânicas bimodais, cujas assinaturas são transicionais entre as séries alcalina sódica saturada em sílica e toleítica. Este magmatismo marcaria os estágios finais do período

pós-colisional e o esgotamento dos reservatórios mantélicos afetados por subducção. Neste contexto o ciclo mais jovem do vulcanismo do Platô da Ramada, representado pelos riolitos alto-Nb, poderia refletir o estabelecimento da contribuição astenosférica, onde o magmatismo já apresentaria padrões geoquímicos anorogênicos.

Pinheiro-Sommer (2005) identificou parâmetros espectrorradiométricos que determinaram a individualização do corpo intrusivo na porção sul do Platô da Ramada. A anomalia espectral observada em imagens de sensoriamento remoto foi descrita posteriormente, durante campanha de trabalho de campo, como sendo um corpo intrusivo diorítico de características hipabissais. Até então nunca haviam sido encontrados e descritos corpos de composição intermediária nas áreas aflorantes da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada.

Matté *et al.* (2005, 2006, 2007, 2008) tem trabalhado com dados preliminares com o intuito de avaliar a relação entre o corpo intrusivo identificado por Pinheiro-Sommer (2005) e as rochas vulcânicas associadas ao magmatismo ácido-básico da Formação Acampamento Velho.

3.2 - Contexto Geológico

O vulcanismo associado à Formação Acampamento Velho corresponde à porção superior do Grupo Bom Jardim (Ribeiro & Fantinel, 1978). Sucede o magmatismo shoshonítico da Formação Hilário (cerca de 592 Ma) e representa uma seqüência vulcânica (Nardi & Lima, 2000) que repousa discordantemente sobre as rochas sedimentares do Grupo Maricá. A porção intrusiva é representada por granitos alcalinos de caráter predominantemente metaluminoso, correlacionáveis a Suite Intrusiva Saibro (Nardi & Bonin, 1991; Gastal *et al.*, 1992; Gastal & Lafon, 1998). Na Formação Acampamento Velho predominam depósitos efusivos e piroclásticos de composição ácida, associados a lavas e diques de composição básica (Wildner *et al.*, 1999, 2002; Zeffass *et al.*, 2000; Almeida

et al., 2002; Sommer *et al.*, 2003). As melhores exposições estão localizadas no Platô da Ramada e no Cerro Tupancy (região de Vila Nova do Sul), Platô do Taquarembó (região de Dom Pedrito) e na Serra de Santa Bárbara (região de Caçapava do Sul) (Fig. 5).

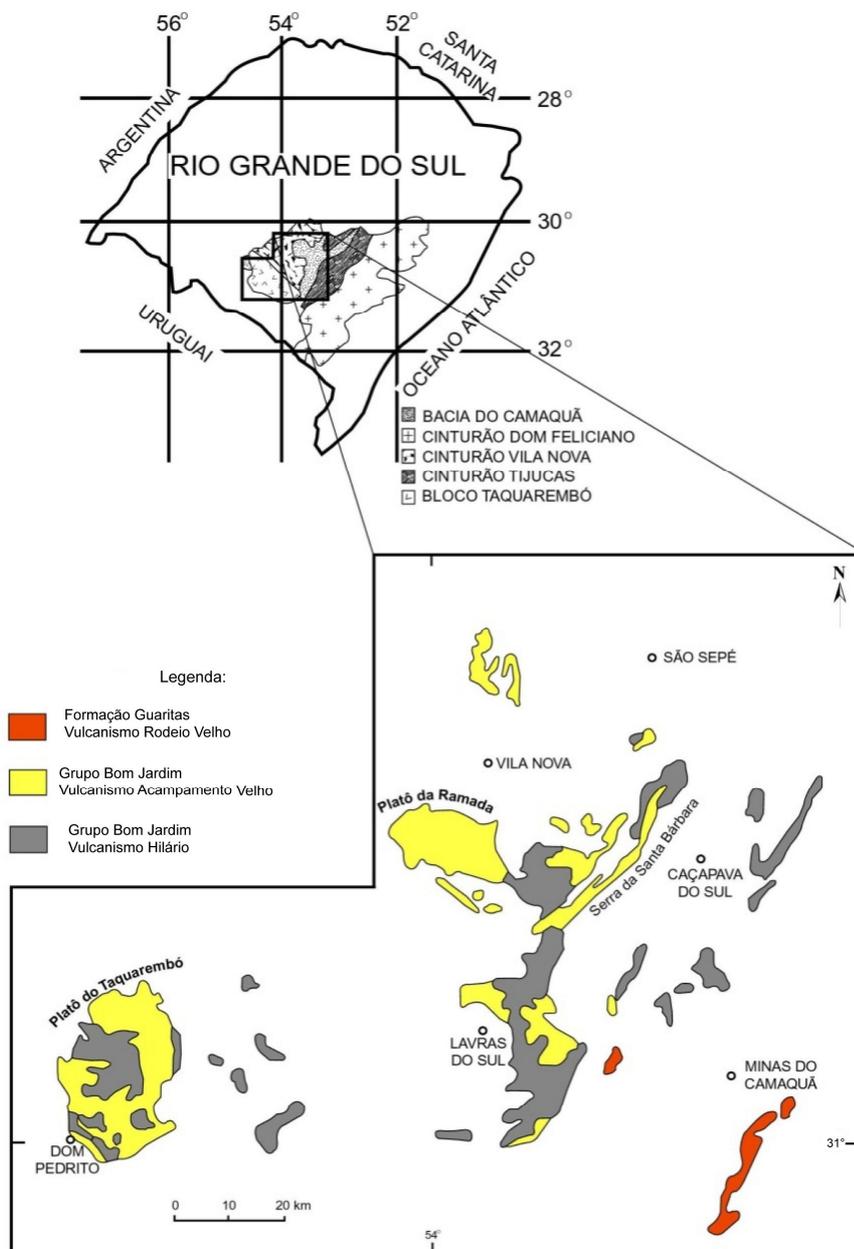


Figura 5 – Ilustração esquemática mostrando as principais ocorrências do vulcanismo neoproterozócio na Bacia do Camaquã. (Sommer, 2003).

O tratamento dos dados geoquímicos indica que as rochas ácidas do vulcanismo Acampamento Velho variam desde termos peralcalinos (comenditos) até metaluminosos, e que rochas traquíticas de mesma afinidade ocorrem subordinadamente (Sommer *et al.*, 1999, 2005, 2006; Wildner *et al.*, 1999, 2002; Almeida *et al.*, 2002).

Nas rochas do vulcanismo Acampamento Velho é freqüente encontrar depósitos ignimbríticos que preservam feições típicas de processos piroclásticos primários, como as estruturas e texturas indicativas de fluxos quentes com grande quantidade de gases. Tais características associadas à ocorrência de fluxos de lavas e corpos hipabissais, normalmente ao longo de lineamentos, são indicativas de um vulcanismo subaéreo, desenvolvido em condutos fissurais (Sommer, 2003).

Os termos básicos desta unidade são representados por um pequeno volume de lavas porfíricas e diques, com características geoquímicas que permitem classificá-los como hawaiiitos e mugearitos (Wildner *et al.*, 1999; Almeida *et al.*, 2002; Sommer *et al.*, 2002).

Este vulcanismo estabeleceu-se sobre uma crosta continental com assinatura isotópica juvenil (Chemale, 2000), com idade U-Pb em zircões de cerca de 550 Ma (Sommer *et al.*, 2005). No Escudo Sul-rio-grandense, este ciclo vulcânico representa os termos extrusivos associados ao volumoso magmatismo alcalino sódico, saturado em sílica que é relacionado aos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano (Wildner *et al.*, 2002; Sommer *et al.*, 2005, 2006).

3.3 - Geologia local

3.3.1 - O Platô da Ramada

Uma das melhores exposições da Formação Acampamento Velho ocorre no Platô da Ramada, o qual constitui uma feição geomorfológica com espessuras médias em torno de 120 metros, abrangendo uma área de 24 km (E-W) por 12 km (N-S) (Fig. 6).

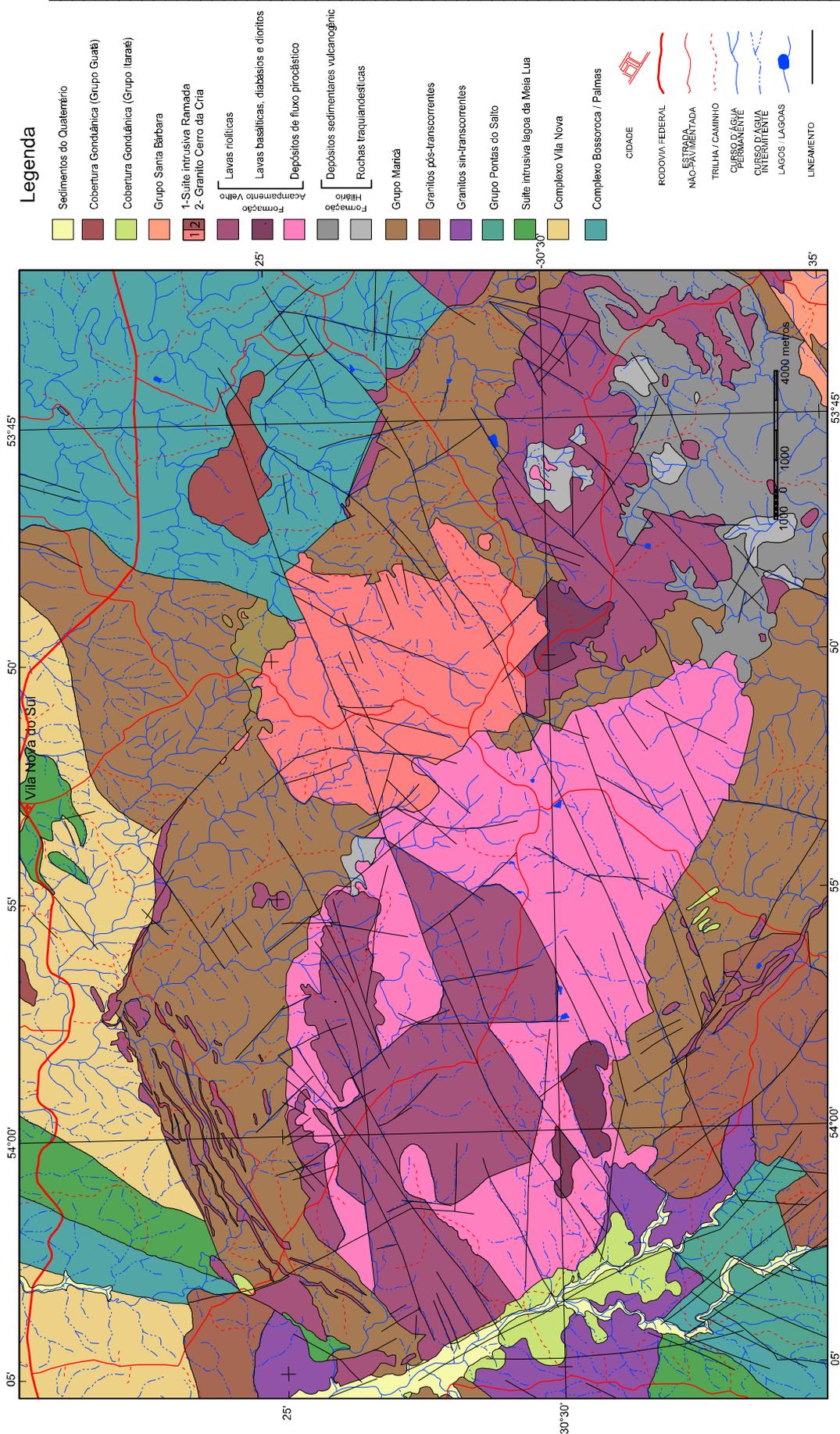


Figura 6 – Mapa geológico da região do Platô da Ramada (modificado de Sommer, 2003).

A unidade basal é composta por lavas intermediárias e conglomerados vulcanogênicos, vinculados à Formação Hilário. Sobreposto a esta, ocorrem rochas da Formação Acampamento Velho, representadas predominantemente por depósitos de fluxo piroclástico, lavas e corpos hipabissais de composição ácida, seguidos por depósitos de fluxo de lavas e diques de composição básica na parte superior, organizados estratigraficamente da seguinte forma (Fig. 7) (Sommer, 2003):

1 - unidade piroclástica: depósitos ignimbríticos, dispostos em camadas sub-horizontais (60-80 m de espessura), representados por brechas co-ignimbríticas, ignimbritos tipo lenticulito e ignimbritos ricos em cristais. Diques básicos de 1-3 m de espessura ocorrem cortando esta seqüência, principalmente na porção sul do Platô. São caracterizados em suas porções basais e proximais por brechas co-ignimbríticas, constituídas predominantemente por blocos e lãpilis conatos e acidentais envoltos por uma matriz tufácea. Esta fácies mostra uma gradação lateral para ignimbritos lapilíticos ricos em litoclastos, púmices e cristaloclastos de feldspato potássico e quartzo. Acima ocorrem ignimbritos que foram separados em duas litofácies, uma lenticulítica sobreposta à outra rica em cristais (Sommer *et al.*, 2001).

2 - unidade efusiva: lavas riolíticas originadas a partir de zonas de fraturas, apresentando desde termos coerentes, com diversos padrões texturais, maciços, foliados até autoclásticos. São representados por riolitos comendíticos, com menor ocorrência de rochas traquíticas, relacionados a zonas de fraturas, onde exibem normalmente um padrão de foliação subvertical que grada lateralmente para autobrechas, lavas com foliação de fluxo sub-horizontais e termos maciços. Depósitos de lavas básicas e diques ocorrem no topo desta seqüência, na porção NE do Platô.

As rochas ácidas da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada ocorrem também como diques e *sills* que cortam principalmente as rochas do embasamento ao norte do Platô da Ramada.

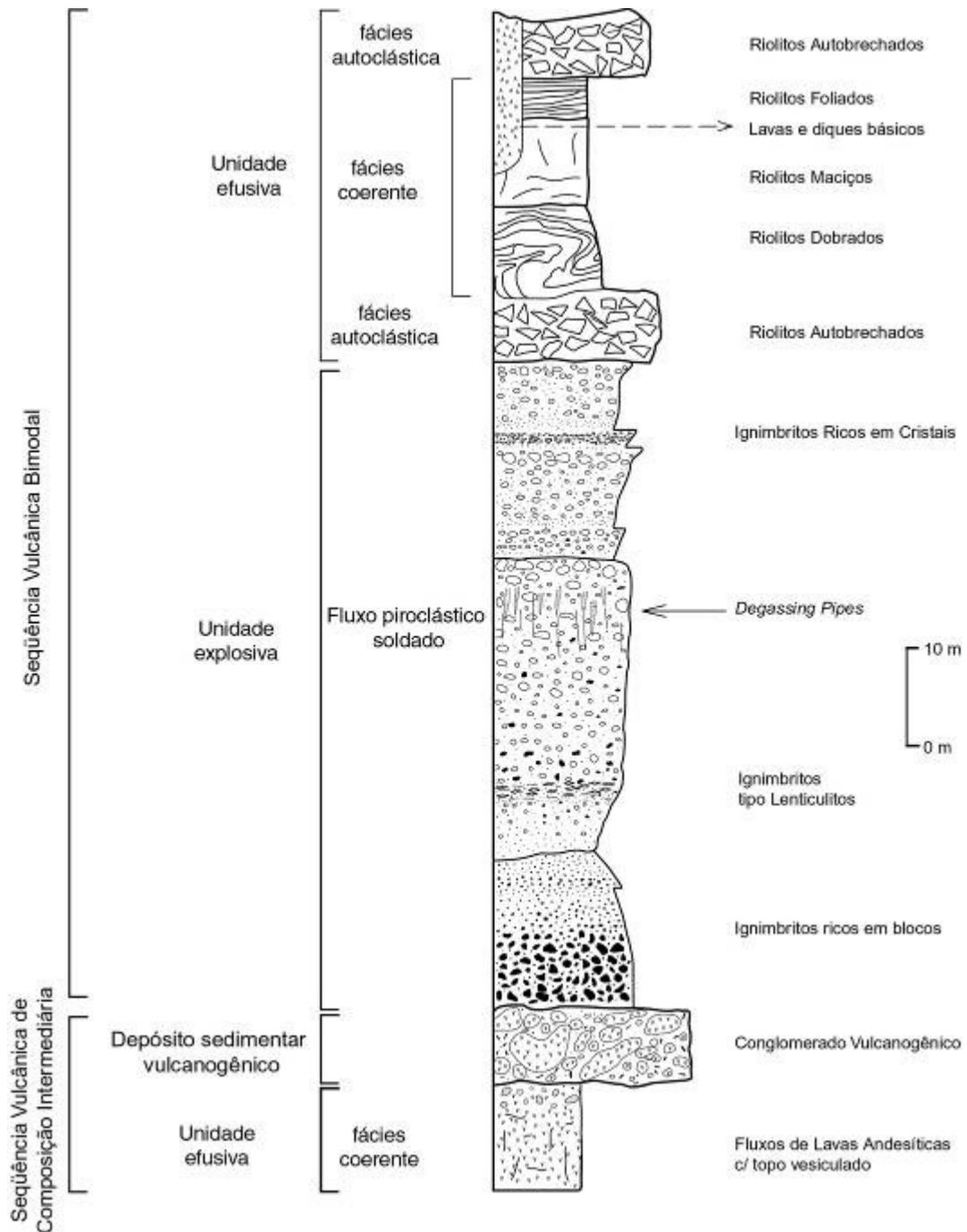


Figura 7 – Perfil estratigráfico esquemático, proposto para as seqüências vulcânicas do Platô da Ramada (extraído e modificado de Sommer *et al.*, 2003).

Seqüência Vulcânica de Composição Intermediária = Formação Hilário.

Seqüência Vulcânica Bimodal = Formação Acampamento Velho.

3.3.2 – Intrusão Diorítica

Identificou-se na intrusão estudada duas porções separadas por uma cunha ignimbrítica encaixada em zona de falha com aproximadamente 600 metros de largura (Fig. 8).

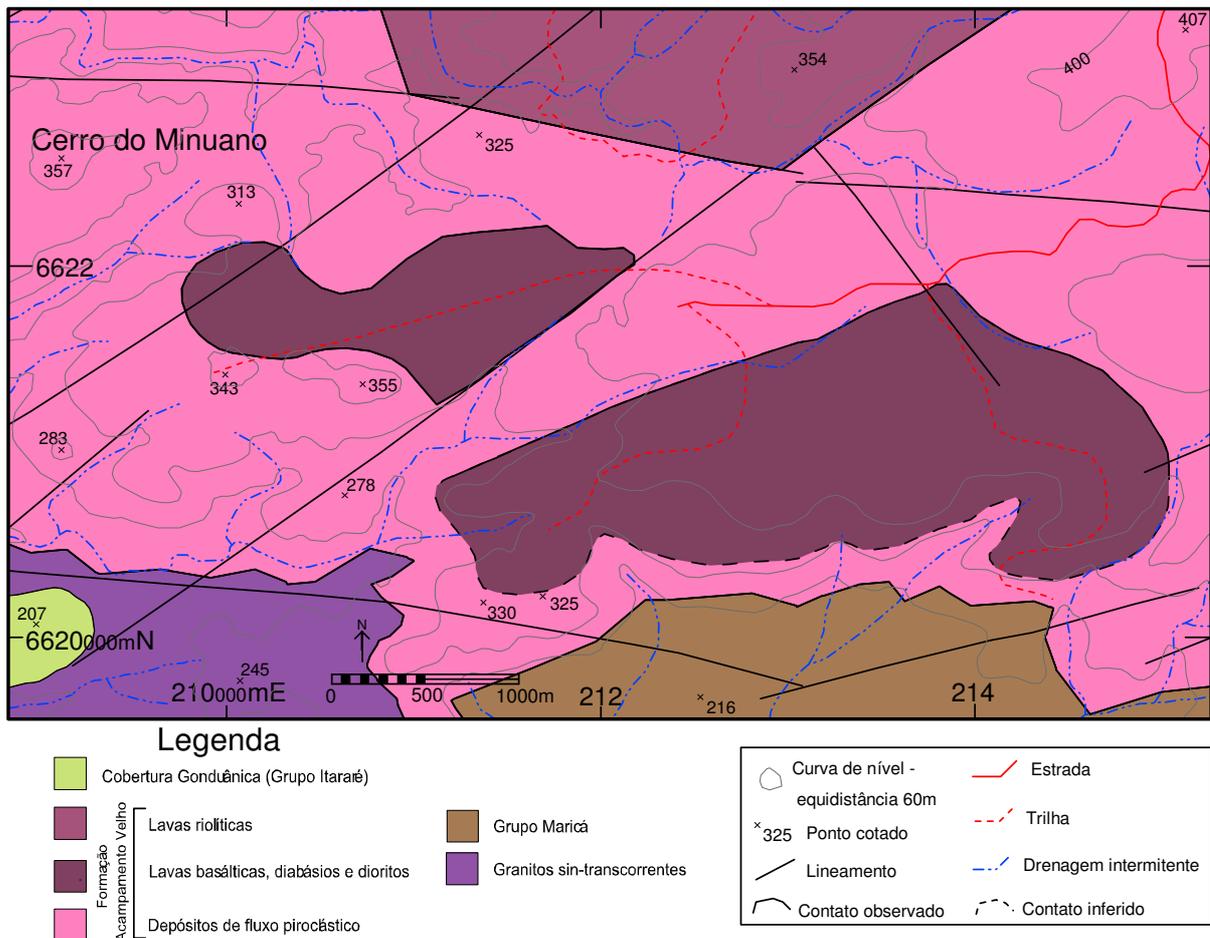


Figura 8 – Detalhe da figura 6, destacando a intrusão diorítica na porção sul do Platô da Ramada.

A porção menor da intrusão (oeste) tem em média 2 km de comprimento (E-W) e 600 metros de largura (N-S). A outra porção possui dimensões 3 km (E-W) e 1,25 km (N-S). Os afloramentos em geral ocorrem como blocos e matacões bem arredondados, porém em algumas zonas de

falha ocorrem lageados com poucos metros de diâmetro e blocos com faces angulosas. Em alguns casos ocorrem cataclasitos associados a estas zonas de deformação rúptil. Estas zonas de falha são visivelmente marcadas por lineamentos observados em imagens orbitais e concordantes com as atitudes das fraturas observadas em campo (E-W à NE-SW e subordinadamente N-S), conforme estereogramas da figura 9.

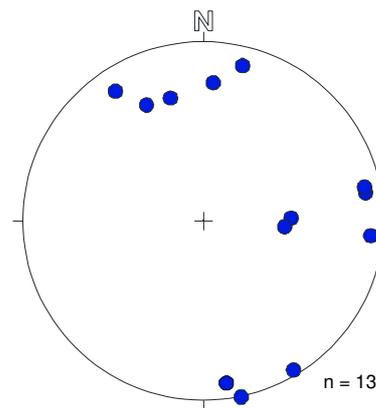


Figura 9 – Padrão de fraturamento E-W à NE-SW e subordinadamente N-S.

Em geral, essas zonas de falha são marcadas por baixos topográficos que concentram maior umidade (banhados e córregos) o que causa um relevo levemente ondulado com “bacias” em cujas bordas mais elevadas ocorrem afloramentos (Fig. 10).

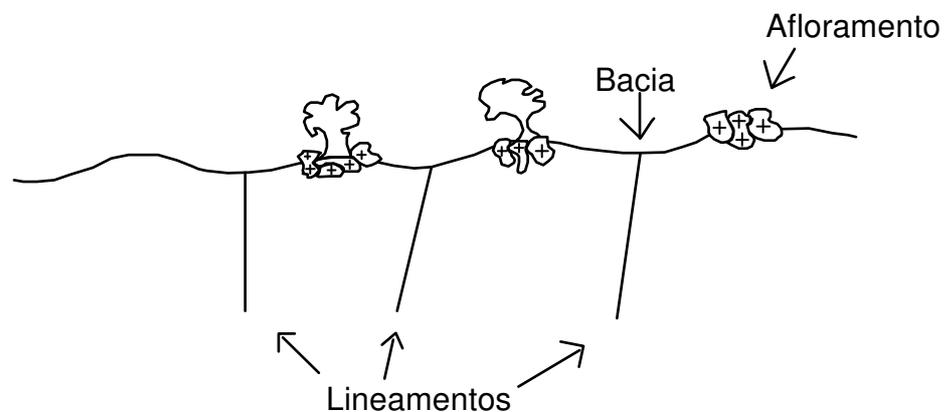


Figura 10 – Ilustração esquemática da relação dos lineamentos com a geomorfologia na área aflorante da intrusão diorítica.

Os contatos da intrusão com as encaixantes ignimbríticas normalmente são destacados pela quebra de relevo e realçados em alguns casos por anomalias botânicas (Fig. 11).



Figura 11 – Anomalia botânica entre a intrusão diorítica (vegetação arbustiva) e ignimbritos (gramíneas).

Em parte, este contato é de forma intrusiva, como evidenciado pela presença de margens resfriadas e xenólitos das encaixantes. A margem resfriada é evidenciada pela variação textural observada em direção ao contato, desde termos equigranulares finos até porfiríticos, algumas vezes com uma matriz afanítica. Os xenólitos são caracterizados por fragmentos angulosos da rocha encaixante ignimbrítica envolvidos pela rocha diorítica (Fig. 12).

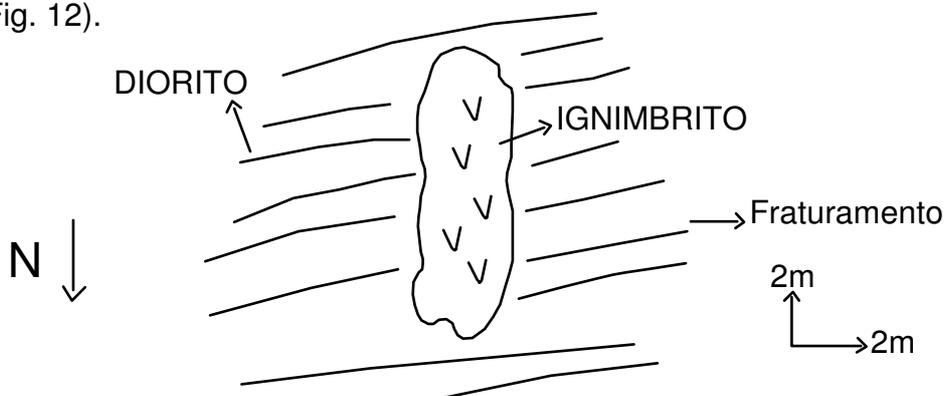


Figura 12 – Xenólito ignimbrítico em encaixante diorítica.

O contato também ocorre em zonas de falha como observado na figura 08. Uma tectônica rúptil posterior a intrusão também está presente e é evidenciada pela presença de um forte fraturamento que afeta tanto o corpo estudado quanto a sua encaixante.

Macroscopicamente, constata-se que o corpo subvulcânico diorítico possui textura equigranular média a grossa e hipidiomórfica nas suas porções centrais, tendendo a tornar-se porfirítico com fenocristais de plagioclásio (menos que 5%) euédricos de até 5mm e matriz muito fina a afanítica próximo ao contato com a encaixante. Em alguns casos se observa textura afanítica com raros fenocristais de plagioclásio no contato com a encaixante. Nota-se que em alguns pontos a variação na textura, de equigranular média para equigranular fina ou afanítica é acompanhada por uma quebra de relevo. A cor da rocha normalmente é acinzentada, porém alguns termos monzodioríticos possuem um aspecto avermelhado, nestes casos observam-se fenocristais de plagioclásio envoltos por feldspato potássico, marcando a textura anti-rapakivi.

CAPÍTULO 4

PETROGRAFIA

A estimativa visual realizada nos estudos petrográficos permitiu definir variações composicionais que no sistema QAPF (Streckeisen, 1978) correspondem desde diorito até monzonito.

Macroscopicamente as rochas possuem cores cinza-escuras a cinza-avermelhadas, sendo a tonalidade vermelha relacionada às composições mais diferenciadas e com maior conteúdo de feldspato alcalino.

A textura porfirítica é comum e caracterizada pela presença de fenocristais de plagioclásio com 3mm a 5mm de comprimento em matriz inequigranular muito fina a média (Fig. 13). A proporção matriz : fenocristais é 90:10.

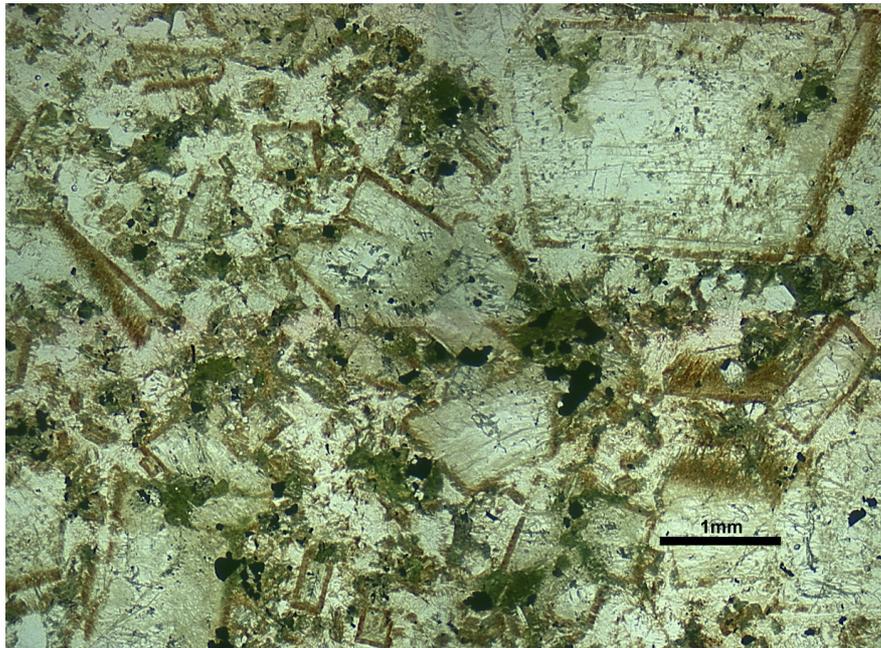


Figura 13 – Diorito de petrotrama porfirítica, com fenocristais de plagioclásio (luz natural).

As texturas micrográfica, caracteriza pelo intercrescimento de quartzo e feldspato potássico e anti-rapakivi, marcada por cristais em cujo núcleo ocorre plagioclásio e nas bordas feldspato potássico são também freqüentes e em geral ocorrem nas rochas da parte central do corpo (Fig. 14, 15 e 16).

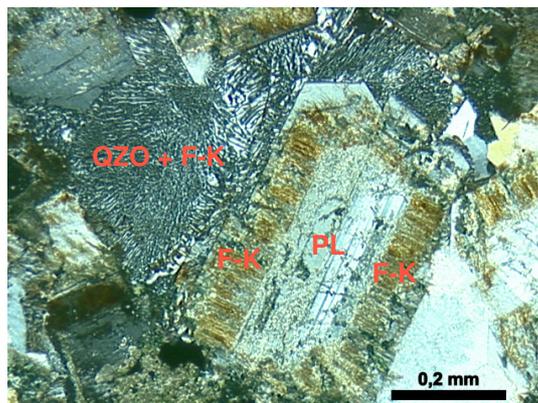


Figura 14 – Fenocristal de plagioclásio (PL) envolto por crescimento de feldspato potássico (F-K) marcando a textura anti-rapakivi. Intercrescimento de quartzo (QZO) + feldspato potássico formando textura micrográfica (luz polarizada).

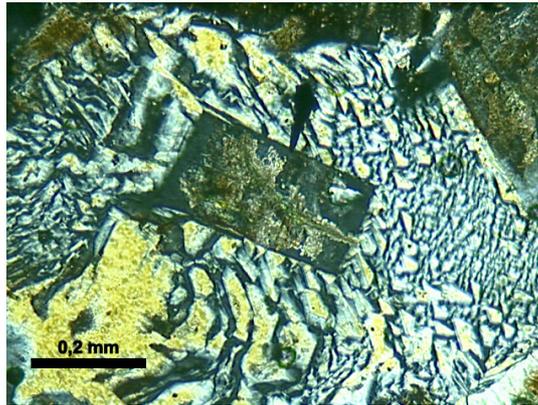


Figura 15 – Fenocristal de plagioclásio (centro) envolto por arranjo micrográfico (quartzo + feldspato potássico) (luz polarizada).

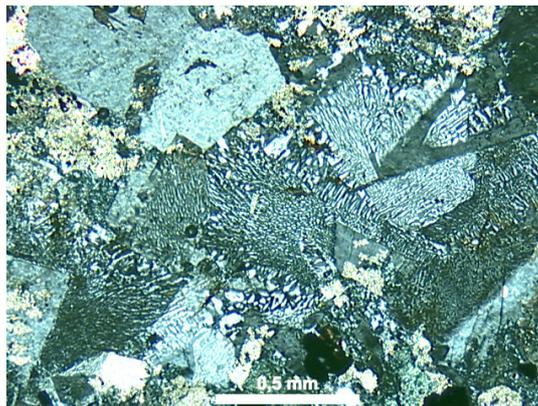


Figura 16 – Arranjo micrográfico (quartzo + feldspato potássico) (luz polarizada).

Os minerais essenciais são plagioclásio, feldspato potássico e quartzo, sendo o anfibólio a augita as fases máficas, acompanhada de minerais acessórios como zircão, apatita e opacos. Clorita e calcita destacam-se como minerais de alteração dos anfibólios.

4.1 Descrição das Fases

4.1.1 – Plagioclásio

O plagioclásio (An_{45}) em geral é euédrico e com contatos nítidos, exceto quando os cristais estão reabsorvidos. Possui tamanhos que variam de 0,5mm a 5mm, o que dá o aspecto porfírico a rocha. Observa-se zonação em alguns cristais (Fig. 17), indicativo de cristalização lenta em ambiente hipabissal. Reabsorção de bordas e principalmente do núcleo é comum em alguns minerais (Fig. 18), sugerindo composições mais cálcicas, as quais são menos estáveis a medida que o corpo resfria. É comum a presença de macla polissindética e em alguns casos ocorre também macla do tipo *Carlsbad*. Em algumas lâminas é comum a ocorrência da textura anti-rapakivi, dada pelo crescimento de feldspato alcalino nas bordas dos cristais de plagioclásio. Trata-se de um crescimento mineral tardio que afeta todos os cristais de plagioclásio, independente do seu tamanho. A presença destes crescimentos de feldspato é responsável por caracterizar os tons avermelhados da rocha. Alguns cristais estão parcialmente alterados para mica branca.

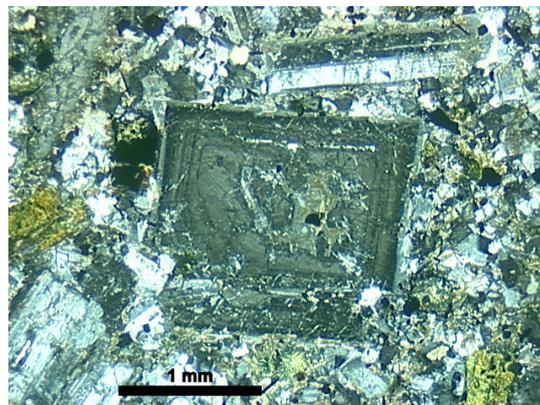


Figura 17 – Zonação em fenocristal de plagioclásio (luz polarizada).

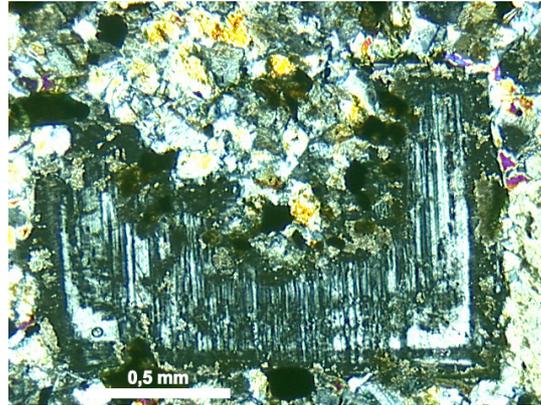


Figura 18 – Reabsorção em fenocristal de plagioclásio (luz polarizada).

4.1.2 – Feldspato potássico

O feldspato potássico está essencialmente restrito a cristalização tardia, anelando os grãos de plagioclásios (textura anti-rapakivi) ou intercrescido com quartzo formando textura micrográfica (Fig. 14, 15 e 16). Os crescimentos sobre os cristais de plagioclásio geralmente formam uma fina crosta de contatos nítidos e regulares que geralmente não passa de 0,1mm de espessura. Essa crosta possui uma coloração cinza-avermelhada, o que faz com que se distingue perfeitamente o limite entre o plagioclásio e o feldspato alcalino. Ocorre crescimento de feldspato tanto nos plagioclásios precoces quanto nos da matriz. Os intercrescimentos com quartzo formam minerais anédricos preenchendo espaços intergranulares.

4.1.3 – Quartzo

Esta fase em geral ocorre intercrescida com feldspato potássico, porém em algumas laminas com menor quantidade de feldspato potássico é comum a presença de cristais de quartzo anédricos a subédricos, com até 1mm (Fig.19).

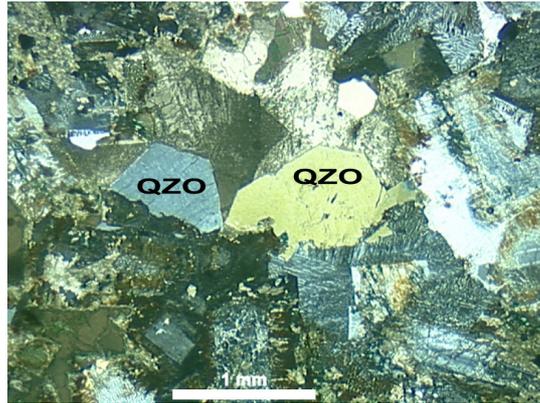


Figura 19 – Cristais subédricos de quartzo (QZO) (luz polarizada).

4.1.4 – Anfibólio

Os prismas de anfibólio estão em geral alterados como preenchimento de interstícios granulares, intensamente cloritizados (Fig. 20). Ocasionalmente ocorrem cristais subédricos, com até 2mm. Em alguns grãos ainda é possível observar um fraco pleocroísmo verde – marrom. Destaca-se a textura ofítica, na qual o anfibólio aparece englobando outras fases minerais. Esporadicamente ocorre como exsolução da augita.

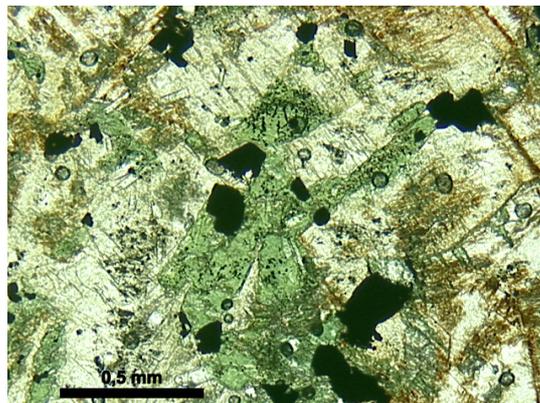


Figura 20 – Anfibólio cloritizado em interstícios granulares (luz natural).

4.1.5 – Piroxênio

Raros cristais de augita foram observados. Ocorrem como manchas, quase totalmente exsolvidos para anfibólio.

4.1.6 – Apatita

Esta fase em geral possui um hábito acicular com dimensões até 2mm de comprimento e moda 0,5mm. É comum em todas as laminas observadas. Normalmente ocorrem associados aos minerais tardios, principalmente inclusos em anfibólio (Fig. 21).

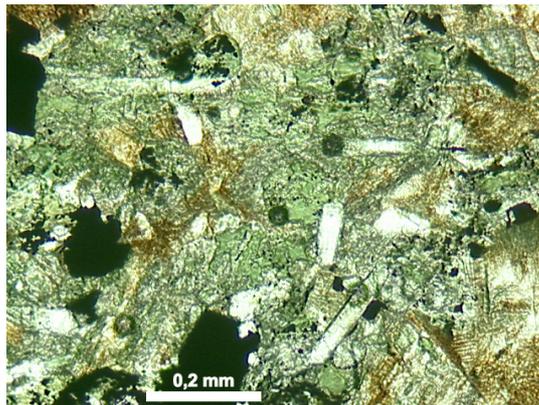


Figura 21 – Cristais de apatita com hábito acicular (luz natural).

4.1.7 – Zircão

Este acessório geralmente possui dimensões da ordem de 0,1mm, com hábito prismático subédrico a euédrico (Fig. 22) e em alguns casos hábito lamelar a acicular, formando nesses casos feixes ou leques (Fig. 23). Zircão está presente na grande maioria das amostras.

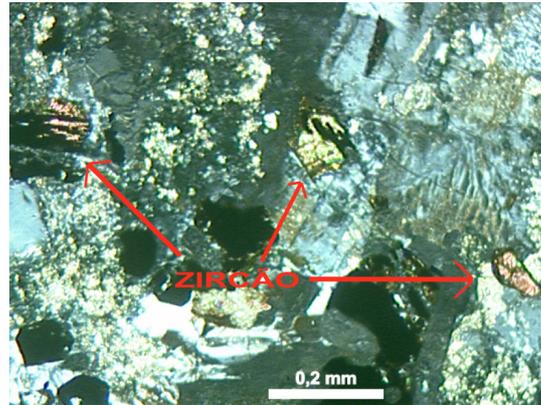


Figura 22 – Cristais de zircão com hábito prismático (luz polarizada).

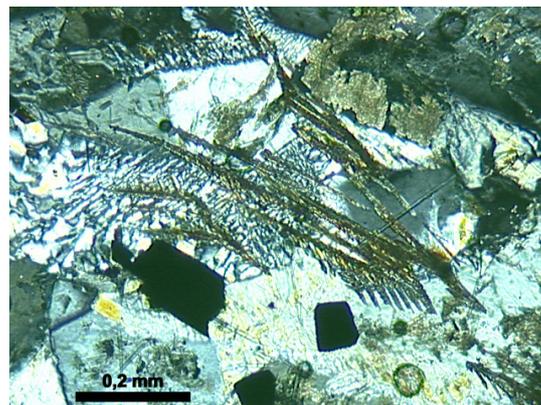


Figura 23 – Cristais de zircão com hábito acicular (luz polarizada).

4.1.8 – Minerais Opacos

Os minerais opacos são representados essencialmente por oxidados de ferro e em geral possuem hábito subédrico a euédrico. Estão presentes normalmente junto aos minerais intersticiais.

4.1.9 – Calcita

Ocorre como preenchimento de interstícios, resultado da cristalização tardia de líquidos ricos em carbonato de cálcio. Possui formas anédricas a subédricas de até 2mm. Uma fraca extinção ondulante é notável na maioria dos grãos (Fig. 24).

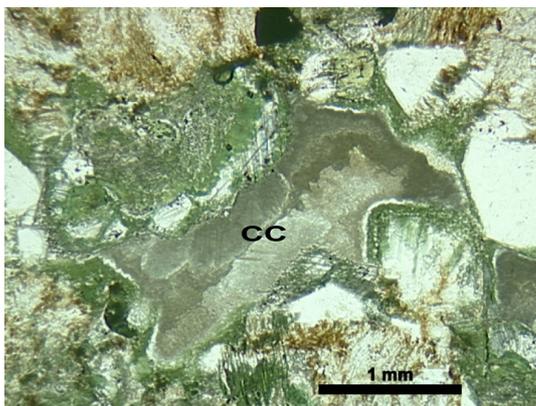


Figura 24 – Calcita (CC) em interstícios granulares (luz natural).

4.1.10 – Clorita

Um produto de alteração dos anfibólios, preenchendo também os interstícios granulares.

4.2 Contagem Modal

A contagem modal foi realizada conforme metodologia especificada no capítulo 2. Apenas uma amostra foi submetida a este procedimento, o restante optou-se por fazer uma estimativa visual da porcentagem mineralógica. Os resultados são apresentados na figura 25. As porções em cor preta são referentes aos respectivos minerais.

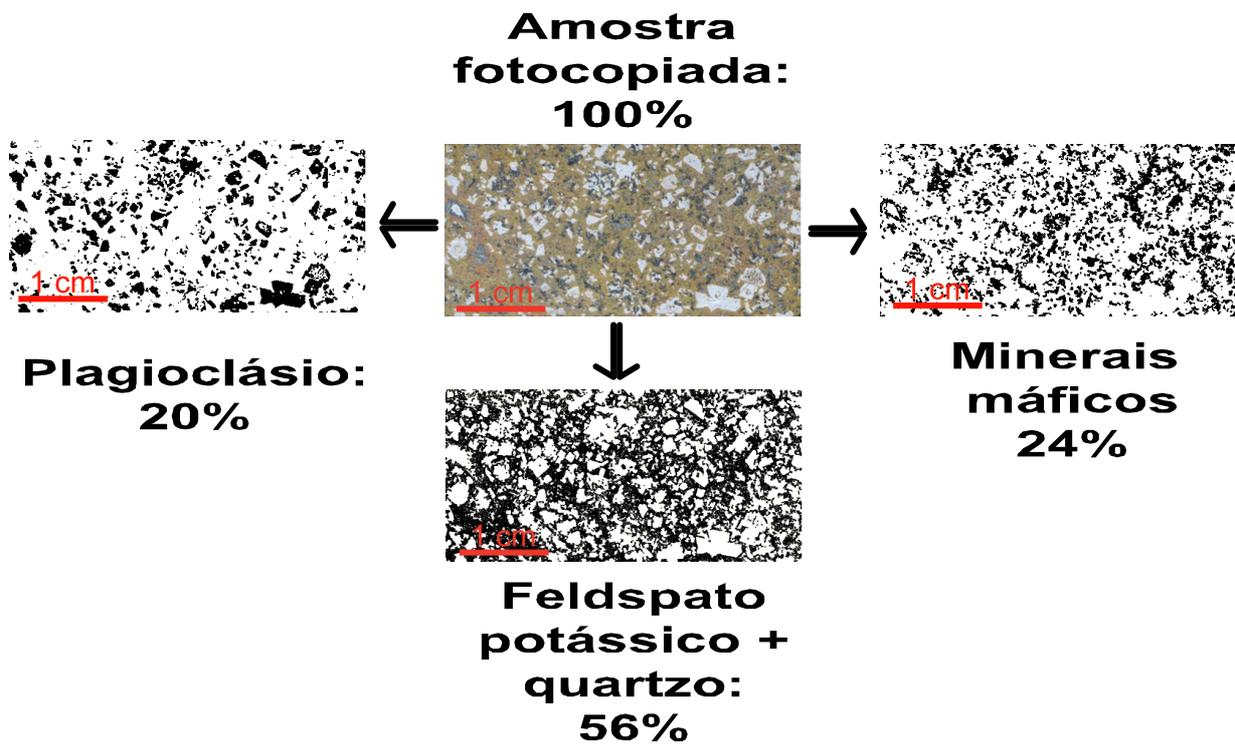


Figura 25 – Resultados do procedimento de contagem modal. A partir de uma amostra digitalizada obteve-se os percentuais (áreas em cor preta) 20% de plagioclásio, 56% de feldspato potássico + quartzo e 24% de minerais máficos.

CAPÍTULO 5

LITOQUÍMICA

5.1 - Caracterização Geoquímica de Elementos Maiores da Intrusão Diorítica

Estudos geoquímicos foram realizados em 12 amostras representativas da intrusão diorítica, cujos dados são apresentados na tabela 1. Segundo a classificação no diagrama *TAS* para rochas plutônicas (Cox *et al.*,1979) as amostras ocupam o campo dos sieno-dioritos próximo ao campo dos quartzo-dioritos (Fig. 26), formando um *trend* comum em seqüências alcalinas.

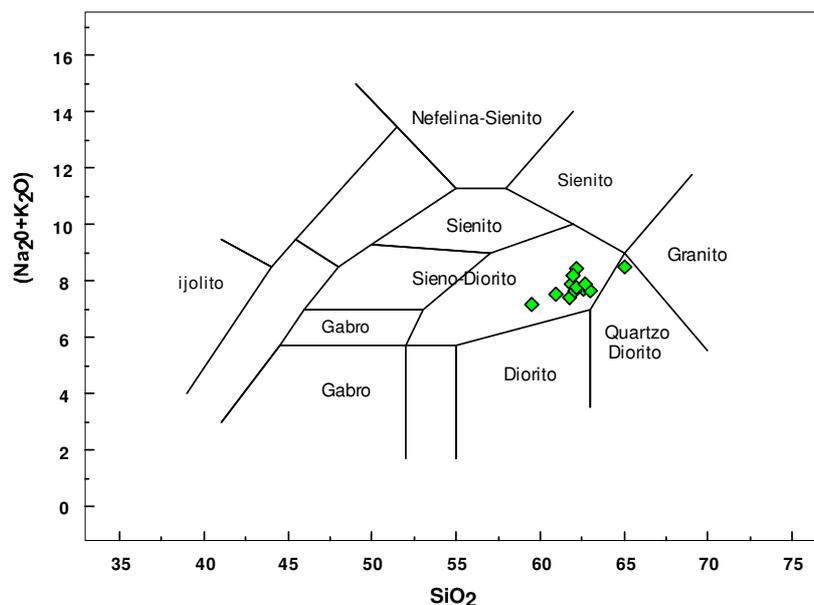


Figura 26 - Diagrama classificatório TAS para rochas plutônicas (Cox *et al.*,1979).

Tabela 1 – Resultados analíticos para elementos maiores das amostras representativas da intrusão diorítica. Óxidos em peso %.

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	L.O.I.	Total
JU24	56,91	14,35	8,96	0,15	1,45	4,9	3,51	3,31	1,491	0,59	4,17	99,78
RM 308	58,84	13,97	7,22	0,137	1,3	3,99	3,43	3,9	1,35	0,5	4,35	98,97
JU13	58,97	14,32	7,48	0,143	1,53	4,25	3,51	3,54	1,243	0,47	4,41	99,86
Pto25e	59,18	13,94	7,58	0,144	1,32	4,27	3,55	4	1,229	0,46	4,23	99,91
Pto24c	59,29	13,5	7,33	0,147	1,5	3,95	3,66	3,59	1,23	0,45	4,9	99,54
RM 312	59,44	14,6	7,77	0,16	1,5	4,61	3,76	3,55	1,507	0,58	3,47	101
RM 314	59,72	14,26	7,5	0,157	1,04	3,94	3,82	4,04	1,348	0,52	4,28	100,6
RM 305	60,18	14,35	7,63	0,137	1,8	3,48	3,89	3,52	1,389	0,53	3,95	100,9
JU23	60,46	14,55	7,56	0,148	1,05	3,69	3,96	4,23	1,084	0,41	2,55	99,71
RM 306	60,76	14,26	7,02	0,125	1,48	3,69	3,77	3,59	1,279	0,48	4,16	100,6
RM 311B	60,82	14,25	7,24	0,158	1,35	3,72	3,73	3,91	1,303	0,48	3,56	100,5
JU22	63,01	13,66	6,97	0,182	0,96	2,63	3,73	4,49	0,846	0,27	2,62	99,37

O diagrama de Peacock (1931) mostra, pela intersecção dos trends $\text{SiO}_2 \times (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ e $\text{SiO}_2 \times \text{CaO}$, um caráter álcali-cálcico para as rochas da intrusão diorítica (Fig.27).

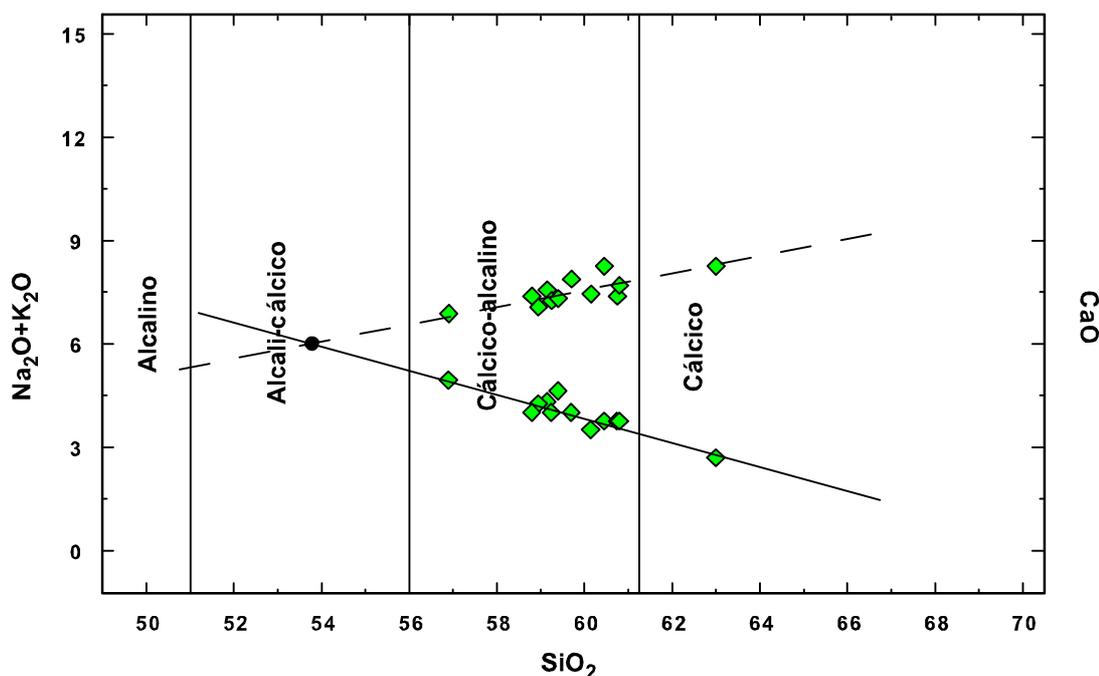


Figura 27 - Diagrama de Peacock (1931), mostrando o caráter álcali-cálcico das rochas intermediárias. A linha pontilhada representa o *trend* $\text{SiO}_2 \times \text{Álcalis}$ ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) e a linha cheia representa o *trend* $\text{SiO}_2 \times \text{CaO}$.

As rochas estudadas são saturadas em SiO_2 e possuem teores variando entre 56,91% a 63,01% sendo que predominam composições em torno de 59%.

Os teores de Al_2O_3 variam de 13,5% a 14,55% e são aproximadamente constantes, independentemente do grau de diferenciação.

Os valores de FeOt (ferro total) variam entre 6,97% e 8,96%, mostrando uma tendência de maior concentração nas rochas menos diferenciadas.

O CaO, assim como o FeOt, tende a concentrar-se nos termos menos diferenciados, apresentando teores entre 2,63% e 4,9%.

Os teores de MnO (0,125% a 0,182%) apresentam-se aproximadamente constantes independente da diferenciação.

O MgO (0,96% a 1,8%) mostra um leve decréscimo em direção as rochas mais diferenciadas.

Os teores de Na₂O e K₂O variam, respectivamente, entre 3,43% a 3,96% e 3,31% a 4,49%. O teor de álcalis (Na₂O + K₂O) varia de 6,82% a 8,22% e aliado a elevados valores de FeOt em relação a MgO caracteriza estas rochas como sendo uma típica associação de afinidade alcalina.

As concentrações de TiO₂ e P₂O₅ variam, respectivamente, de 0,85% a 1,51% e 0,27% a 0,59% e mostram uma correlação negativa com os teores de SiO₂.

O padrão de distribuição dos elementos maiores em relação ao índice de diferenciação SiO₂ (Fig. 29) sugere o fracionamento como o principal fator de diferenciação. Esta diferenciação fica bastante evidenciada no comportamento do CaO, Al₂O₃, TiO₂, FeOt e P₂O₅. O Na₂O e o K₂O por outro lado, mostram um enriquecimento com a diferenciação, especialmente o K₂O. Os conteúdos de MnO apresentam-se mais dispersos, mostrando um comportamento diferente dos outros elementos.

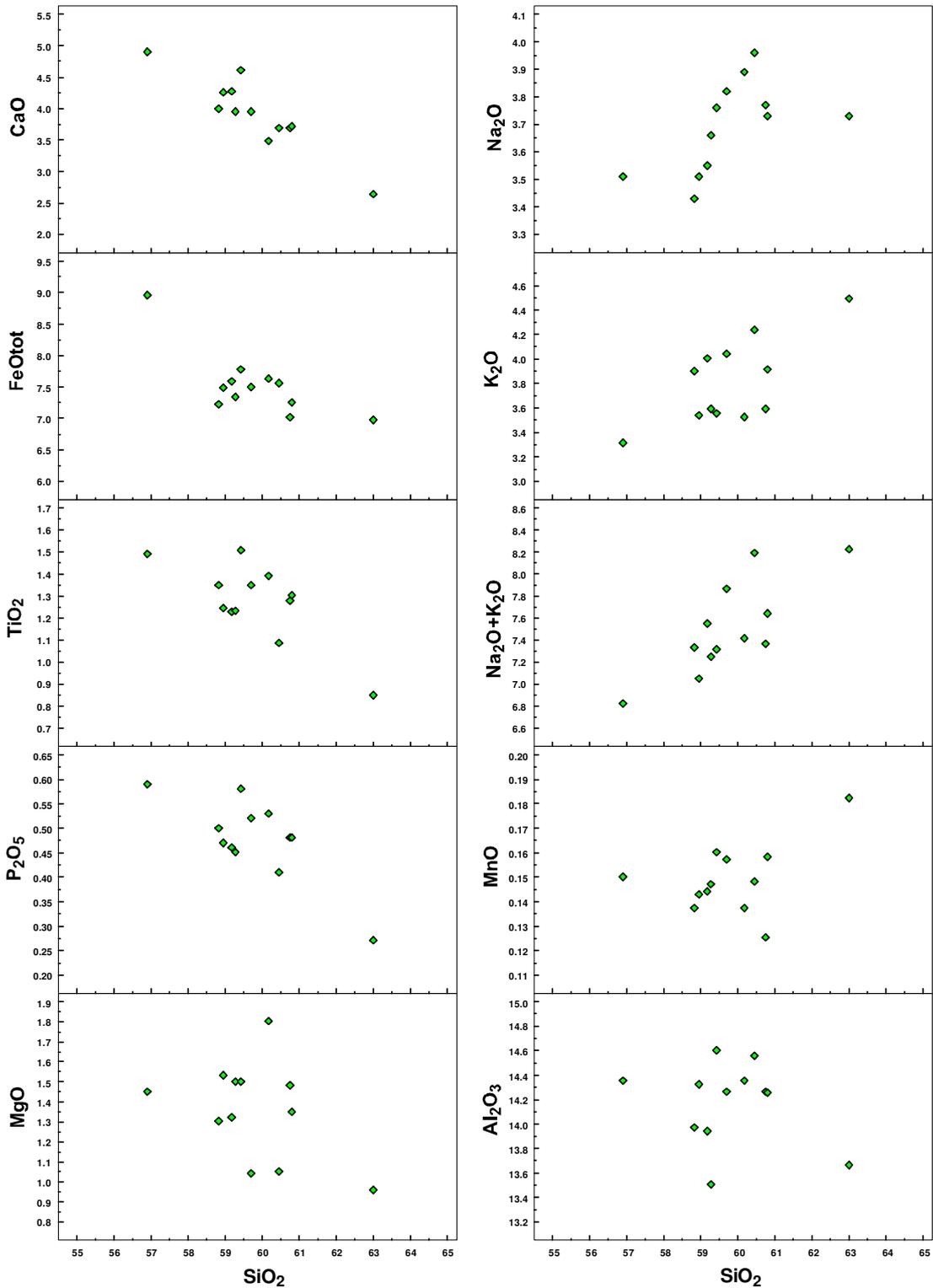


Figura 28 – Diagramas binários dos elementos maiores e somatório de álcalis da intrusão diorítica, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação.

CAPÍTULO 6

RELAÇÕES PETROGENÉTICAS DA INTRUSÃO DIORÍTICA COM A FORMAÇÃO ACAMPAMENTO VELHO

De acordo com a proposta do trabalho temático investigou-se a relação entre os termos intermediários estudados com o magmatismo da Formação Acampamento Velho. Adicionando-se os dados geoquímicos das rochas dioríticas aos das rochas básicas e ácidas do Platô da Ramada no diagrama *TAS* para rochas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1986) constata-se um *trend* magmático (Fig. 30), onde as rochas dioríticas ocupam o intervalo composicional originalmente observado entre as rochas básicas e ácidas por Sommer (2003). Nos diagramas binários de *Harker* (Fig. 31) os dados químicos das rochas dioríticas colocam-se entre os termos mais básicos e ácidos do Platô, definindo, em geral, *trends* hiperbólicos regulares e contínuos, sugestivos de processos de cristalização fracionada como principal mecanismo de diferenciação magmática.

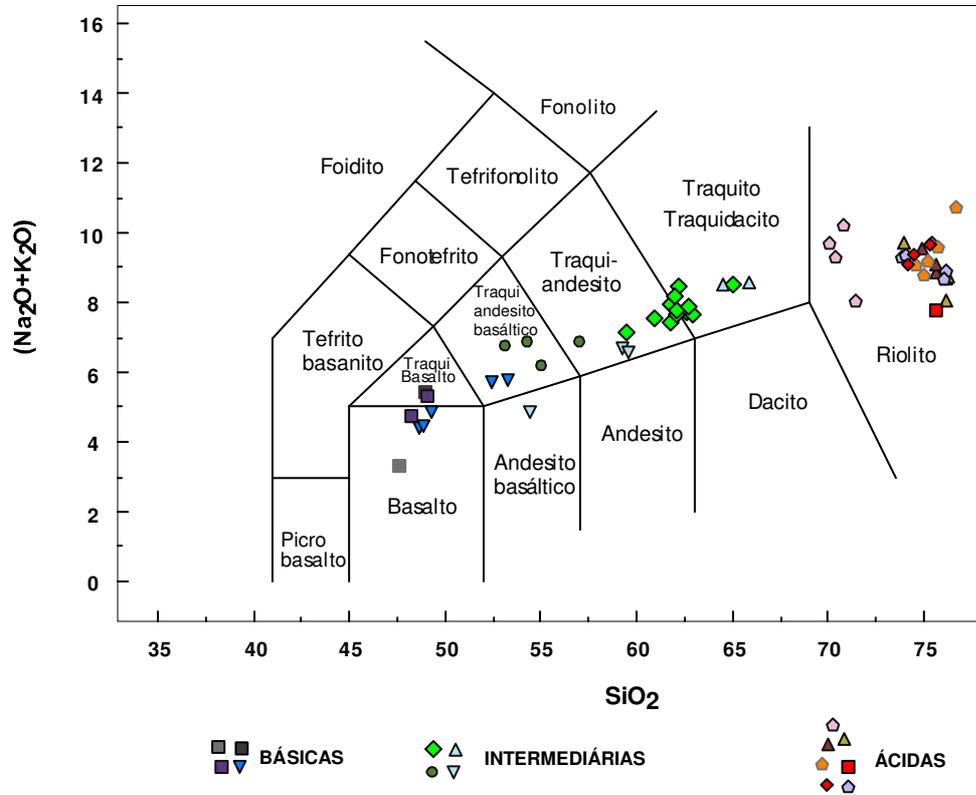


Figura 29 - Diagrama classificatório *TAS* para rochas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1986). As rochas da intrusão diorítica estão representadas por losangos verdes.

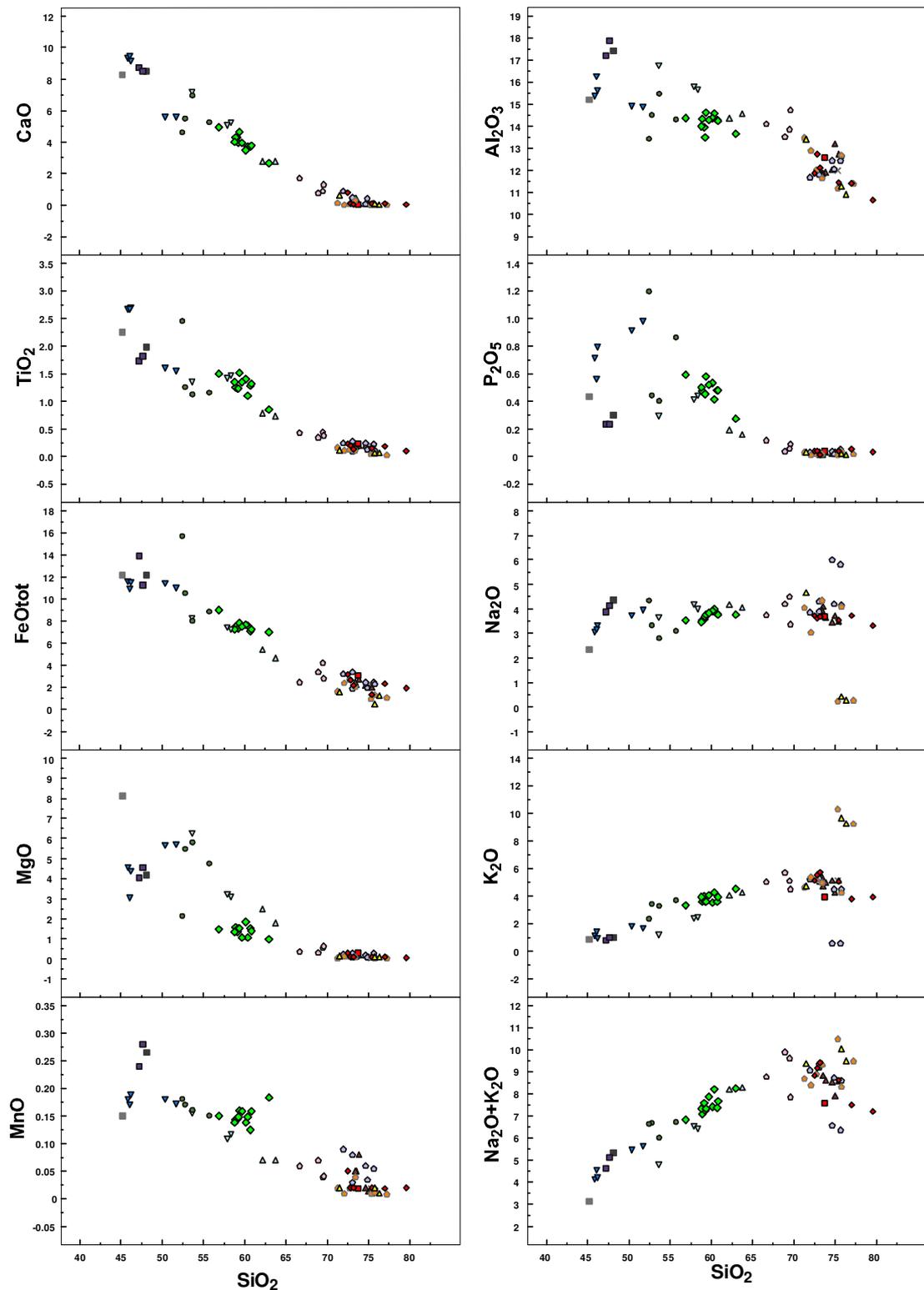


Figura 30 - Diagramas binários dos elementos maiores e somatório de álcalis da intrusão diorítica utilizando SiO_2 como índice de diferenciação. As rochas da intrusão diorítica estão representadas por losangos verdes.

6.1 - Gênese e Evolução de Magmas Alcalinos – Considerações Gerais

Diversos mecanismos têm sido propostos para explicar a origem e evolução de magmas alcalinos enriquecidos em sílica, como ressaltado por Clemens *et al.* (1986): (1) líquidos riolíticos residuais produzidos pelo fracionamento de magmas alcalinos de origem mantélica (Loiselle & Wones, 1979); (2) assimilação de rochas crustais por um magma alcalino de origem mantélica, produzindo um derivado sienítico que, por fracionamento, origina uma composição riolítica (Barth, 1945); (3) magmas riolíticos peralcalinos originados, possivelmente, por uma imiscibilidade de líquidos ocorrida, em pequena escala, em muitos magmas basálticos (Philpotts, 1976; Eby, 1979); (4) difusão termogravitacional no estado líquido que explicaria a origem de variações químicas em alguns magmas riolíticos alcalinos (Shaw *et al.*, 1976; Hildreth, 1979); (5) fracionamento de um magma parental tipo I, produzindo um líquido residual de afinidade alcalina (Collins *et al.*, 1982); (6) magmas alcalinos derivados da fusão da crosta inferior sob a influência de voláteis de origem mantélica (Bailey, 1974); (7) fusão parcial de alta temperatura, diretamente a partir de uma fonte crustal empobrecida, do tipo I, formando magmas alcalinos (Collins *et al.*, 1982; White & Chappell, 1983; Whalen *et al.*, 1987).

Turner *et al.* (1992) sugerem que o principal processo de formação de magmas graníticos alcalinos é o de diferenciação a partir de magmas basálticos, por processos de cristalização fracionada, acompanhada frequentemente de assimilação crustal.

A geração de rochas ácidas alcalinas a partir de magmas básicos também pode ser evidenciada pelas relações de campo observadas em algumas associações: a ocorrência de granófiros de composição alcalina em complexos máficos estratificados (*e.g.* doleritos da Tasmânia e Skaergaard), rochas ácidas alcalinas em ilhas vulcânicas oceânicas (*e.g.* Ascension, Reunion, Easter e Kergulean (Baker, 1974)) e riolitos alcalinos de associações vulcânicas bimodais como Iceland e Queensland (Ewart, 1979).

A hipótese de cristalização fracionada é defendida por Wilson (1989), em combinação com um processo de contaminação crustal, como o maior responsável pela evolução de magmas alcalinos altamente diferenciados de basaltos transicionais ou moderadamente alcalinos. Esta hipótese tem sustentação também em dados de elementos traços e isótopos radiogênicos obtidos em várias associações alcalinas vinculadas a um magmatismo típico de riftes continentais (*e.g.* Barberi *et al.*, 1975; Baker & MacBirney, 1985; Price *et al.*, 1985).

6.2 - Evolução e Modelagem da Intrusão Diorítica e o Magmatismo da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada

O magmatismo alcalino sódico da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada é constituído por composições que variam de básica até ácida e que ocupam os campos basalto ou hawaiito, traquibasalto, traquiandesito basáltico, mugarito, traquiandesito benomoriito, traquito-traquidacito e riolito no diagrama de classificação de Le Bas *et al.*, (1986).

Com apoio da descrição petrográfica e da geoquímica de elementos maiores testou-se a hipótese de vínculo petrogenético entre os diferentes litotipos por processos de diferenciação envolvendo cristalização fracionada. A escolha deste mecanismo é coerente com os dados petrográficos descritos no capítulo 4. Testou-se, portanto, o processo de cristalização fracionada para explicar a diferenciação entre as rochas básicas, intermediárias e ácidas, com enfoque nas composições da intrusão diorítica conforme proposta inicial do trabalho.

Utilizou-se o programa *Petrograph* (Petrelli *et al.*, 2005) na modelagem com elementos maiores. Devido ao amplo intervalo de conteúdo de SiO₂ das rochas estudadas, decidiu-se testar a hipótese de cristalização fracionada a partir de três estágios distintos.

No primeiro teste foi utilizado o intervalo de 51,7% de SiO₂ a 56,91 % de SiO₂, recalculado para base anidra, correspondendo a uma composição diorítica gerada a partir de um líquido básico. A escolha das fases minerais

para o fracionamento fundamentou-se nos estudos petrográficos. As composições das fases minerais (Tab. 2) foram obtidas a partir do trabalho de Lima (1995) que descreve rochas com mineralogia e afinidade geoquímica semelhantes às do corpo diorítico.

Mineral \ Oxido (peso%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
Anfibólio	41,76	12,07	13,13	0,	12,84	10,89	2,22	1,31	2,4	-	-	96,79
K-Feldspato	64,1	19,06	-	0,12	0,04	0,01	0,35	15,1	0,05	-	-	100,42
Piroxênio	51,36	2,91	7,45	0,11	15,55	20	0,42	0,02	1,01	-	-	99,05
Titanomagnetita	-	1,84	75,3	0,37	0,78	-	-	-	18,8	-	-	97,78
Albita	67,84	19,65	0,03	-	0,04	-	11,07	0,29	-	-	-	99,8
Anortita	44,17	34,95	0,56	-	-	18,63	0,79	0,05	-	-	-	100,24
Olivina	37,2	-	29,16	-	32,72	0,18	-	-	-	-	-	99,53

Tabela 2 – Composições das fases minerais utilizadas no modelo, conforme Lima (1995).

Os resultados obtidos favorecem a hipótese de cristalização fracionada para geração da composição diorítica, sendo a soma dos quadrados dos resíduos menor do que a unidade (Tab. 3). O volume de fracionado (56,88%) é também coerente com a hipótese de cristalização fracionada, sendo o volume do líquido final diorítico próximo à metade do líquido inicial (Tab. 3). Segundo Mattsson & Oskarsson (2005) percentagens elevadas de fracionamento são relativamente comuns entre líquidos básicos. As percentagens de plagioclásio extraídas e as proporções de albita e anortita indicam a forte influência do plagioclásio (andesina) na evolução para as composições dioríticas. Adicionalmente, as percentagens das fases máficas sugerem um olivina basalto como composição do líquido primitivo, de acordo com o conceito do tetraedro de basalto ou sistema haplo-basáltico (Yoder & Tilley, 1962). A consideração deste sistema é importante para discussões quanto aos conteúdos de elementos maiores e quanto à origem das rochas basálticas. Os minerais comuns aos basaltos, olivina,

clinopiroxênio, ortopiroxênio e plagioclásio, substituem os membros finais quimicamente puros: forsterita, diopsídio, enstatita e albita. Desta forma as rochas basálticas podem ser divididas em cinco grupos:

- (a) Toleíte (supersaturado): contém quartzo normativo e hiperstênio;
- (b) Toleíte (saturado): contém hiperstênio normativo, mas não contém quartzo normativo;
- (c) Olivina Toleíte: contém olivina e hiperstênio normativos;
- (d) Olivina Basalto: contém olivina normativa, mas não contém hiperstênio ou nefelina normativos (subsaturado);
- (e) Álcali Basalto: contém olivina e nefelina normativos.

As rochas dos grupos (a) e (b) são basaltos subalcalinos podendo ser, no entanto, toleíticos ou basaltos cálcico-alcalinos, as rochas dos grupos (d) e (e) são essencialmente basaltos alcalinos e as rochas do grupo (c) são chamadas de basaltos transicionais.

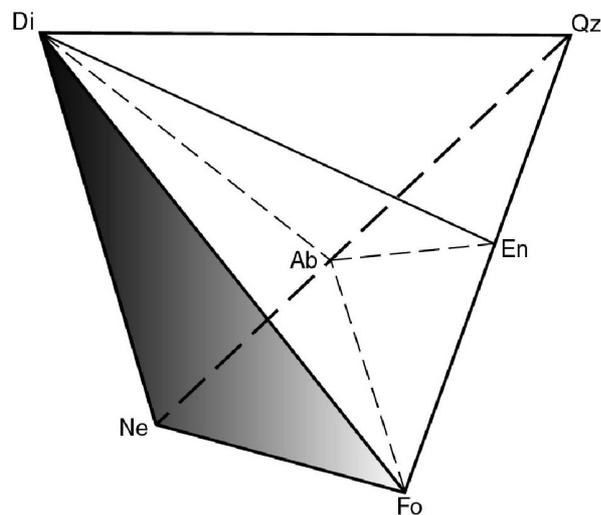


Figura 31 – Representação esquemática do tetraedro de basalto. Di-En-Ab é o plano de saturação em sílica e Di-Fo-Ab é o plano crítico de subsaturação em sílica (adaptado de Yoder & Tilley, 1962).

ANÁLISES RECALCULADAS PARA 100%

Oxido	Inicial	Final	Olivina	Anortita	Albita	Titanomagnetita	Piroxênio
SiO ₂	53,92888	59,9804	37,48	44,55	68,58	0	52,03
TiO ₂	1,613694	1,571442	0	0	0	19,4	1,02
Al ₂ O ₃	15,47978	15,12421	0	35,25	19,86	1,9	2,95
FeOtot	11,41164	9,443408	29,38	0,56	0,03	77,89	7,55
MgO	5,935306	1,52823	32,96	0	0,04	0,81	15,75
CaO	5,799701	5,164364	0,18	18,79	0	0	20,26
Na ₂ O	4,120292	3,699371	0	0,8	11,19	0	0,43
K ₂ O	1,710703	3,48858	0	0,05	0,29	0	0,02
Total	100	100	100	100	100	100	100

Oxido	Composição do fracionado	Diferença Observada entre magmas	Diferença Calculada entre magmas	Resíduos: (Obs.) - (Calc.)=
SiO ₂	49,493	6,052	5,965	0,087
TiO ₂	1,452	-0,042	0,068	-0,11
Al ₂ O ₃	15,822	-0,356	-0,397	0,041
FeOtot	13,093	-1,968	-2,076	0,107
MgO	9,271	-4,407	-4,404	-0,003
CaO	6,373	-0,635	-0,687	0,052
Na ₂ O	4,375	-0,421	-0,384	-0,037
K ₂ O	0,122	1,778	1,915	-0,137

Soma dos Quadrados dos Resíduos:

0,0556

	Fases Fracionadas (%)	Fases Fracionadas (100%)	Fases Adicionadas (100%)	Fases Subtraídas (100%)
Olivina	-13,12	23,07	0	23,07
Anortita	-12,95	22,76	0	22,76
Albita	-21,09	37,09	0	37,09
Timagnet,	-3,95	6,95	0	6,95
Piroxênio	-5,77	10,14	0	10,14

Total Fracionado (%)

56,88

Tabela 3 – Resultados do primeiro teste de modelagem petrogenética.

RESULTADOS

Óxido	Composição do fracionado	Diferença Observada entre magmas	Diferença Calculada entre magmas	Resíduos: (Obs.) - (Calc.)=
SiO ₂	43,579	5,453	5,489	-0,036
TiO ₂	3,699	-0,693	-0,708	0,015
Al ₂ O ₃	18,243	-0,939	-1,019	0,08
FeOtot	15,887	-2,205	-2,172	-0,033
MgO	3,942	-0,531	-0,74	0,208
CaO	11,768	-2,433	-2,27	-0,164
Na ₂ O	2,796	0,174	0,271	-0,096
K ₂ O	0,086	1,174	1,149	0,025

Soma dos Quadrados dos Resíduos: **0,0892**

	Fases Fracionadas (%)	Fases Fracionadas (100%)	Fases Adicionadas (100%)	Fases Subtraídas (100%)
Piroxênio	-6,04	24,06	0	24,06
Timagnet,	-4,47	17,79	0	17,79
Albita	-5,39	21,46	0	21,46
Anortita	-9,21	36,69	0	36,69
Total Fracionado (%)				25,12

Tabela 4 – Resultados do segundo teste de modelagem petrogenética.

Um terceiro teste foi realizado com a intenção de tentar explicar a gênese e evolução dos termos ácidos do Platô da Ramada, porém sem sucesso. Utilizou-se o intervalo de 63,01 % de SiO₂, (composição do líquido final do segundo teste) até 69,02% de SiO₂, representando a evolução de um líquido traquítico para uma composição mais diferenciada. O modelo não se mostrou coerente com os dados da petrografia, pois após sucessivos testes sempre ocorria a adição de fases minerais (albita e feldspato potássico – F-K) na composição final, fato este irreal (Tab. 5).

Geologia da Intrusão Diorítica do Platô da Ramada (RS) e Relações
Petrogenéticas com a Formação Acampamento Velho
Capítulo 6 – Relações Petrogenéticas da Intrusão Diorítica com a
Formação Acampamento Velho

ANÁLISES RECALCULADAS PARA 100%

Óxido	Inicial	Final	F-K	Anortita	Albita	Titanomagnetita	Anfibólio
SiO ₂	65,43366	70,94984	64,91	44,55	68,58	0	43,22
TiO ₂	0,8785412	0,3597862	0,05	0	0	19,4	2,48
Al ₂ O ₃	14,18543	13,90831	19,3	35,25	19,86	1,9	12,49
FeOtot	7,238099	3,495066	0	0,56	0,03	77,89	13,59
MgO	0,9969261	0,3186678	0,04	0	0,04	0,81	13,29
CaO	2,731163	0,7812501	0,01	18,79	0	0	11,27
Na ₂ O	3,873474	4,327714	0,35	0,8	11,19	0	2,3
K ₂ O	4,662706	5,859375	15,33	0,05	0,29	0	1,36
Total	100	100	100	100	100	100	100

Oxido	Composição do fracionado	Diferença Observada entre magmas	Diferença Calculada entre magmas	Resíduos: (Obs.) - (Calc.)=
SiO ₂	-64,511	5,516	5,519	-0,003
TiO ₂	21,638	-0,519	-0,867	0,348
Al ₂ O ₃	20,846	-0,277	-0,283	0,006
FeOtot	92,788	-3,743	-3,638	-0,105
MgO	17,677	-0,678	-0,707	0,029
CaO	46,905	-1,95	-1,879	-0,071
Na ₂ O	-9,707	0,454	0,572	-0,118
K ₂ O	-25,635	1,197	1,283	-0,086

Soma dos Quadrados dos Resíduos:

0,1594

	Fases Fracionadas (%)	Fases Fracionadas (100%)	Fases Adicionadas (100%)	Fases Subtraídas (100%)
K -F	7,2	25,51	59,62	0
Anortita	-7,04	24,94	0	43,59
Albita	4,88	17,28	40,38	0
Timagnet,	-3,89	13,79	0	24,1
Anfibólio	-5,22	18,48	0	32,31
Total Adicionado* e Subtraído** (%)			12,08*	16,16**

Tabela 5 – Resultados do terceiro teste de modelagem petrogenética.

A modelagem apresentado por Sommer (1994) e Sommer *et al.* (1999) para as rochas traquíticas e riolíticas da Formação Acampamento Velho no Platô do Taquarembó demonstrou resultados satisfatórios a partir dos dados obtidos por elementos maiores e traços. Estes autores sugerem, através de modelos matemáticos, que a evolução do magmatismo ácido alcalino do Platô do Taquarembó está vinculado, principalmente, a processos de cristalização fracionada, associados possivelmente, a mecanismos de assimilação crustal (AFC) que podem ter ocorrido em dois estágios diferentes. Assim, sugere-se que as rochas riolíticas da Formação Acampamento Velho no Platô do Taquarembó com até 74% de SiO₂, podem ter sido originadas através do fracionamento de plagioclásio (An₃₀), feldspato alcalino e magnetita, ao passo que uma composição riolítica semelhante a esta obtida, pode ter sido diferenciada através do fracionamento de plagioclásio (An₂₀), feldspato alcalino e biotita, gerando as rochas riolíticas mais evoluídas deste magmatismo (75-79% de SiO₂).

Conforme a figura 33 e de acordo com as observações bibliográficas estima-se que o magmatismo da Formação Acampamento Velho tenha evoluído desde composições básicas até ácidas, com termos intermediários representados principalmente por gabros (*e.g.* RM80D-c), dioritos (*e.g.* JU24) e traquitos (*e.g.* JU22). Face ao pequeno volume de rochas intermediárias descritas até então em relação ao de rochas ácidas, estima-se que em sub-superfície devam ocorrer corpos máficos intermediários cujo volume seja compatível com a quantidade de termos ácidos, segundo a hipótese que estes tenham sido originados por diferenciação de termos básicos.

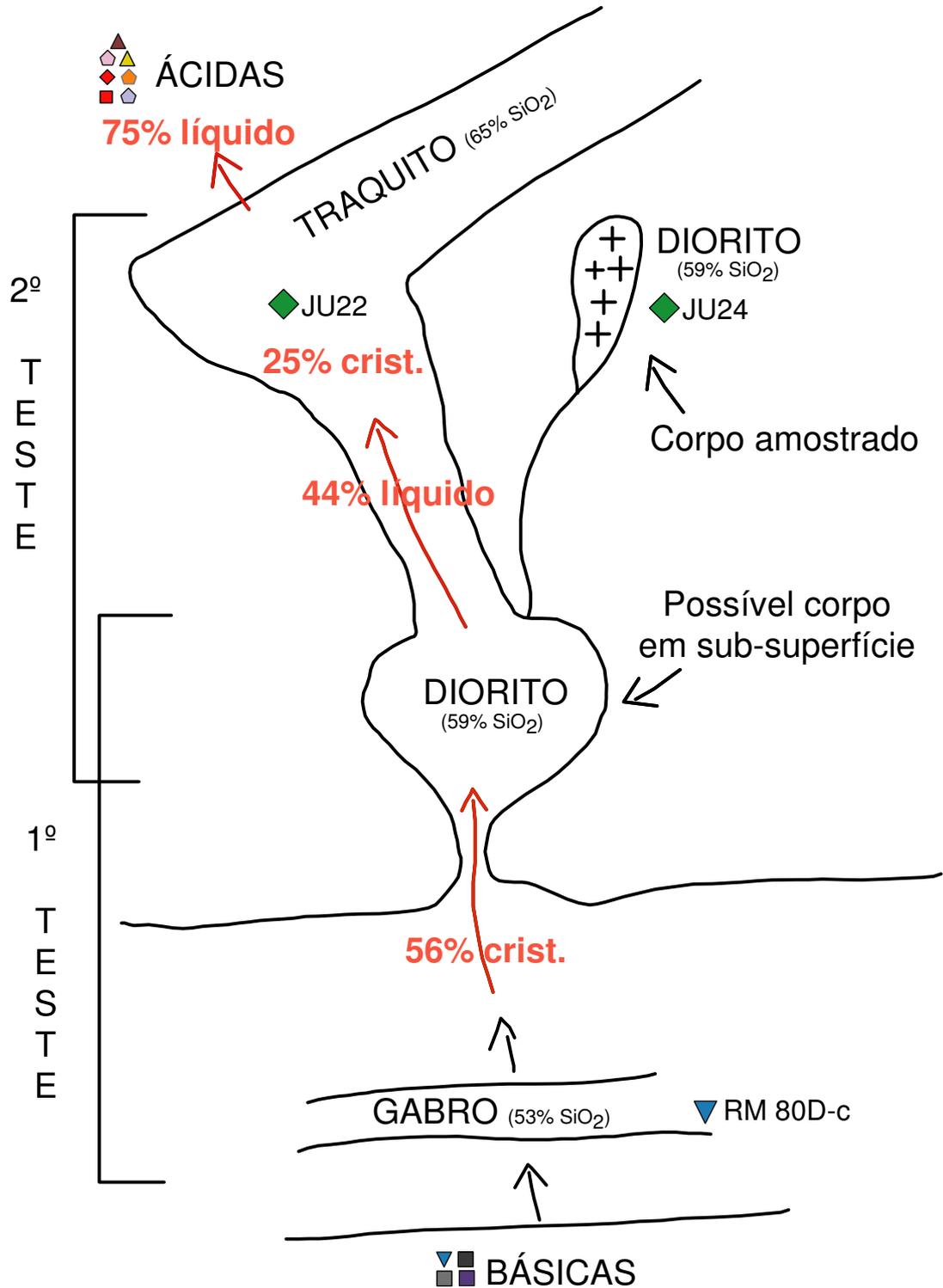


Figura 32 – Esquema sugerido para a evolução do magmatismo no Platô da Ramada, de acordo com os resultados dos modelos matemáticos.

Segundo o modelo matemático e observando-se a figura acima, interpreta-se que, como sugerido no primeiro teste, ocorre uma etapa de diferenciação entre um termo gabróico com 53% de sílica e um termo diorítico com 59% de sílica, na qual 56% do líquido inicial gabróico cristaliza olivina, piroxênio, titanomagnetita, albita e anortita. O líquido residual (44%) é formador das rochas do segundo teste, no qual um termo diorítico com 59% de sílica cristaliza 25% na forma de piroxênio, titanomagnetita, albita e anortita para formar rochas traquíticas com 65% de sílica. O restante 75% é formador das rochas ácidas do modelo.

Pode-se, portanto, inferir através de modelos matemáticos, que a evolução do magmatismo alcalino sódico do Platô da Ramada está vinculado, principalmente, a processos de cristalização fracionada que podem ter ocorrido em dois estágios diferentes. Assim, sugere-se que as rochas dioríticas com até 56,91% de SiO₂ podem ter sido originadas através do fracionamento de albita, anortita, olivina, titanomagnetita e piroxênio, ao passo que uma composição traquítica com 63,01% de SiO₂ pode ter sido diferenciada através do fracionamento de albita, anortita, titanomagnetita e piroxênio.

Deste modo, o processo de diferenciação magmática por cristalização fracionada, explica a variedade petrográfica observada na porção sul do Platô da Ramada relativa à evolução do magmatismo alcalino sódico da Formação Acampamento Velho.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da intrusão diorítica associada ao magmatismo da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada permitiu a sua caracterização quanto à mineralogia, texturas e classificação. São litotipos de composição intermediária, representados no sistema QAPF (Streckeisen, 1978) por monzodioritos, quartzo-monzodioritos, dioritos e quartzo-dioritos que possuem características de um corpo hipabissal, dado pela textura porfírica, zanação e reabsorção de plagioclásios. Nos trabalhos de campo foram identificados os tipos de contato que indicam a natureza intrusiva deste corpo.

Os dados geoquímicos indicam rochas de afinidade alcalina, toleíticas. O padrão de distribuição dos elementos maiores em relação ao índice de diferenciação SiO_2 (Fig. 29) sugere o fracionamento como o principal fator de diferenciação.

Adicionando-se os dados geoquímicos das rochas dioríticas aos das rochas básicas e ácidas do Platô da Ramada no diagrama *TAS* para rochas vulcânicas (Le Bas *et al.*, 1986) (Fig. 30) e em diagramas binários de *Harker* (Fig. 31) constata-se um *trend* magmático, onde as rochas dioríticas ocupam o intervalo composicional originalmente observado entre as rochas básicas e ácidas por Sommer (2003).

Os resultados obtidos através da modelagem petrogenética de diferenciação magmática favorecem a hipótese de cristalização fracionada para geração da composição diorítica a partir de um líquido básico e também da composição traquítica a partir de um líquido intermediário, explicando a variedade petrográfica observada na porção sul do Platô da Ramada, relativa à evolução do magmatismo alcalino sódico da Formação Acampamento Velho. A evolução para as composições ácidas, que predominam na Formação Acampamento Velho, deverá ser melhor estudada, com apoio de geoquímica isotópica, de elementos-traço e ETR.

Para os próximos trabalhos na área devem ser utilizados dados de elementos menores e traços a fim de tentar relacionar com maior precisão a evolução das rochas dioríticas com o magmatismo da Formação Acampamento Velho no Platô da Ramada. Dados geocronológicos serão obtidos, os quais auxiliarão na correlação cronológica dos diferentes litotipos presentes na área. Deve-se fazer uso de métodos geofísicos que possam indicar anomalias geofísicas causadas pela presença dos supostos cumulos máficos intermediários em subsuperfície, conforme hipótese sugerida anteriormente. Fato semelhante ocorre no magmatismo alcalino de Padthaway Ridge – South Australia (Turner *et al.*, 1992), no qual ocorrem anomalias geofísicas relacionadas a corpos máficos, constatação esta confirmada por alguns furos de sondagem, onde foram encontrados basaltos e gabros não metamorfizados de mesma afinidade.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS

- Almeida, D.P.M.; Zerfass, H.; Basei, M.A.; Mello, K.S. 1997. Caracterização geoquímica da sucessão vulcânica dos Cerros do Bugio e Perau (Bacia do Camaquã, sub-Bacia Santa Bárbara), Caçapava do Sul, RS (ext. abstracts). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 6., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador. v. 2. p. 698-702.
- Almeida, D.P.M.; Zerfass, H.; Lima, L. 1998. Estratigrafia das rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho (meso-cambriano a eo-ordoviciano) na região dos Cerros do Bugio e Perau (Caçapava do Sul, RS/Brasil)(ext. abstracts). In: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2., Punta del Este/Uruguay. **Anais...** Punta del Este. v. 1. p. 92-95.
- Almeida, D. P. M.; Zerfass, H.; Basei, M. A.; Petry, K. & Gomes, C. H. 2002. The Acampamento Velho Formation, a Lower Cambrian Bimodal Volcanic Package: Geochemical and Stratigraphic Studies from the Cerro do Bugio, Perau and Serra de Santa Bárbara (Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, RS – Brazil). **Gondwana Research**, 5 (3):721-733.
- Bailey, D.K. 1974. Continental rifting and alkiline magmatism. In: Sorensen, H. (Ed.). **The alkaline rocks**. Chichester: Wiley. p. 148-159.
- Baker, P.E. 1974. Peralkaline acid volcanic rocks of oceanic islands. **Bulletin Volcanologique**, 38: 737-754.
-

- Baker, B.H. & Mccirney, A.R. 1985. Liquid fractionation. Part III: Geochemistry of zoned magmas and the compositional effects of liquid fractionation. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **24**: 55-81.
- Barberi, F., Ferrara, G., Santacroce, R., Treuil, M. & Varet, J. 1975. A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina Centre (Afar Rift, Ethiopia). **Journal of Petrology**, **16**: 22-56.
- Barth, T.F.H. 1945. Studies of the igneous rock complex of the Oslo region II. Systematic petrography of the plutonic rocks. *Skrifter ardet Norske Videnskaps - Akademi, Oslo Matematisk- Naturviden-skapelig klasse*, 1-104.
- Bowen, N. L. 1928. **The evolution of Igneous Rocks**. Princeton: Princeton University Press, 344p.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: De Ros, L. F. & Holz, M. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. p.13-52.
- Clemens, J.D., Holloway, J.R. & White, A.J.R. 1986. Origin of an A-type granite: experimental constraints. **American Mineralogist**, **71**: 317-324.
- Collins, W.J., Beams, S.D., White, J.R. & Chappell, B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **80**: 189-200.
- Cordani, U.G.; Halpern, M. & Berenholc, M. 1974. Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha de Porto Alegre. In: **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, texto explicativo da Folha de Porto Alegre e Lagoa Mirim**. Brasília, DNPM. p. 70-84.
- Cox, K. G.; Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. 1979. **The interpretation of igneous rocks**. London: Allen & Unwin Publ. 450 p.
- Date A. R. & Jarvis K. E. 1989. The applications of ICP-MS in the earth sciences. In: Date A. R. & Gray A. L. (Ed.). **The applications of inductively coupled plasma mass spectrometry**. Glasgow: Blackie. p. 43-70.
- Eby, G.N. 1979. Mount Johnson, Quebec: An example of silicate liquid immiscibility? **Geology**, **7**: 491-494.
- Ewart, A. 1979. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary-Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic volcanic rocks. In: Baker, F. (Ed.). **Trondhjemites, dacites and related rocks**. The Hague: Elsevier. p. 113-121.
-

-
- Fragoso-Cesar, A.R.S.; Faccini, U.F.; Paim, P.S.G.; Lavina, E.L. & Altamirano, J.R.F. 1985. Revisão da estratigrafia das molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2., 1985, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis, SBG. v.1, p. 477-491.
- Gastal, M. C. P.; Schmitt, R. S. & Nardi, L. V. S. 1992. Granitóides da parte centro-sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense: Novos dados e discussão sobre a gênese e tipologia do magmatismo alcalino. **Pesquisas**, **19** (2): 174-182.
- Gastal, M.C.P. & Lafon, J.M. 1998. Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do escudo sul-rio-grandense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. **Revista Brasileira de Geociências**, **28**: 11-28.
- Göny, J.C.; Goso, H. & Issler, R.S., 1962. Estratigrafia e geologia econômica do Pré-cambriano e Eo-paleozóico Uruguaio e Sul Riograndense. **Avulso. Escola de Geologia, Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**, n. 3, p. 1-105.
- Hildreth, W.1979. The Bishop Tuff: evidence for the origin of compositional zonation in silic magma chambers. **Geological Society of America Special Paper**, **180**: 43-74.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. 1971. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, **8**: 523-548.
- Jenner, G. J.; Longerich H. P.; Jackson S. E. & Fryer B. J. 1990. ICP-MS a powerful tool for high precision trace-element analysis in earth sciences; evidence from analysis of selected U. S. G. S. reference samples. **Chemical Geology**, **83**:133-148.
- Le Bas, M.J. ; Le Maitre, R.W. ; Streckeisen, A. & Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, **27**: 745-750.
- Leinz, V.; Barbosa, A.F. & Teixeira, E.A., 1941. Mapa geológico Caçapava - Lavras. **Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral**. Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Rio Grande do Sul. n. 90, p. 1-39.
- Leites, S.R.; Lopes, R.C.; Wildner, W.; Porcher, C.A. & Sander, A., 1990. Divisão litofaciológica da Bacia do Camaquã na Folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul, RS, e sua interpretação paleoambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal, SBG. v.1, p. 300-312.
-

- Liégeois, J.P. 1998. Preface – Some words on post-collisional magmatism. **Lithos**, **45**:15-17.
- Lima E.F. 1995. **Petrologia das rochas vulcânicas e hipabissais da associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS**. Porto Alegre. 339p. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Loiselle, M.C. & Wones, D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. **Geological Society of America Abstracts with Programs**, **11**: 468 p.
- Matté, V.; Sommer, C. A.; Liz, J. D.; Sommer, J. A. P.; Saldanha, D. L. & Lima, E. F. 2005. Petrologia de uma intrusão diorítica associada ao vulcanismo Acampamento Velho no Platô da Ramada, SW do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2005, Porto Alegre. **Livro de resumos...** Porto Alegre, Editora da UFRGS. v. 1. p. 140.
- Matté, V.; Lima, E. F. & Sommer, C. A 2006. Aspectos petrográficos de uma intrusão diorítica na porção sul do Platô da Ramada, SW do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2006, Porto Alegre. **Livro de resumos...** Porto Alegre, Editora da UFRGS. v. 1, p. 18.
- Matté, V.; Lima, E. F. & Sommer, C. A. 2007. Geoquímica de uma intrusão diorítica na porção sul do Platô da Ramada, SW do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., Porto Alegre. **Livro de resumos...** Porto Alegre, Editora da UFRGS. v. 1. p. 100.
- Matté, V.; Lima, E. F. & Sommer, C. A 2008. Rochas dioríticas associadas ao vulcanismo Acampamento Velho no Platô da Ramada, SW do RS: aspectos preliminares. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Cascavel, Coluna do Saber. v. 1.
- Mattsson, H. B. & Oskarsson, N., 2005. Petrogenesis of alkaline basalts at the tip of a propagating rift: Evidence from the Heimaey volcanic centre, south Iceland. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **147**: 245-267.
- Mau, H. 1959. Ignimbritos na região de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. **Engenharia, Mineração, Metalurgia**, **29** (169): 13-14.
- Nardi, L.V.S. & Bonin, B. 1991. Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil - A case study. **Chemical Geology**, **92**: 197-212.
-

-
- Nardi, L. V. S. & Lima, E. F. 2000. O magmatismo shoshonítico e alcalino da Bacia do Camaquã-RS. In: Holz, M. & de Ros, L. F. (Org.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. p.119-131.
- Paim, P.S.G.; Lopes, R.C. & Chemale Jr. F. 1995. Stratigraphic framework and depositional systems of the Camaquã Basin (Upper vendian to Lower Ordovician) of southern Brazil. In: CENTENNIAL CONFERENCE 1895-1995, Stollenbosch, South Africa. **Abstract...** Stollenbosch. p. 35-37.
- Peacock, M. A. 1931. Classification of igneous rock series. **Journal of Geology** **39**: 54–67.
- Petrelli M.; Poli G.; Perugini D. & Peccerillo A. 2005. Petrograph: a New Software to Visualize, Model, and Present Geochemical Data in Igneous Petrology, **Geochemistry, Geophysics and Geosystems**, **6**: Q07011, DOI 10.1029/2005GC000932. Disponível em:
<<http://www.unipg.it/~maurip/SOFTWARE.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2008.
- Philpotts, A.R. 1976. Silicate liquid immiscibility. Its probable extent and petrogenetic significance. **American Journal of Science**, **276**: 1147-1177.
- Pinheiro-Sommer, J.A. 2005. **Aplicação de Sensoriamento Remoto no Mapeamento de Unidades Vulcano-sedimentares no Platô da Ramada, Vila Nova do Sul, RS**. Porto Alegre. 106p. Dissertação de mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pinheiro-Sommer, J.A.; Lima, E.F.; Saldanha, D.L.; Sommer, C.A. & Pierosan R. 2006. O uso de imagens do sensor ASTER no mapeamento de unidades vulcano-sedimentares do Platô da Ramada, Vila Nova do Sul, RS. **Pesquisas em Geociências**, **33**:23–36.
- Price, R.C., Johnson, R.W., Gray, C.M. & Frey, F.A.1985. Geochemistry of phonolites and trachytes from the summit region of Mt. Kenya. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **89**: 394-409.
- Ribeiro, M.; Bocchi, P.R.; Figueiredo Filho, P.M. & Tessari, R. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul. Rio Grande do Sul. **Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral**. Bras., Rio de Janeiro. n. 127, p. 1-232.
- Ribeiro, M. & Fantinel, L. M. 1978. Associações Petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I tabulação de distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. **Iheringia**, **5**:19-54.
- Robertson, J.F. 1966. Revision of the stratigraphy and nomenclatura of rock units in the Caçapava - Lavras region, State of Rio Grande do Sul, Brazil.
-

Notas e Estudos. Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1(2):41-54.

- Roisenberg, A.; Loss, E.L.; Altamirano, J.A.F. & Ferreira, A.C. 1983. Aspectos Petrológicos e Geoquímicos do Vulcanismo Pré-Cambriano/Eo-paleozóico do RS com base nos Elementos Maiores. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1., 1983, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, SBG. v. 1, p. 237-285.
- Santos, E.L.; Becker, J.; Macedo, P.M.; Gonzales Filho, F. & Chabam, N. 1978. Divisão litoestratigráfica do Eo-Cambriano - Pré-Cambriano Superior do Escudo Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife. v. 2, p. 670-684.
- Shaw, H.R., Smith, R.L. & Hildreth, W. 1976. Thermogravitational mechanisms for chemical variations in zoned magma chambers. **Geological Society of America Abstracts with Programs, 8:** 1102.
- Sommer, C.A. 1994. **O vulcanismo ácido da porção sul do Platô do Taquarembó, Dom Pedrito-RS.** Porto Alegre. 149p. Dissertação de mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sommer C. A. 2003. **O vulcanismo neoproterozóico do Platô da Ramada, região de Vila Nova do Sul, RS.** Porto Alegre. 194p. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 1999. Evolução do vulcanismo alcalino na porção sul do Platô do Taquarembó, Dom Pedrito – RS. **Revista Brasileira de Geociências, 29(2):** 245-254.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D. & Matos, D. 2001. Ignimbritos ricos em cristais do Platô da Ramada - RS, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 11., 2001, Montevideo, Uruguai, **Anais...**
- Sommer, C.A., Lima, E.F., Nardi, L.V.S., Liz, J.D., Pierosan, R., Waichel, B.L., 2002. Caracterização geoquímica do vulcanismo Neoproterozóico do Platô da Ramada, porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2., 2002, Belém. **Boletim de resumos...** Belém. p. 121.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Liz, J.D. & Pierosan, R. 2003. Depósitos de fluxo piroclástico primários: caracterização e estudo de um caso no vulcanismo ácido neoproterozóico do Escudo Sul-Rio-grandense. **Pesquisas em Geociências 30(1):** 3-26.
-

- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S.; Figueiredo, A.M.G. & Pierosan, R. 2005. Potassic and Low- and High-Ti Mildly Alkaline Volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, Southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, **18**(3): 237-254.
- Sommer, C.A.; Lima, E.F.; Nardi, L.V.S. & Liz, J.D. 2005a. The Neoproterozoic Mildly Alkaline Bimodal Volcanism in Southern Brazil: Geological and Geochemical Aspects. **International Geology Review**, **47**(10): 1090-1110.
- Sommer, C. A.; Lima, E. F.; Nardi, L. V. S.; Liz, J. D. & Waichel, B. L. 2006. The evolution of Neoproterozoic magmatism in southernmost Brazil: shoshonitic, high-K tholeiitic and silica-saturated, sodic alkaline volcanism in post-collisional basins. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **78**: 573-589.
- Streckeisen, A. 1979. IUGS Subcommision on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Mellilite Rocks. Recommendations and Suggestions. **Neves Jahrbuch für Mineralogie**, **143**: 1-14.
- Thompson M. & Walsh J. N. 1983. **A handbook of inductively coupled plasma spectrometry**. Glasgow: Blackie.
- Turner, S.P., Foden, J.D. & Morrison, R.S. 1992. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: An example from the Pathway Ridge, South Australia. **Lithos**, **28**: 151-179.
- UFRGS. 1984. Mapeamento Geológico da Folha de Vila Nova. Porto Alegre. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Walsh J. N. & Howie R. A. 1980. An evaluation of the performance of an inductively coupled plasma source spectrometer for the determination of major and trace constituents of silicate rocks and minerals. **Mineral Magazine**, **47**: 967-974.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. & Chappell, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, **87**: 319-327.
- White, A.J.R. & Chappell, B.W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. **Geol. Soc. Am. Mem.** **159**: 21-34.
- Wildner, W.; Lima, E.F.; Camozzato, E. & Lopes, R.C. 1997. O Vulcanismo Neoproterozóico-Cambriano no Rio Grande do Sul: Estratigrafia e Aspectos Texturais. **A Terra em Revista**, **3**(3): 19-27.
-

- Wildner, W.; Nardi, L.V.S. & Lima, E.F. 1999. Post-collisional alkaline magmatism on the Taquarembó Plateau: a well preserved Neoproterozoic-Cambrian plutono-volcanic association in southern Brazil. **International Geology Review**, **41** (12): 1082-1098.
- Wildner, W.; Lima E.F.; Nardi, L.V.S. & Sommer, C.A. 2002. Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaquã Basin succession in southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, **118**: 261-283.
- Wilson, M. 1989. **Igneous Petrogenesis**. Londres: Unwin Hyman. 466p.
- Yoder, H.S.Jr & Tilley C. E. 1962. Origin of basalt magmas: An experimental study of natural and synthetic rock systems. **Journal of Petrology**, **3**: 342-532.
- Zerfass, H. & Almeida, D.M.P. 1997. Mapa Geológico da região dos Cerros do Bugio e Perau, Município de Caçapava do Sul, RS. Estudos Tecnológicos – **Acta Geológica Leopoldensia (Série Mapas)**, **20**: 3-17.
- Zerfass, H.; Almeida, D.M.P. & Gomes, C.H. 2000. Faciology of Acampamento Velho formation volcanic rocks (Camaquã Basin) in the region of Serra de Santa Bárbara, Cerro do Perau and Cerro do Bugio (Municipality of Caçapava do Sul – RS). **Revista Brasileira de Geociências**, **30**: 12-16.
-