

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**A INVESTIGAÇÃO DAS ROCHAS VULCÂNICAS ÁCIDAS DO
CERRO CHATO (RS) POR SENSORIAMENTO REMOTO E
GEOQUÍMICA**

PALOMA GABRIELA ROCHA

**ORIENTADOR: Dr. Evandro Fernandes de Lima
CO-ORIENTADOR: Dr. Carlos Augusto Sommer**

**BANCA EXAMINADORA: Dra. Adriane Machado – Universidade de Coimbra
Dr. Breno Leitão Waichel – UNIOESTE
Dr. Ruy Paulo Philipp – UFRGS**

**Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Geociência**

Porto Alegre – 2009



Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geociências

ATA Nº 521

A comissão abaixo assinada tendo examinado a Dissertação de Mestrado da aluna **PALOMA GABRIELA ROCHA**, intitulada “**A INVESTIGAÇÃO DAS ROCHAS VULCÂNICAS ÁCIDAS DO CERRO CHATO (RS) POR SENSORIAMENTO REMOTO E GEOQUÍMICA**” atribui os seguintes conceitos:

Profa. Dra. Adriane Machado
(Universidade de Coimbra)
CONCEITO: A (EXCELENTE)

Prof. Dr. Breno Leitão Waichel
(UNIOESTE)
CONCEITO: A (EXCELENTE)

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp
(PPGEO/UFRGS)
CONCEITO: A (EXCELENTE)

Porto Alegre, 30 de janeiro 2009.

Homologação pela Comissão de Pós-Graduação, SUL	
Ata nº 521	Data: 30/01/2009
CONCEITO FINAL: A (EXCELENTE)	
Rubrica:	

Leticia Maria Barbosa
Assistente em Administração
Identificação Única 003565084

Rocha, Paloma Gabriela

A investigação das rochas vulcânicas ácidas do cerro chato (rs) por sensoriamento remoto e geoquímica. / Paloma Gabriela Rocha. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2009.

[112 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2009.

Orientação: Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima.

1. Sensoriamento Remoto. 2. ASTER. 3. Rochas Vulcânicas. 4. Geoquímica. I. Título.

Catálogo na Publicação

Biblioteca Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun CRB 10/1113

**Dedico este trabalho para
Paulo e Janete,
meus Mestres**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima por sua disposição em trabalho de campo, por estar sempre presente quando solicitado e por ter acreditado neste projeto de mestrado.

À Prof. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha pela atenção dispensada em me auxiliar na interpretação das imagens. Sinta-se inserida nos créditos desta dissertação como minha segunda co-orientadora.

À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida e ao CNPq, pelo apoio financeiro e viabilização das etapas deste trabalho.

Também gostaria de agradecer ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

À minha família, Paulo, Janete e Pablo, meus amigos mais loucos e divertidos. Obrigado por terem respeitado minhas ausências e meu mau humor ultimamente.

Ao meu namorado, Júnior, por toda sua imensa paciência, ajuda e por ter compreendido meus momentos insanos durante a finalização desta dissertação.

Aos meus colegas e amigos da pós-graduação, Débora, Daiane (Xuxu), Jana e Vidú, pelo estímulo e por terem tornado, mais uma vez, tudo muito mais divertido. Agora sou Mestre Palô para vocês. Valeu pessoal.

Obrigada a todos!!!

RESUMO

As técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado fundamentais como ferramenta auxiliar no mapeamento geológico básico. O avanço tecnológico gerado pelos novos sensores permite o desenvolvimento de técnicas mais apuradas na integração de dados litológicos e estruturais de várias fontes. Este trabalho buscou avaliar a potencialidade das imagens do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) para identificação dos diferentes litotipos da área do Cerro Chato, em especial as unidades vulcânicas e hipabissais relacionadas. O Cerro Chato é caracterizado como uma feição geomorfológica situada à cerca de 15 km ao norte do município de Herval, na microrregião denominada Serra do Sudeste na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul. É constituído principalmente por uma seqüência de rochas efusivas e piroclásticas de composição riolítica relacionada a sistemas do tipo alta-sílica, vinculadas ao magmatismo granítico tardio do Batólito Pelotas. O objetivo deste trabalho foi testar e avaliar diversas técnicas de geoprocessamento buscando a diferenciação litológica, a identificação de alvos e a definição de morfoestruturas da área do Cerro Chato. O processamento utilizando a técnica de Transformação por Componentes Principais forneceu os melhores resultados realçando diferenças entre as rochas vulcânicas e hipabissais e as rochas encaixantes. Foram selecionadas as CP2 das imagens CP's 2, 3 e 5 na geração de uma composição colorida que permitiu delimitar três principais domínios de ocorrências das rochas de origem vulcânica no Cerro Chato.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, ASTER, rochas vulcânicas, componentes principais.

ABSTRACT

The remote sensing techniques have been a very important and auxiliary tool to basic geological mapping. The new orbital sensors carried out a technologic increment that possibility the development of refined methods applied in the integration with diverse geologic data as petrology and structural. In this work were utilized images obtained from the ASTER sensor (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) to identify the lithologies in the Cerro Chato area, giving emphasis to the volcanic and hypabissal units. The Cerro Chato can be characterized as geomorphologic feature situated about 15 km to north of Herval town, in the Southeast Sierra micro region of the Rio Grande do Sul state, southernmost Brazil. It is constituted mainly by an effusive and pyroclastic rocks sequence of rhyolitic composition related to high silica systems, which magma has been associated to the younger granitic magmastim of the Pelotas Batholith. The main objective of this work was to test and evaluate diverse techniques of geoprocessment to try identifying different lithologic units and morphologic structures in the Cerro Chato area. The selective principal component analysis technique was used in the digital image processing, because it provided the best results enhancing the existent spectral differences between volcanic and country rocks. In this processing were selected the PC's2 images of the PC's 2, 3, and 5 to generated a color composite image that permitted the individualization of three main dominions of volcanic rocks in the Cerro Chato.

Keywords - remote sensing, ASTER, volcanic rocks, principal components.

LISTA DE FIGURA

Figura	Descrição	Página
Figura 1	Mapa de localização da região do Cerro Chato.	18
Figura 2	Distribuição dos principais cinturões brasileiros/pan-africanos na porção SW do Gondwana. SP=Sierra das Pampeanas, ESV=Embasamento sul da Sierra de la Ventana, S=Cinturão Saldania, G=Cinturão Gariep, D=Cinturão Damara, K=Cinturão Kaoko, DF=Cinturão Dom Feliciano, TJ=Cinturão Tijuca, VN=Cinturão Vila Nova (Chemale Jr <i>et al.</i> , no prelo, in Chemale).	20
Figura 3	Modelo evolutivo esquemático do Cinturão Dom Feliciano [DF] mostrando as associações petrotectônicas originadas pela convergência entre os crátons do Rio de La Plata [RP] e Kalahari [K]. Fernandes <i>et al.</i> 1995.	22
Figura 4	Localização da área de estudo no contexto geológico regional. Modificado Philipp, R.P. & Machado, R. (2005).	30
Figura 5	Mapa geológico do Batólito Pelotas mostrando a distribuição das suítes graníticas, das principais zonas de cisalhamento transcorrente e a localização aproximada das amostras selecionadas para os estudos geocronológicos (Philipp <i>et al.</i> 2002).	35
Figura 6	Mapa geológico 1:250.000, Folha Pedro Osório - (SH. 22- Y-C) CPRM (modificado por Borges, 2006).	37
Figura 7	Feições geomorfológicas características para os litotipos vulcânicos do Cerro Chato: a) domínio central constituído principalmente por ignimbritos; b) domínio sudoeste: principalmente riolitos; c) domínio nordeste: principalmente riolitos.	39
Figura 8	Características típicas dos ignimbritos com alto grau de soldagem do Cerro Chato: a) feições macroscópicas – rico em cristais de quartzo e K-feldspato, raros litoclastos e incipiente textura eutaxítica; b) feições microscópicas (LN – 25x) apresentando as mesmas características observadas em microscopia.	40
Figura 9	Foto mostrando feição típica dos riolitos do domínio sudoeste (microscopia, LP, de 25x). Podem ser observadas feições de reabsorção do quartzo e da substituição dos plagioclásios para carbonato	41

Figura 10	Fotomicrografia de riolito do domínio nordeste, com cavidade preenchida por agregado de quartzo (LP - aumento de 50x).	42
Figura 11	Textura esferulítica em riolito do domínio nordeste (Fotomicroscopia, LP, aumento de 50x).	43
Figura 12	Foto do riolito em microscopia, LP, com aumento de 25x. É possível observar plagioclásio fraturado com borda alterando para carbonato, e textura esferulítica.	43
Figura 13	Diagramas de variação SiO_2 versus maiores, $\text{FeO}t/\text{FeO}t+\text{MgO}$ e índice albitico (IAGP).	45
Figura 14	Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas, com amostras vulcânicas do Cerro Chato.	46
Figura 15	Diagramas de classificação de Winchester & Floyd (1977) com amostras das rochas vulcânicas do Cerro Chato.	47
Figura 16	Diagrama multielementar com as amostras vulcânicas do Cerro Chato normalizados pelo ORG (Pearce <i>et al.</i> 1984) e valores médios da crosta (Weaver & Tarney 1984)	48
Figura 17	Padrão dos elementos terra rara das amostras vulcânicas do Cerro Chato, normalizado segundo o condrito (Nakamura, 1974).	49
Figura 18	Amostras das rochas vulcânicas do Cerro Chato plotados nos diagramas de Whalen <i>et al.</i> (1987).	50
Figura 19	Amostras das rochas vulcânicas do Cerro Chato plotados nos diagramas de Pearce <i>et al.</i> (1984). A elipse marca o campo das associações pós-colisionais	51
Figura 20	Comparação das bandas espectrais do ASTER e Landsat TM. Os valores de reflectância são dados em porcentagem e o comprimento de onda em μm .	56
Figura 21	Imagens acromáticas com realce linear das bandas 1 (b1) e 2 (b2). Com a separação dos principais domínios litológicos do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	60
Figura 22	Imagens acromáticas com realce linear das bandas 3 (b3) e 4 (b4). Com a separação dos principais domínios litológicos do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	61

Figura 23	Imagens acromáticas com realce linear das bandas 5(b5), 6(b6), 7(b7), 8(b8) e 9(b9). Com a separação dos principais domínios litológicos do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	62
Figura 24	Imagem RGB 342 da região do Cerro Chato com os pontos de amostragem das diferentes litologias da área.	64
Figura 25	Imagem acromática da banda 4 com filtragem direcional sobreposta (Sommer, 2005), evidenciando os principais lineamentos da região do Cerro Chato.	65
Figura 26	Imagem acromática CP2 da região do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	68
Figura 27	Imagem acromática CP3 da região do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	69
Figura 28	Imagem acromática CP5 da região do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	70
Figura 29	Imagem colorida CP's 2(R), 3(G) e 5(B), com separação das litologias estudadas na área. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	71
Figura 30	Localização da área de estudo no contexto geológico regional. Modificado (Sommer <i>et al.</i> 2005) Philipp, R.P. & Machado, R. (2005).	85
Figura 31	Fotografias localizando a geomorfologia a afloramentos do Cerro Chato a partir de uma imagem ASTER composição RGB 342	87
Figura 32	Mapa geológico do Batólito Pelotas mostrando a distribuição das suítes graníticas, das principais zonas de cisalhamento transcorrente e a localização aproximada das amostras selecionadas para os estudos geocronológicos (Philipp <i>et al.</i> 2002).	89
Figura 33	Mapa geológico 1:250. 000, Folha Pedro Osório - (SH. 22- Y-C) CPRM (modificado por Borges, 2006).	91
Figura 34	Composição colorida RGB das bandas 342 com demarcação do Cerro Chato.	95
Figura 35	Banda 3 (NIR)	96
Figura 36	Imagem acromática CP2 da região do Cerro Chato.	98

Figura 37	Imagem acromática CP3 da região do Cerro Chato.	99
Figura 38	Imagem acromática CP5 da região do Cerro Chato.	100
Figura 39	Imagem colorida CP's 2(R), 3(G) e 5(B), com separação das litologias estudadas na área. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.	101
Figura 40	Imagem acromática da banda 4 com filtragem direcional sobreposta (Pinheiro-Sommer, 2005), evidenciando os principais lineamentos da região do Cerro Chato.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela	Descrição	Página
Tabela 1	Características dos subsistemas ASTER.	56
Tabela 2	Dados estatísticos originais das 9 bandas ASTER.	58
Tabela 3	Matriz de correlação entre as 09 bandas ASTER.	59
Tabela 4	Valores das contribuições das 9 bandas ASTER para cada CP.	67
Tabela 5	Valores das contribuições das 9 bandas ASTER para cada CP	97

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 – Introdução	16
1.2 - Localização da área de estudo	17
1.3 - Evolução do conhecimento geológico do Escudo Sul-Rio-Grandense	18
1.4 – Objetivos	22
1.5 - Materiais e métodos	23
1.5.1 - Aquisição de dados	23
1.5.2 - Etapa de laboratório	23
1.5.3 - Trabalho de campo	28
1.5.4 - Elaboração da dissertação	28
2 - BATÓLITO PELOTAS – Síntese da geologia regional da área de estudo	29
2.1 - As rochas vulcânicas do Cerro Chato	38
2.1.1 - Aspectos petrográficos e geoquímicos das rochas vulcânicas do Cerro Chato	38
2.1.1.1 - Aspectos petrográficos	38
2.1.1.2 - Aspectos geoquímicos	44
3 – SENSORIAMENTO REMOTO – Revisão conceitual e bibliográfica	52
3.1 - Características do sensor ASTER- Sistema Terra	55
4 – PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ASTER- Resultados	57
4.1 - Tratamento de imagens	58
4.2 - Entrada das imagens no programa ENVI 4.2®	58
4.3 - Realce de contraste	59
4.4 - Composição colorida	63
4.5 - Filtragem direcional	64
4.6 - Análise por Componentes Principais	66
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
6 – ARTIGO	79
6.1 – Introdução	82

6.1.1 - Aspectos fisiográficos da área de estudo	85
6.2 - Geologia regional e do Cerro Chato	87
6.2.1 - As rochas vulcânicas do Cerro Chato	91
6.3 - Sensoriamento Remoto	93
6.4 - Materiais e métodos	94
6.5 - Resultados	97
6.6 - Considerações finais e conclusões	102
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
ANEXO	111

Organização do trabalho

A dissertação está organizada na forma de artigo científico, atendendo as exigências do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

No capítulo 1 (Introdução) retrata o estado da arte sobre a evolução do conhecimento geológico do Escudo-Sul-Rio-Grandense. Neste tópico também são apresentadas as localizações geográficas da área estudada, os objetivos do trabalho e um resumo dos materiais e métodos utilizados na realização deste estudo.

No capítulo 2 são abordados os aspectos gerais do Batólito Pelotas, destacando-se após, uma síntese da geologia da região do Cerro Chato, objeto desta dissertação.

O capítulo 3 é uma revisão conceitual sobre sensoriamento remoto e as principais técnicas de processamento digital de imagens orbitais já utilizadas no mapeamento geológico.

No capítulo 4 são discutidos os produtos obtidos do processamento digital das imagens ASTER para o Cerro Chato.

No capítulo 5 estão organizadas em ordem alfabética as referências bibliográficas citadas nos capítulos introdutórios. As referências seguem o formato proposto pela Revista Brasileira de Geociências.

No capítulo 6 está inserido o artigo submetido à Revista Brasileira de Geociências, intitulado “O uso de sensoriamento remoto na investigação do vulcanismo ácido do cerro chato, SE do Escudo Sul-Rio-Grandense”.

No capítulo 7 reúne as considerações e conclusões da dissertação.

Como documento anexo está a carta de submissão eletrônica do artigo.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Introdução

O Escudo Sul-Rio-Grandense, localizado na porção centro-sul do estado do RS, com aproximadamente 65.000 km² é composto por uma variedade de associações petrotectônicas geradas desde o Pré-cambriano até o início do Paleozóico.

Uma das principais associações é denominada Batólito Pelotas que foi definido por Fragoso César *et al.* (1986) para definir um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico relacionado à evolução do Ciclo Brasileiro. Segundo vários autores (Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2005, Fragoso César, 1991) Batólito Pelotas (Fig. 1) é composto predominantemente por suítes granitóides associadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau. Esta complexa estrutura granítica é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno de NE-SW.

Rochas vulcânicas e hipabissais de composição básica e ácida ocorrem associados aos granitóides do Batólito, cujo magmatismo tem sido correlacionado principalmente com as suítes graníticas mais diferenciadas do Batólito (e.g. Suíte Dom Feliciano) (Picada, 1971; Fragoso-Cesar *et al.*, 1986; Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2001, Zanon, 2005; Zanon *et al.* 2006). Dados preliminares descrevem a ocorrência destes vulcanitos, vinculando-os a pequenos platôs e serras, principalmente na região de Quitéria (Riolito Ana Dias – depósitos efusivos) e Cerro Chato (depósitos efusivos e piroclásticos), e na forma de enxame de diques, principalmente na região de Piratini e Pinheiro Machado (enxame de diques básicos e ácidos Asperezas e Piratini).

O Cerro Chato é caracterizado como uma feição geomorfológica situada à cerca de 15 km ao norte do município de Herval, na microrregião denominada Serra do Sudeste na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1). É constituído principalmente por uma seqüência de rochas efusivas e piroclásticas de composição riolítica e, subordinadamente, rochas sedimentares e metamórficas.

Este trabalho pretende utilizar imagens do sensor ASTER para identificação e estudo da distribuição das diferentes unidades geológicas na região do Cerro Chato, com ênfase nas rochas vulcânicas e hipabissais, a partir da análise do contraste espectral devido a diferente integração com a radiação eletromagnética ao longo do espectro reflectivo destas rochas e suas encaixantes.

Técnicas de sensoriamento remoto foram poucas vezes empregadas na região de estudo deste trabalho, destacando o trabalho realizado por Carraro & Ribeiro (1983) que utilizando imagens LANDSAT e mosaico fotográfico de imagens de RADAR descreveram a evolução das estruturas dobradas no embasamento granítico-gnaissico entre os municípios de Piratini e Erval.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e de processamento de imagens de satélite tem se mostrado eficiente no mapeamento geológico, principalmente quando integrado a outras técnicas como geoquímica petrologia e mapeamento geológico (Hunt, 1977,1980; Galvão & Vitorello, 1994; Guimarães Filho, 1994; Klein, 1998; Saldanha, 2003 e Saldanha *et al.* 2004; Pinheiro-Sommer 2005 e Pinheiro-Sommer *et al.* 2006).

1.2 - Localização da área de estudo

O Cerro Chato localiza-se 15km ao norte de Herval, cidade a 398km de Porto Alegre, na região SE do Rio Grande do Sul (Figura 1). A área estudada abrange parte da carta topográfica do SGE (1:50.000) CÊRRO CHATO, sendo limitada pelos paralelos 31°45'S e 32°S e meridianos 53°15' e 53°30'W. O principal acesso à região, partindo-se de Porto Alegre, é feito pela BR-116 até o município de Arroio Grande. A partir deste ponto, segue-se por estrada estadual em direção ao município de Herval. A partir da sede do município a acesso é feito por estrada secundária, em direção ao norte por cerca de 15 km, onde afloram as principais unidades do Cerro Chato.

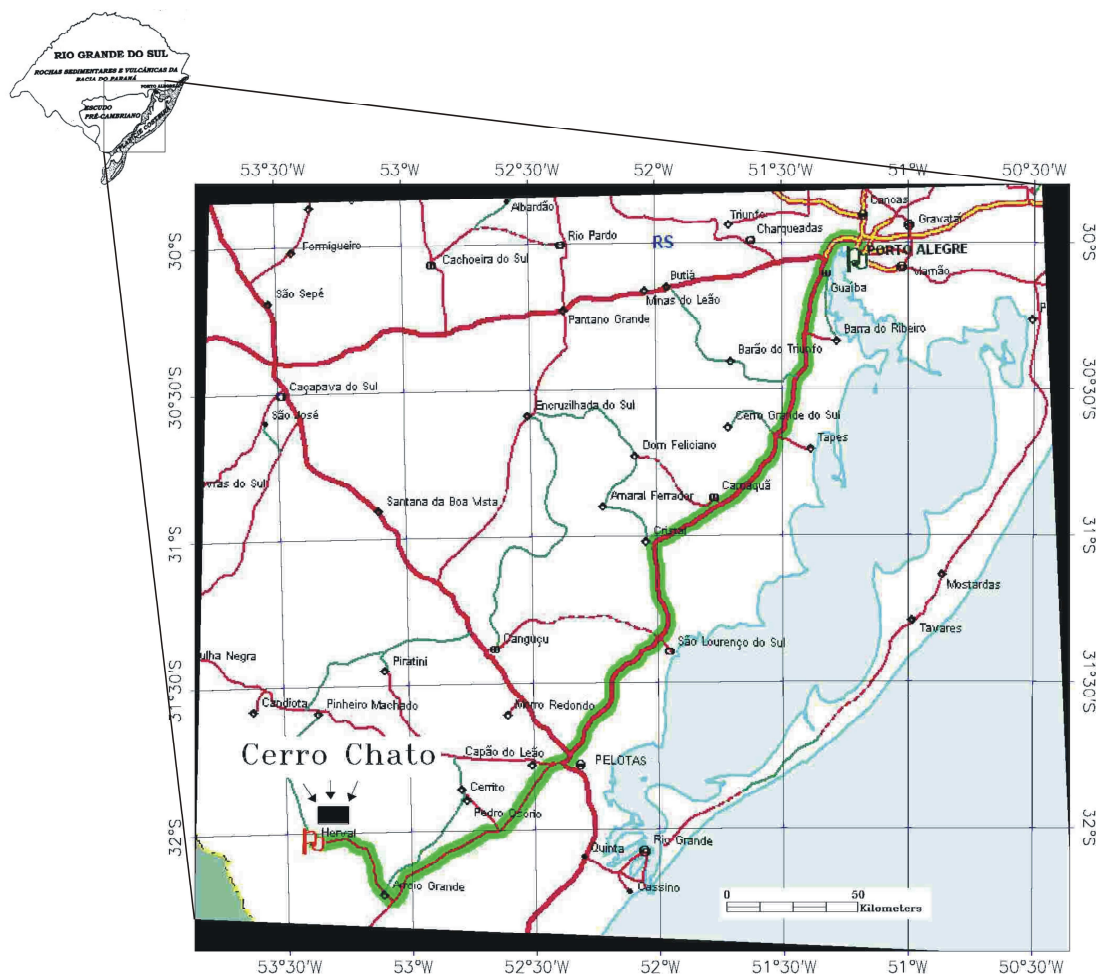


Figura 1: Mapa de localização da região do Cerro Chato.

1.3 - Síntese sobre a evolução do conhecimento geológico sobre Escudo Sul-Rio-Grandense

O Escudo Sul-Rio-Grandense vem sendo estudado desde o início do século XX, e foi assim denominado por Carvalho (1932) que descreveu as primeiras rochas do escudo. Desde então, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos permitindo um considerável avanço no estudo da origem das diversas unidades petrotectônicas, maior entendimento dos processos de magmatismo, deformação, metamorfismo, sedimentação e origem tectônica.

Picada (1971) através de estudos de lineamentos divide o Escudo Sul-Rio-Grandense em Cráton Dom Feliciano, que corresponde à faixa granítica-migmatítica situada ao leste do RS; Intrageossiclinal Encantadas, que corresponde às rochas da Dorsal

Canguçu até a região de Caçapava do Sul; a Intrageoanticlinal Lavras, formado por migmatitos e granitos mais antigos da região; e Intrageossinclinal Palma, com a presença de um cinturão ofiolítico com intercalações de sedimentos químicos e clásticos (Jost & Villwock 1966), situado na porção oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense.

As primeiras propostas para associações petrotectônicas do Escudo Sul Riograndense foram denominadas por Ribeiro e Fantinel (1978) como Zona Leste, Mediana e Oeste. A Zona Leste é composta por uma associação predominantemente plutônica; a Zona Mediana é representada por feições intermediárias; a Zona Oeste corresponde a uma associação vulcano-plutônica de natureza orogênica com suítes cálcio-alcálica. Estas associações petrotectônicas são interpretadas como faixas móveis com idade brasileiras e transamazônicas.

Fragoso César (1980) reinterpretoou os dados disponíveis sobre a geologia do escudo Sul-Riograndense e da porção sudeste da Plataforma Sul-Americana, denominando a porção leste do escudo como um cinturão orogênico denominado Cinturão Dom Feliciano. Este representaria uma faixa móvel Brasileira entorno de um antigo núcleo cratônico situado à oeste, chamado anteriormente de Cráton Rio de La Plata (Figura 2) (Almeida *et al.* 1973).

Um modelo de evolução mais detalhado foi proposto por Fragoso César (1991), que defende que o Escudo Sul-Riograndense é formado por dois cinturões móveis brasileiros justapostos tectonicamente com evoluções distintas relacionadas à superposição de orogenias produzidas por dois oceanos, Adamastor e Charrua, marginais ao Continente Rio de La Plata. O Oceano Adamastor situado à leste é responsável pelas orogenias do Cinturão Dom Feliciano, e o Oceano Charrua situado à oeste, está envolvido nas orogenias da região ocidental do escudo.

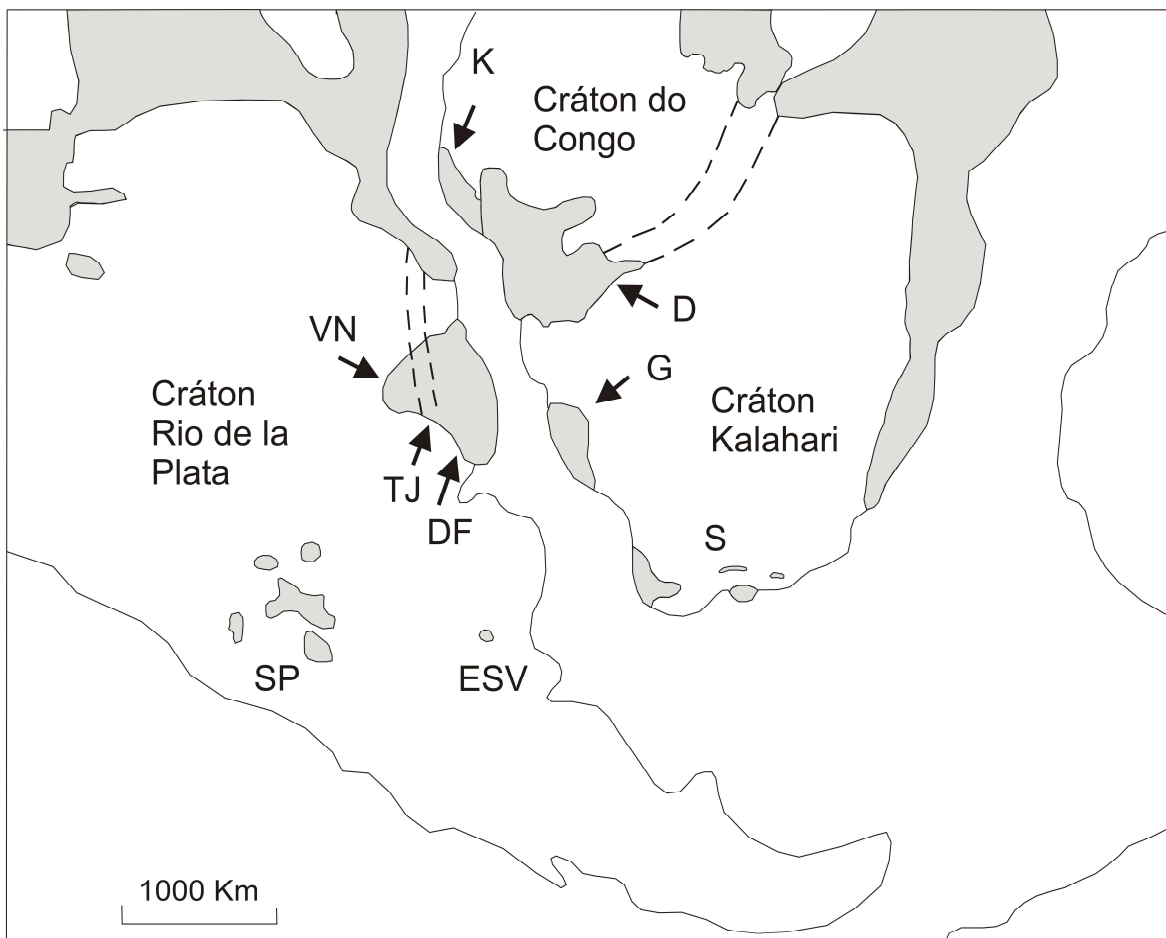


Figura 2: Distribuição dos principais cinturões brasileiros/pan-africanos na porção SW do Gondwana. SP=Sierra das Pampeanas, ESV=Embásamento sul da Sierra de la Ventana, S=Cinturão Saldania, G=Cinturão Gariep, D=Cinturão Damara, K=Cinturão Kaoko, DF=Cinturão Dom Feliciano, TJ=Cinturão Tijuca, VN=Cinturão Vila Nova (a partir de Chemale Jr., 2000).

A aplicação dos conceitos de Tectônica de Placas na interpretação evolutiva do Escudo Sul-Riograndense por Fragozo César *et al.* (1986) caracterizam os granitos da porção central do Cinturão Dom Feliciano (Batólito Pelotas) como a raiz de um arco magmático exumado, que é posteriormente envolvido numa colisão com os Crátoms Rio de La Plata e Kalahari. Após a colisão dá-se início a subducção da litosfera oceânica, assoalho do Oceano Adamastor, sob uma margem continental ativa (Gnaisses Piratini). O processo de subducção provocou um grande encurtamento e espessamento crustal correspondente ao período de colisão continental, onde foram gerados volumes substanciais de magmas ácidos (Suíte Pinheiro Machado e Suíte Cordilheira). Marcando a transição do período de colisão para o soerguimento pós-colisional, ocorreu a última fase compressiva do Cinturão Dom

Feliciano seguida por reativações de grandes lineamentos e deformações rúpteis associadas e formação de vários plutonitos (Suíte Dom Feliciano e Encruzilhada do Sul).

O modelo geotectônico proposto por Fernandes *et al.* (1995) para evolução do escudo pode ser individualizado em cinco eventos (Figura 3): a) separação dos crátons Rio de La Plata e Kalahari e formação do oceano Adamastor; b) convergência entre os crátons do Kalahari e Rio de La Plata e fechamento do oceano Adamastor dando origem a uma formação de margem continental ativa (Associação de Arco Magmático Oriental - AAM Or) na borda oriental do Cráton Rio de La Plata e formação de uma extensa bacia marginal. A colisão entre a margem continental ativa e o Cráton do Kalahari provoca um intenso metamorfismo de alta temperatura nos granitóides da AAM Or e dá origem a zonas de cisalhamento sub-horizontais com transporte tectônico transversal ao orógeno; c) fechamento da bacia marginal e formação de grandes volumes de magmas orogênicos ao longo de uma margem continental ativa mais jovem à oeste (Arco Magmático Ocidental – AAM Oc); d) colisão das unidades geotectônicas dos primeiros eventos com a AAM Oc gerando zonas de cisalhamento sub-horizontais de alta temperatura com transporte tectônico E-W. Formação de zonas de cisalhamento transcorrentes sub-horizontais com transporte tectônico paralelo ao alongamento do Cinturão Dom Feliciano (NE-SW); e) diversos eventos de movimentação transcorrente e extensional da crosta continental com ascensão de magmas e geração das rochas granitóides; e f) colisão entre a colagem composta pelas unidades geotectônicas originadas nos estágios anteriores e o Arco Magmático II, originando zonas de cisalhamento sub-horizontais de alta temperatura com transporte tectônico E-W. Formação de zonas de cisalhamento transcorrentes, principalmente nas AAM I e H, e sub-horizontais (na região com embasamento paleoproterozóico) ambas mostrando transporte tectônico paralelo ao alongamento do Cinturão Dom Feliciano (NE-SW).

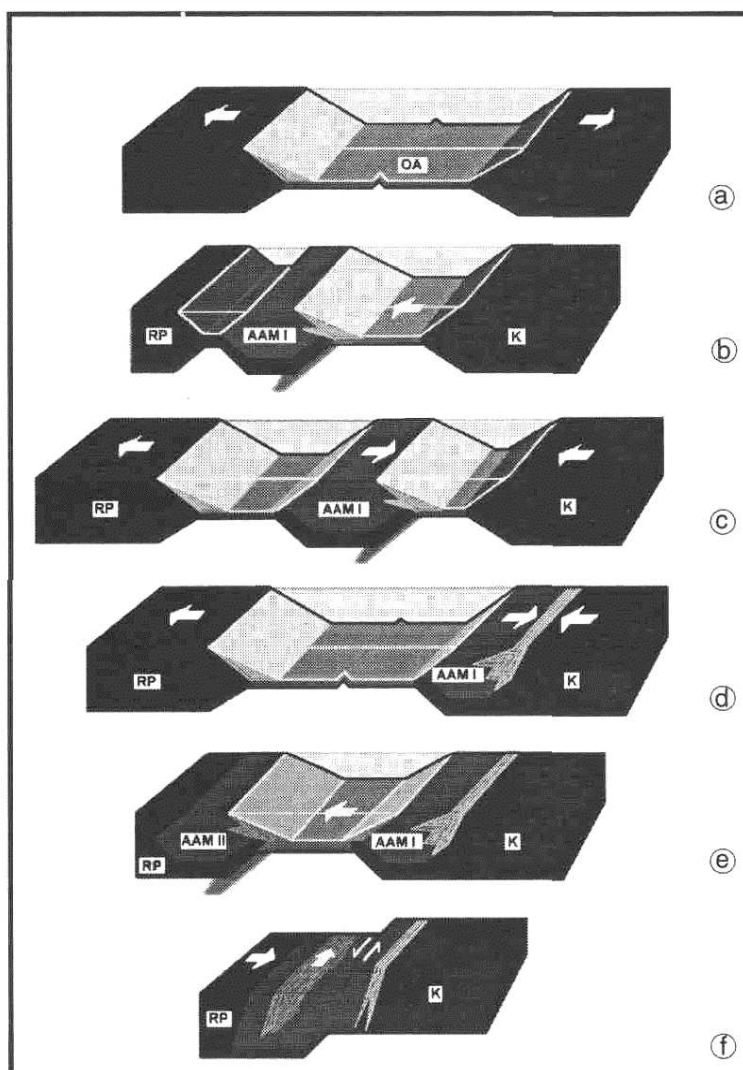


Figura 3: Modelo evolutivo esquemático do Cinturão Dom Feliciano [DF] mostrando as associações petrotectônicas originadas pela convergência entre os crâtons do Rio de La Plata [RP] e Kalahari [K]. Fernandes *et al.* 1995.

1.4 – Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o mapeamento das diferentes fácies vulcânicas e hipabissais e suas encaixantes através de parâmetros construídos pelo cruzamento de informações de geologia básica com as obtidos pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto. Neste estudo aplicou-s técnicas de processamento de imagens orbitais multiespectrais, para a identificação e a separação dos litotipos vulcânicos das unidades graníticas presentes na região. O resultado do processamento das imagens digitais foi integrado com os diferentes dados geológicos, gerados em mapeamentos e estudos petrológicos existentes na região, buscando testar a eficácia do uso dos produtos de

sensores multiespectrais no mapeamento geológico além de estabelecer as melhores técnicas de processamento de imagens a serem utilizadas neste estudo.

Este trabalho pretende ainda, como objetivo secundário, apresentar dados petrográficos e geoquímicos sucintos dos diferentes litotipos vulcânicos, a fim de caracterizar preliminarmente o magmatismo relacionado com estas manifestações vulcânicas.

1.5 – Materiais e métodos

O projeto de dissertação foi organizado em etapas de trabalho distribuídas em quatro grupos principais: aquisição/compilação de dados, etapa de laboratório, etapa de campo, e elaboração da dissertação. A seguir são descritas as principais etapas de trabalho.

1.5.1 – Aquisição de dados

Envolveu a organização dos dados publicados e uma revisão bibliográfica, de forma a reunir um conjunto de informações sobre a área e o tema de trabalho. Nesta etapa foi feita a escolha das imagens multiespectrais orbitais tendo em vista as diferenças dos diversos sensores disponíveis. Decidiu-se trabalhar com a imagem ASTER por ser a mais promissora para a diferenciação das diferentes unidades geológicas que ocorrem na área de estudo. A imagem AST_L1B_00309032003134206_09232003101001, referente à área, foi obtida junto ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - UFRGS. A carta topográfica 1: 50.000 (carta SH. 22-S-IV-3 Cêrro Chato) foi obtida junto à Mapoteca do Departamento de Geodésia/UFRGS para posterior digitalização. A carta do exército foi usada como base cartográfica, para o embasamento geográfico e topográfico (com curvas de nível espaçadas em 20m).

1.5.2 – Etapa de laboratório

A etapa de laboratório envolveu os procedimentos relacionados ao processamento digital de imagens orbitais, cartografia digital, petrografia e geoquímica.

a) Processamento da imagem multiespectral ASTER

Seguindo-se as seguintes técnicas:

i) Entradas das imagens no programa ENVI 4.2

Para um melhor aproveitamento das informações contidas nas imagens de satélite e diferenciação dos alvos através do comportamento espectral, compatibilizam-se as resoluções espaciais das imagens VNIR e SWIR gerando *metafiles* com resoluções diferentes. Um, com resolução espacial de 15m e outro com resolução espacial de 30m sendo que ambos integram as três bandas do VNIR com as seis bandas do SWIR.

ii) Correção geométrica

Técnica também chamada de georreferenciamento é usada para dar precisão cartográfica ao posicionamento de objetos e superfícies representados na imagem. O ajuste é feito em relação a um espaço definido por um sistema de coordenadas de referência, neste caso o sistema de projeção UTM fuso 22 no Datum Córrego Alegre. A correção torna o uso da imagem possível associada com a carta do exército e para o uso na etapa de campo junto a um GPS.

iii) Realce de contraste

Levando-se em conta que a imagem trabalhada tem 256 níveis de cinza; que o olho humano diferencia 30 tons de cinza; e que esses tons estão distantes entre si em relação ao intervalo de 0-255, uma imagem de satélite vista da forma como é adquirida pelo sensor aparece visualmente com baixo contraste. O uso dessa técnica é importante para que as informações possam ser extraídas por um analista humano, o seu histograma comprimido tem então que ser expandido para ocupar todo o intervalo disponível (Crósta, 1992).

Para melhorar estes aspectos foi aplicada a técnica de aumento linear de contraste em todas as bandas espectrais da imagem visando à obtenção de histogramas expandidos das mesmas.

iv) Filtragem

As filtragens espaciais são úteis em processamento de imagens de sensoriamento remoto para realçar bordas, feições lineares de determinadas direções e

padrões de textura. É feito através do realce ou da supressão de determinadas frequências espaciais (Crósta 1992).

Foram utilizados nesse projeto dois tipos de filtros de convolução: filtros de passa altas e direcionais.

Os **Filtros de Passa Altas**, ou de Realce de Bordas são filtros que eliminam as feições de baixa frequência, deixando apenas as de alta frequência, normalmente expressas por bordas ou limites entre áreas de diferentes tons de cinza.

Os **Filtros Direcionais** fazem parte de um tipo especial de filtro Passa Altas que realçam bordas em direções pré-determinadas. Foram utilizados neste trabalho para o realce de lineamentos estruturais nas direções principais NE-SW, orientação principal do Cinturão Dom Feliciano, e NW-SE, orientação secundária também marcante na área de trabalho.

v) Composições coloridas

É responsável pelo aumento na capacidade de diferenciação de áreas na imagem por tonalidades, detalhando o que em 30 tons de cinza seriam isolados, para uma capacidade de dezenas de milhares de cores diferentes.

Compostas por diversas bandas constituem-se numa poderosa forma de sintetizar, numa única imagem, uma grande quantidade de informação, ao mesmo tempo em que representam essa informação em diferentes cores, facilitando, portanto, sua interpretação. As composições coloridas são, por isso, um dos produtos mais comuns do processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto (Crósta, 1992).

Esta tem como objetivo à escolha de tripletes de bandas que será utilizado na geração de composições coloridas no espaço RGB. Adotou-se o método proposto por Chaves Jr. *et al* (1982) que através dos desvios-padrão e dos coeficientes de correlação obtém um fator de índice ótimo (FIO) para todas as combinações possíveis entre as bandas da imagem. O valor de FIO mais alto obtido será indicativo do melhor triplete de bandas, por ser aquele que possui a menor correlação entre as informações entre as bandas selecionadas.

vi) Razão de bandas

A razão de bandas está dentro da série de técnicas chamadas operações aritméticas entre bandas, que analisa imagens multi-espectrais e/ou multi-temporais, onde duas ou mais imagens da mesma área geográfica são combinadas em uma única imagem representando o resultado de acordo com a regra matemática selecionada, realizada pixel a pixel. (Crósta 1992)

A imagem gerada pela razão de bandas terá uma redução da dimensionalidade dos dados originais e, portanto maior contraste entre os alvos.

vii) Transformação por Principais Componentes

O procedimento da PC consiste na entrada de N imagens onde serão analisadas estatisticamente as correlações entre elas sendo produzido então um novo conjunto de N imagens, com nenhuma correlação entre si. Isso remove a redundância de informações permitindo então maior individualização dos alvos de interesse. Será utilizada a transformação direta com a computação de cálculos estatísticos.

Esta técnica é útil para aumentar o conteúdo de informação, isolar componentes de ruído e reduzir a dimensionalidade de ruído de dados.

b) Cartografia Digital

i) Digitalização da carta topográfica

Importa-se para o programa processador da imagem também, no propósito de planejamento de campo, os arquivos vetoriais de objetos com referências geográficas (estradas, drenagens, etc.) adquiridos anteriormente na digitalização da carta do exército. A escolha de alvos foi também registrada em um arquivo vetorial, em que as coordenadas foram então transferidas para a memória interna do GPS.

ii) Geração de arquivos vetoriais

É criado, na imagem processada, um arquivo vetorial constituído por pontos, linhas e áreas que representarão os principais lineamentos e distinguirão as possíveis

associações petrográficas diferentes existentes na área. A digitalização consiste na transformação das curvas de nível, estradas, drenagens, etc. da carta em arquivos vetoriais (com valores de latitude, longitude e cota altimétrica; x,y,z respectivamente) em formato digital, para o uso interativo junto à imagem.

Foi utilizado o programa AUTOCAD MAP 2000 para a digitalização da carta topográfica com escala de 1:50.000, com a finalidade de produzir o modelo numérico do terreno (DTM).

c) Petrografia

Envolveu a descrição macroscópica e microscópica das amostras de rochas coletados nos trabalhos de campo, visando a distinção dos diferentes grupos texturais e classificação petrográfica.

d) Geoquímica

Os estudos geoquímicos foram utilizados com o intuito de se fazer uma caracterização química preliminar das rochas vulcânicas do Cerro Chato e foram baseadas em análises de 15 amostras.

A preparação destas amostras foi feita junto ao laboratório de preparação de amostras, vinculado ao Laboratório de Geoquímica Isotópica-CPGq-UFRGS. As determinações analíticas foram realizadas no Activation Laboratories Ltd., Ontário, Canadá. Para a obtenção de elementos maiores foi utilizado o método ICP (*Inductively Coupled Plasma*), que compreende um plasma de argônio mantido pela interação de um campo de rádio frequência ionizando o gás argônio. Atinge normalmente temperaturas em torno de 10.000 K que permitem uma completa atomização dos elementos, minimizando desta maneira os efeitos de interferência química. Na análise dos elementos traços e terras raras foi aplicada à metodologia ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Microspectrometry*) que pode ser considerado uma combinação do ICP com o espectrômetro de massa. Este método usa a capacidade do ICP de argônio para eficiente geração de íons carregados que são direcionados para dentro do espectrômetro de massa “quadrupole”. O ICP-MS combina a capacidade multielementar e amplo limite de trabalho linear de emissão ICP, com o excepcional limite de detecção do método de Absorção Atômica do forno de grafite.

Os dados foram organizados em banco de dados, sendo tratados posteriormente em programas específicos como MINPET, GCDkit 2.3 (e Microsoft Excel 2000 para confecção de tabelas, gráficos, diagramas e estudos estatísticos).

1.5.3 – Trabalho de campo

O trabalho de campo foi necessário para a conferência prática dos alvos apontados nos exercícios laboratoriais. Sendo o objetivo principal o mapeamento de escala mediana, os perfis percorridos e a coleta de amostras foram planejados de modo a cobrir todas as áreas diferenciadas por sensoriamento remoto.

No GPS foram inseridas as coordenadas dos pontos-alvo selecionados ainda no laboratório, servindo como ferramenta providencial para a economia de tempo. E, em conjunto com uma imagem, em composição colorida impressa cartografada e com as principais feições marcadas também no laboratório, foi possível conferir, comparar e acompanhar as feições, variações geomorfológicas e de padrões de afloramento.

Das amostras coletadas foram feitas lâminas petrográficas, visando à classificação petrográfica das rochas que compõem o Cerro Chato e análises químicas de algumas amostras selecionadas.

1.5.4 – Elaboração da dissertação

A dissertação foi redigida no formato de integração de artigo científico, de acordo com a Resolução 002/98 do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGGEO-UFRGS. O artigo gerado através deste estudo foi submetido à Revista Brasileira de Geociências.

2 - BATÓLITO PELOTAS – Síntese da geologia regional da área de estudo

A região estudada neste trabalho situa-se no Batólito Pelotas, porção leste do Escudo Sul-rio-grandense (Figura 4). O Batólito Pelotas foi definido originalmente como uma área estável composta por uma associação de rochas cristalinas com evolução geológica ligada ao Pré-Cambriano e denominada “Cráton Dom Feliciano” (Issler *et al.* 1965, apud Philipp *et al.*, 2000). O termo Batólito Pelotas foi definido por Fragoço César *et al.* (1986) denominando o complexo plutônico como um batólito composto, multi-intrusivo e polifásico relacionado à evolução do Ciclo Brasileiro.

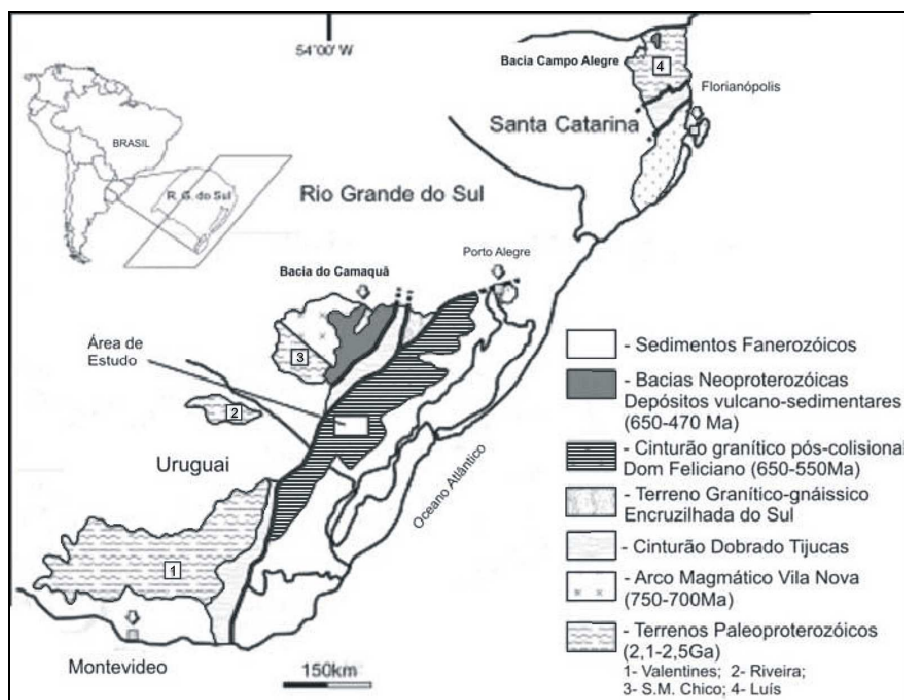


Figura 4: Localização da área de estudo no contexto geológico regional. Philipp, R.P. & Machado, R. (2005). (Modificado de Sommer *et al.* 2005)

O Batólito Pelotas é composto predominantemente por suítes granitóides associadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau (Philipp, 1998). Esta complexa estrutura granítica é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno de NE-SW (Fragoso César, 1991).

A estratificação interna do Batólito Pelotas (Figura 5) é dada por seis suítes graníticas (Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Intrusiva Erval, Suíte Intrusiva Viamão, Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, Suíte Granítica Cordilheira e Suíte Granítica Dom Feliciano), uma suíte sienítica (Suíte Piquiri) e manifestações sin-plutônicas (Riolitos Asprezas).

A **Suíte Intrusiva Pinheiro Machado** é composta de granitóides, enclaves máficos e um amplo grupo de xenólitos de rochas gnáissicas e migmatíticas.

Estruturas de mistura de magmas identificadas nesta suíte podem ser associadas à ocorrência de enclaves máficos de composição microdiorítica. Enquanto que os bandamentos irregulares estão diretamente relacionados com a assimilação parcial dos fragmentos de ortognaisses granodioríticos a dioríticos, gnaisses calci-silicáticos, biotita gnaisses bandados, anfíbolitos nematoblásticos e anfíbolitos finos bandados. O metamorfismo é restrito às zonas de cisalhamento dúctil.

Próximo aos granitos da Suíte Granítica Dom Feliciano, os granitóides da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado apresenta-se densamente fraturado. Estas fraturas são preenchidas por corpos graníticos tabulares e com espaçamento métrico de sienogranitos equigranular, pegmatóides e aplitos pertencente ao Granito Arroio dos Kaster.

Estruturalmente a Suíte Intrusiva Pinheiro Machado é afetada por dois eventos deformacionais:

- Evento deformacional D_1 – corresponde às zonas de cisalhamento dúcteis subhorizontais. A foliação tectônica gerada durante este evento está disposta de modo subparalelo ao bandamento ígneo, reorientando mecanicamente os minerais máficos resultando em texturas e estruturas miloníticas e surgimento de uma nova paragênese mineral.
- Evento deformacional D_2 – corresponde às zonas de cisalhamento dúcteis subverticais. Durante este evento as rochas da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado são truncadas pelos granitos da Suíte Intrusiva Viamão e da Suíte Granítica Dom Feliciano. As regiões próximas à zona de cisalhamento são marcadas pela passagem de uma foliação penetrativa, de espaçamento regular, para um bandamento irregular, muito fino e relativamente contínuo. Nas regiões afastadas da zona de cisalhamento as estruturas primárias dos granitóides são preservadas.

Silva *et al.* (1999) determinaram através do método de datação U/Pb obtido por SHRIMP que a idade da SIPM é de 609 ± 15 Ma, que representa a idade do pico deformacional e metamórfico e principal período de geração de magmas no batólito.

Através da integração dos dados petrográficos, estruturais e geoquímicos (Philipp, 1998) da SIPM, conclui-se que a gênese desta suíte está relacionada ao consumo de crosta oceânica sob uma espessa crosta continental, caracterizando um arco magmático de margem continental ativa. Portanto os granitóides da SIPM são considerados uma associação pré-colisional.

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

As litologias da **Suíte Intrusiva Viamão** mostram uma variação composicional restrita sendo representada predominantemente por termos monzograníticos, com raros granodioritos e sienogranitos subordinados e estão dispostas em toda a extensão do Batólito Pelotas (Philipp, 1998).

A **Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul** está exposta na porção noroeste do batólito. Petrograficamente as rochas desta suíte variam desde granodiorito até álcali-feldspato granito e texturalmente pode ser dividida em duas fácies principais, porfírica e equigranular grossa (Fragoso César *et al.*, 1984).

Os granitóides da **Suíte Granítica Cordilheira** ocorrem no extremo oeste do Batólito Pelotas e apresentam composição monzo a sienograníticas (Philipp, 1998).

A **Suíte Granítica Dom Feliciano** engloba diversos corpos graníticos (Arroio dos Ladrões, Capão do Leão, Arroio do Bote, Fortaleza, Serra das Asprezas, etc.), embora ocorra em toda a extensão do batólito se concentra mais na porção norte desta unidade geotectônica. Petrograficamente são sienogranitos e álcali-feldspato granitos,

subordinadamente monzogranitos. Intrudidos nesta suíte ocorrem grandes diques ácidos denominados Riolitos Asperezas.

Os corpos de leucogranitos equigranulares desta suíte afloram sob formas alongadas e concordantes com as zonas de cisalhamento. Pequenas faixas de protomilonitos, restritos aos limites de alguns corpos de grandes dimensões, indicam a presença de estruturas tectônicas dúcteis. Nos corpos menores observa-se a presença de apófises de microgranitos ou de enxames de diques riolíticos.

Sob forma alongada os granitos da Suíte Granítica Dom Feliciano (SGDF) afloram segundo a direção NE-SW, concordantes com as zonas de cisalhamento dúcteis subverticais (D_2). A estrutura dos granitos da SGDF é maciça e foliações de fluxo magmático ocorrem restritamente em alguns corpos geradas por orientação de minerais prismáticos de feldspato potássico e biotita. Não há registros de foliações miloníticas indicando que as rochas do SGDF são de posicionamento tardio ou posterior à formação das zonas do evento D_2 .

Philipp (1998) sugere através de uma integração de dados obtidos por datações realizadas pelo método Rb-Sr por Cordani (1974), Soliani Jr (1986), May (1990) e Fragoso César (1991) que a cristalização dos maciços da SGDF ocorreu no intervalo de 547 ± 17 Ma a 560 ± 12 Ma.

Os granitóides mais diferenciados desta Suíte possuem, de acordo com Fragoso César (1991) e Philipp (2000), relações genéticas com litotipos vulcânicos e hipabissais. Dados petrográficos e geoquímicos indicam a vinculação entre o plutonismo e o vulcanismo que é representado por depósitos efusivos e piroclásticos na região de Quitéria, e também por manifestações sub-vulcânicas (Cerro Chato) e sin-plutônicas (Diques Riolíticos Asperezas), preliminarmente interpretadas como prováveis condutos alimentadores (Philipp 2000; Fragoso César, 1991).

Os **Riolitos Asperezas** ocorrem como enxames de diques que se estendem desde a região do município de Pinheiro Machado até os municípios de Piratini, Pedras Altas e a região do arroio Solidão. São intrusivos em diversas unidades do Batólito Pelotas, mas ocorrem preferencialmente na SGDF.

Os diques estão posicionados segundo as direções NE-SW a NW-SE sob forma de enxame de corpos tabulares subparalelos de espessuras variáveis entre 5 e 150

metros e extensões quilométricas. Também ocorrem isolados em intrusões maiores (Fragoso César *et al.* 1986)

De acordo com Fragoso César (1991) os diques de direção NW-SE são indeformados ou com brechação insipiente; os de direção NE-SW apresenta localmente foliação milonítica bem desenvolvida, por vezes com segregação de finas fitas de quartzo.

A estruturação observada nos diques é a mesma observada em sua encaixante principal, os granitos da SGDF; os diques intrudem os granitos da suíte e por vezes são intrudidos por filonetes graníticos derivados da encaixante, indicam que a origem dos Diques Riolíticos Asperezas é sin-plutônica (Fragoso César, 1991).

Na Serra das Asperezas foi observado que a milonitização que afeta os granitos da SGDF manifesta-se com igual intensidade nos diques, sendo que estes possuem formas sigmoidais indicando que sua intrusão foi concomitante ao cisalhamento dúctil subvertical D_2 (Fragoso César, 1991).

Considerando a origem sin-plutônicas dos Diques Riolíticos Asperezas (Fragoso César, 1991), a idade dos diques deve ser a mesma obtida nos granitos da Suíte Granítica Dom Feliciano.

Para Fragoso César (1991) a origem dos diques é a mesma dos granitos da SGDF, magma gerado na crosta inferior na fase tardi-colisional (D_2) e ascensão ao longo das zonas de cisalhamento.

Zanon *et al.* (2006) sugere que o magmatismo dos diques félsicos e máficos da região de Piratini foram gerados em ambiente intra-placa através de evidências de contemporaneidade entre os dois tipos de magmatismo e pelo seu caráter tardio em relação às suítes graníticas mais jovens do Batólito Pelotas.

Análises dos padrões de elementos traços das litologias da SGDF (Philipp, 1998) indicam um caráter cálcio-alcalino desta suíte, com maior numero de amostras dentro do campo dos granitóides gerados em ambiente intraplacas.

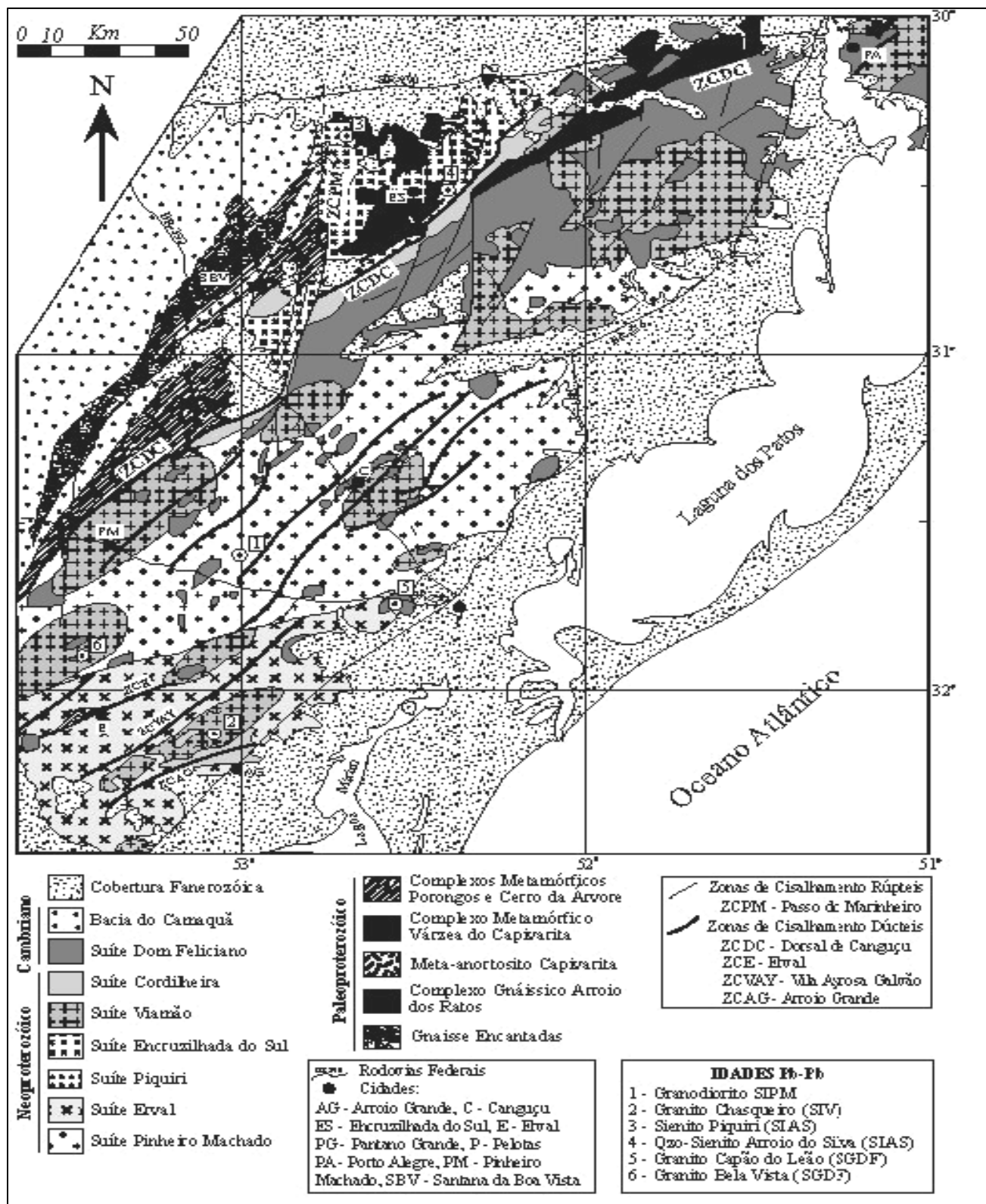


Figura 5: Mapa geológico do Batólito Pelotas mostrando a distribuição das suítes graníticas, das principais zonas de cisalhamento transcorrente e a localização aproximada das amostras selecionadas para os estudos geocronológicos (Philipp *et al.* 2002).

Na região de Herval afloram as seguintes unidades (Figura 6): **Formação Rio Bonito** que é formada por arenitos quartzosos, finos a médios, cinza-claros a esbranquiçados, silicificados, com gradação normal e estratificação cruzada de médio a grande porte, sobrepostos ao pacote carbonoso; **Riolito Asperezas** representada por enxame de diques leucocráticos de cor avermelhada, composição riolítica a riodacítica, textura porfirítica, com fenocristais de feldspato e quartzo em matriz afanítica a fanerítica muito fina. Riolitos pórfiros subvulcânicos na região de Cerro Chato; **Bacia Cerro Chato** constituída por ortoconglomerados compostos por grânulos e seixos de riolitos, quartzo, feldspatos, granitóides e intraclastos de pelitos, associados a arcóseos grossos a muito grossos, cinza-esverdeados a cinza-claro e a pelitos bordô a castanho; **Suíte Granítica Dom Feliciano**, stocks alongados NE-SW de sienogranitos róseo-avermelhados, equigranulares médios a grossos, localmente porfiríticos, compostos predominantemente por feldspato alcalino (ortoclásio e microclíneo micropertítico), quartzo, plagioclásio e biotita subordinada; **Suíte Intrusiva Erval** definida por granitos com pouca variação composicional e exibem predomínio de monzonitos com sienitos subordinados. São rochas de cor cinza-clara, constituídas essencialmente por plagioclásio tabular, feldspato potássico subédrico, esbranquiçado a rosado, com quartzo amebóide e biotita lamelar intersticial (Zanon, 2005); e **Suíte Intrusiva Pinheiro Machado**, compreendendo domínio de metagranitóides porfiríticos, mesocráticos cinza, com foliação marcada pelo estiramento dos porfiroclastos e alinhamento dos constituintes da matriz, apresentando uma deformação semiplástica de fácies anfibolito.

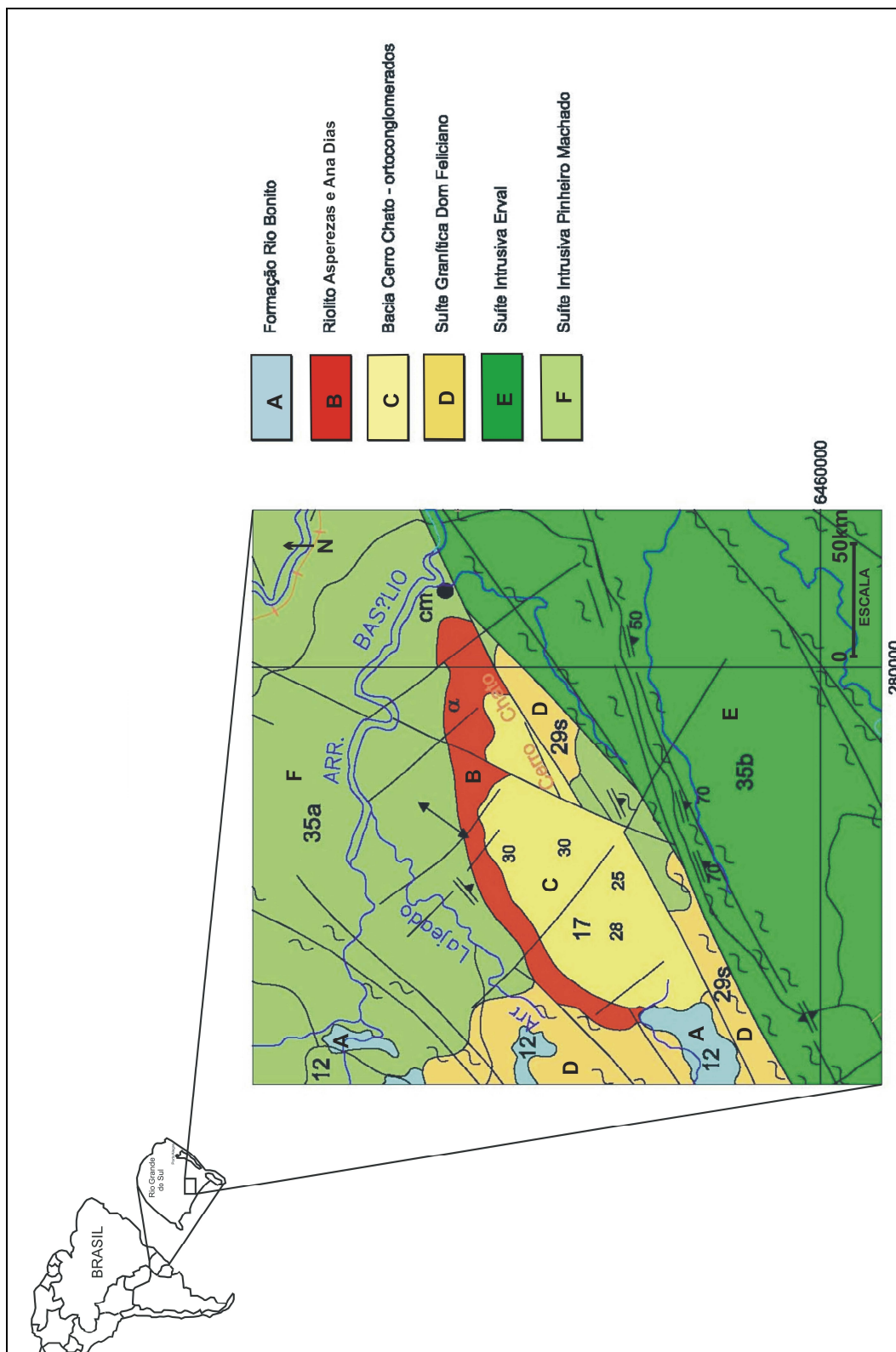


Figura 6: Esboço geológico obtido do mapa geológico 1:250.000 Folha Pedro Osório - (SH. 22- Y-C) CPRM (modificado por Borges, 2006).

2.1 - As rochas vulcânicas do Cerro Chato

As rochas vulcânicas são os litotipos dominantes do Cerro Chato que constitui uma feição geomorfológica de destaque na região, com altitude máxima de 400m e diferenças de nível variando entre 180 a 220 metros nas bordas das serras (Fig.7). O relevo da região é intensamente dissecado onde há ocorrência de áreas fracamente dissecadas em posição de topo. Nas encostas de declive acentuado, encontram-se matacões, blocos e lajeados principalmente onde ocorrem granitos e exposições de diques alinhados.

Três domínios principais de rochas vulcânicas ácidas podem ser individualizados no Cerro Chato, normalmente associados à falhas e lineamentos presentes na área: domínio central, constituído basicamente por ignimbritos riolíticos com alto grau de soldagem, domínio sudoeste e domínio nordeste, caracterizados por fácies efusivas e hipabissais, principalmente riolitos e subordinadamente riodacitos.

2.1.1 - Aspectos petrográficos e geoquímicos das rochas vulcânicas do Cerro Chato

No presente item são apresentados e discutidos preliminarmente dados petrográficos e geoquímicos do Cerro Chato.

2.1.1.1 – Aspectos petrográficos

O domínio central é constituído por ignimbritos com alto grau de soldagem, ricos em cristais de coloração avermelhada (Fig.8). Estes depósitos são caracterizados pela abundância de cristaloclastos e fenocristais de K-feldspatos e quartzo, envoltos por uma matriz tufácea e fina. Raros litoclastos (1-2 cm) de rochas riolíticas são observados. Fragmentos de púmices achatados constituem os *fiamme* e a orientação destas feições caracteriza uma incipiente textura eutaxítica. A matriz é constituída por *shards* e esferulitos são comuns indicando processos de devitrificação de alta temperatura.

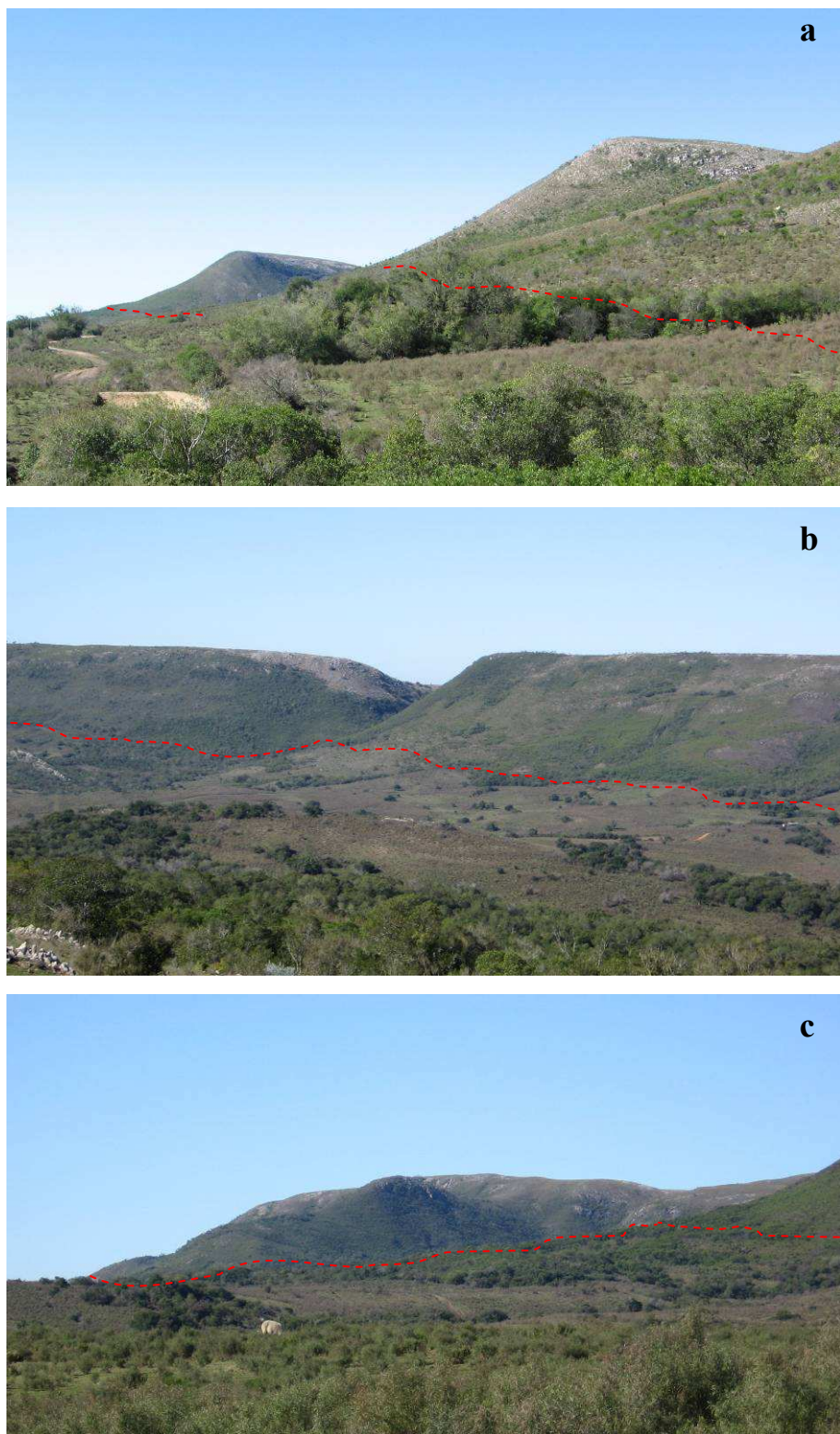


Figura 7 - Feições geomorfológicas características para os litotipos vulcânicos do Cerro Chato: a) domínio central constituído principalmente por ignimbritos; b) domínio sudoeste: principalmente riolitos; c) domínio nordeste: principalmente riolitos.



Figura 8 – Características típicas dos ignimbritos com alto grau de soldagem do Cerro Chato: a) feições macroscópicas – rico em cristais de quartzo e K-feldspato, raros litoclastos e incipiente textura eutaxítica; b) feições microscópicas (LN – 25x) apresentando as mesmas características observadas em microscopia.

Os riolitos aflorantes no domínio sudoeste são caracterizados como rochas hemicristalinas e porfíricas, evidenciadas pela presença de fenocristais de quartzo, K-feldspato e subordinadamente plagioclásios, envoltos por uma matriz originalmente vítrea. A percentagem de fenocristais é variável (5-20%) e as fases minerais mostram-se subédricas, com formas arredondadas, indicando um provável desequilíbrio com o líquido, durante a cristalização. A matriz apresenta intercrescimentos quartzo-feldspáticos, evidenciando, algumas vezes, uma textura granofírica. Outra feição textural comum, tanto na matriz, quanto ao longo dos fenocristais são os esferulitos, normalmente fibrorradiados. Tanto esta feição, quanto à textura granofírica pode estar indicando diferentes estágios de devitrificação de alta temperatura. Como minerais de alteração ocorrem carbonatos e epidoto. Raros xenólitos de riolitos são também observados (Fig.9).

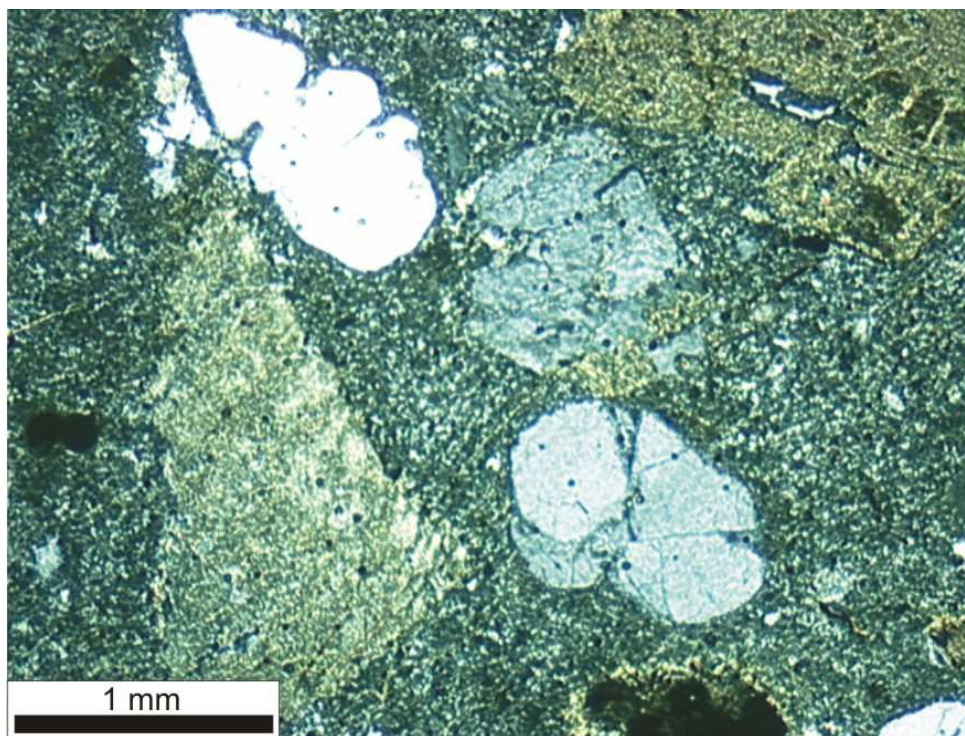


Figura 9 - Foto mostrando feição típica dos riolitos do domínio sudoeste (microscopia, LP, de 25x). Podem ser observadas feições de reabsorção do quartzo e da substituição dos plagioclásios para carbonato.

No domínio nordeste os riolitos são hemicristalinos, com textura porfírica, com fenocristais de quartzo e feldspatos, envoltos por matriz afanítica. Ao microscópio foram identificados K-feldspato, plagioclásio e biotita. Estruturas reliquias de minerais máficos foram observadas, integralmente substituídas por clorita. Pequenas vesículas

preenchidas por quartzo são raramente observadas e a feição esferulítica é comum (Fig.10 e 11). Riocitos ocorrem subordinadamente em blocos orientados ao longo da crista mais ao norte do Cerro Chato. A rocha é hipocristalina, glomeroporfirítica média em matriz fanerítica fina, com cristais hipautomórficos de plagioclásio e cristais alotriomórficos de quartzo e K-feldspato. Na microscopia foi observado quartzo com extinção ondulante e formas embainhadas, plagioclásio com alteração para carbonato a partir das fraturas. Foram encontrados também os minerais hematita e zircão alotriomórfico e a textura mirmequítica (Fig12).

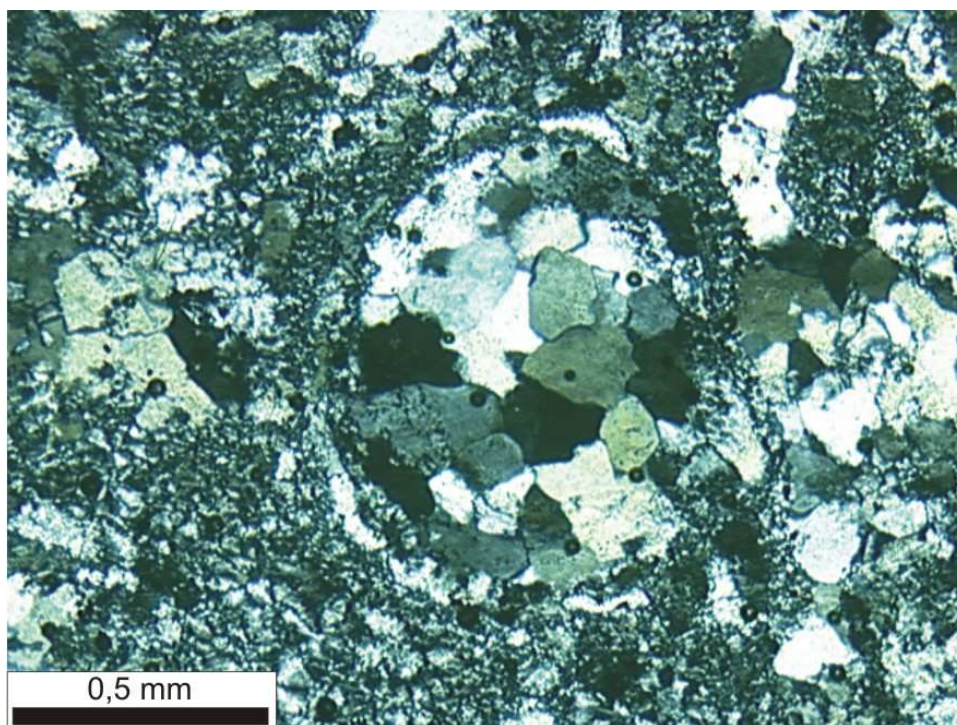


Figura 10 - Fotomicrografia de riolito do domínio nordeste, com cavidade preenchida por agregado de quartzo (LP - aumento de 50x).

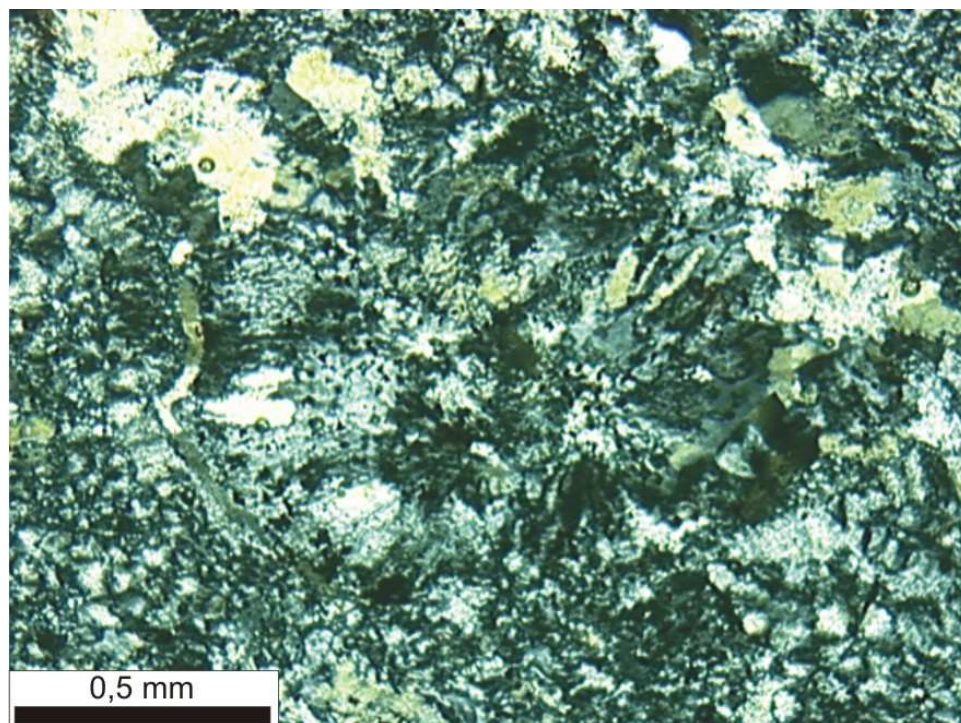


Figura 11 - Textura esferulítica em riolito do domínio nordeste (Fotomicroscopia, LP, aumento de 50x).

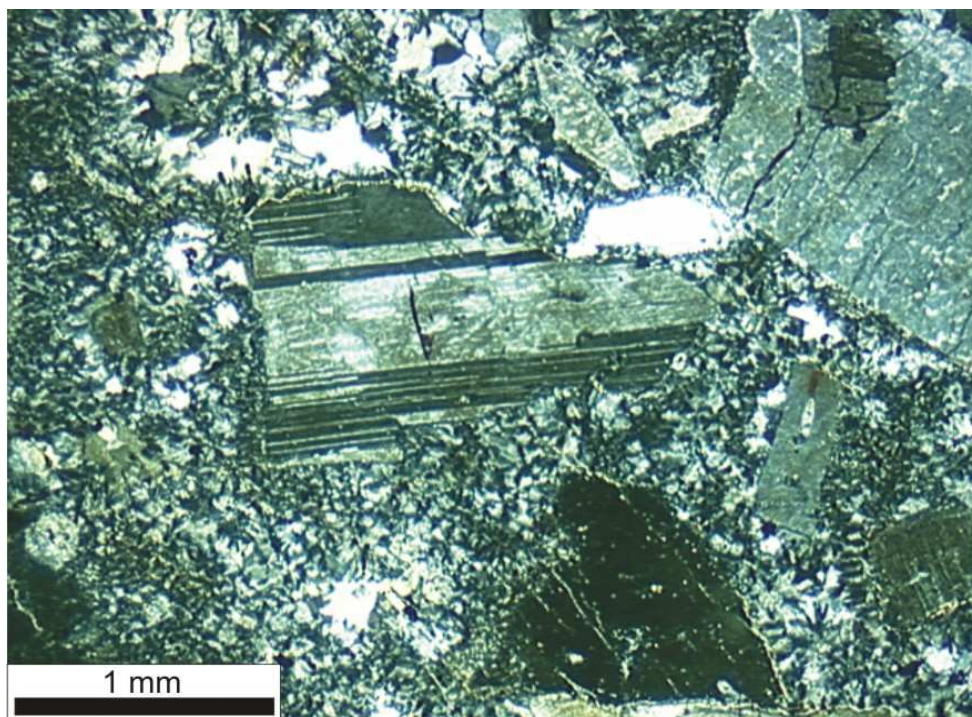


Figura 12 - Foto do riolito em microscopia, LP, com aumento de 25x. É possível observar plagioclásio fraturado com borda alterando para carbonato, e textura esferulítica.

2.1.1.2 – Aspectos geoquímicos

Dados químicos das rochas piroclásticas e efusivas riolíticas indicam teores elevados de SiO_2 (68,85% até 77,14%), sendo esta característica semelhante aos riolitos de alta sílica definidos por Mahood & Hildreth (1983) e Metz & Mahood (1991).

Os padrões de distribuição dos elementos maiores mostram dispersões em relação ao índice de diferenciação (Fig.13) e são comuns nestes sistemas. Correlações simpatéticas ou anti-patéticas em geral atribuídas a mecanismos de fracionamento mineral, devem ser assumidas com cautela, pois em sistemas de alta sílica o efeito da soma constante pode gerar correlações sem significado petrogenético.

No diagrama de classificação química de rochas vulcânicas (Le Bas *et al.* 1986), as amostras estudadas ocupam o campo dos riolitos (Fig.14). De acordo com a proposta de Winchester & Floyd (1977), as razões Zr/TiO_2 vs SiO_2 permitem classificar as amostras como riolitos e dacitos. No diagrama Nb/Y versus Zr/TiO_2 as amostras distribuem-se em dois grupos: riodacítico-riolito e comendito (Fig.15). Deve-se considerar, no entanto, que classificações que envolvam elementos traços e menores em sistemas alta sílica podem ser fortemente influenciadas pelo fracionamento mineral.

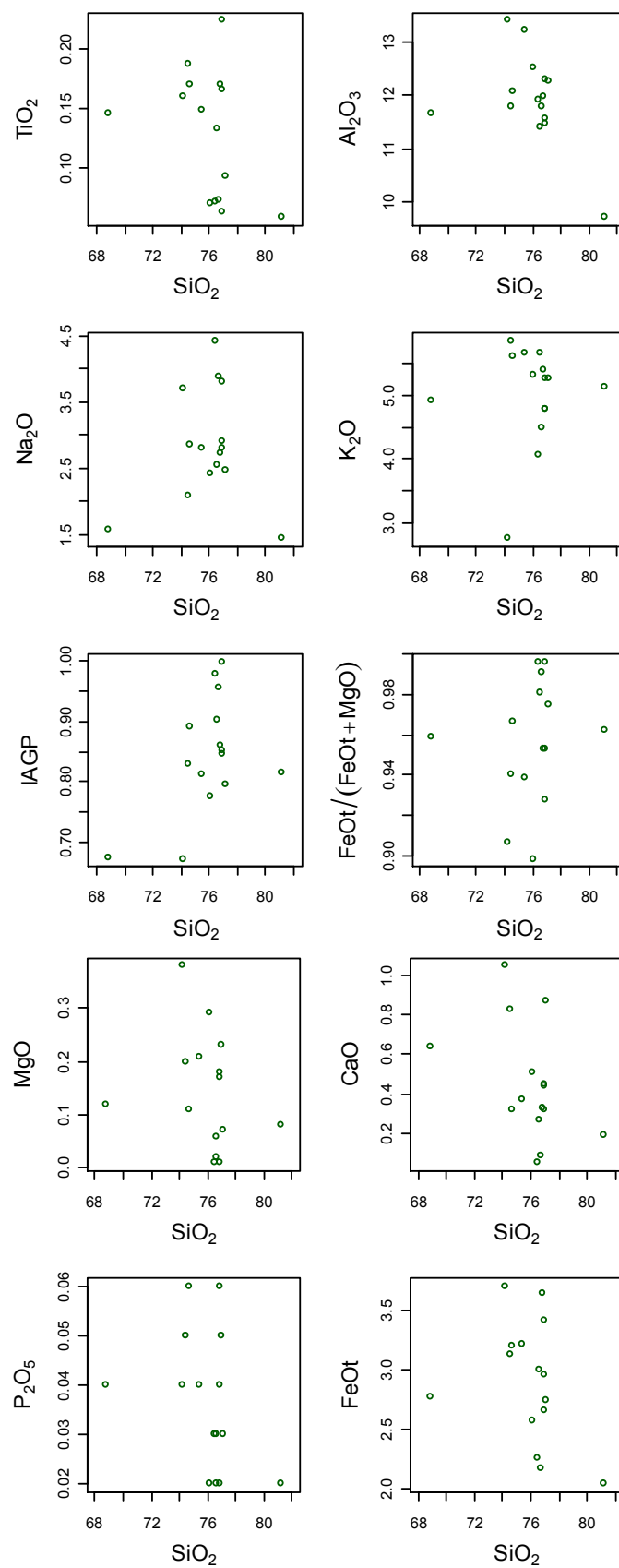


Figura 13 – Diagramas de variação SiO₂ versus maiores, FeOt/FeOt+MgO e índice agpático (IAGP).

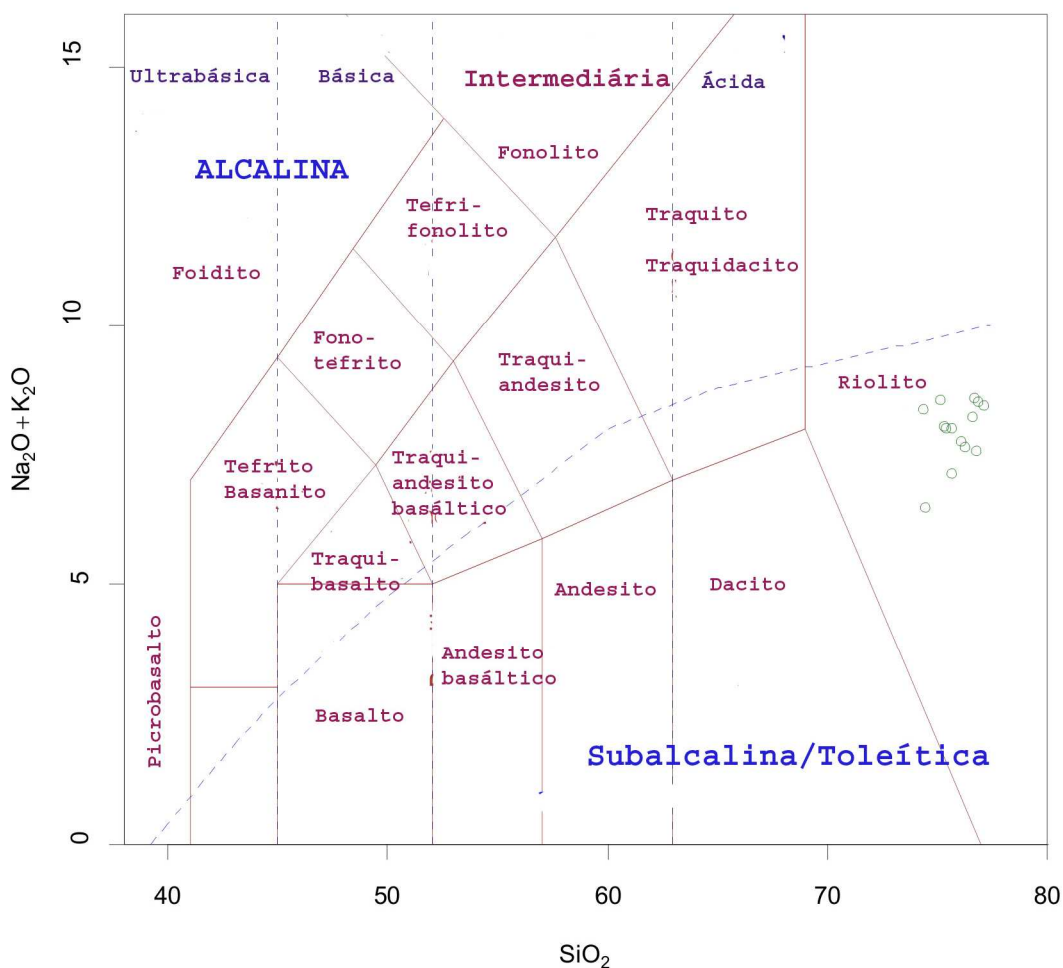


Figura 14 – Diagrama TAS de classificação de rochas vulcânicas, com amostras vulcânicas do Cerro Chato.

No diagrama multielementar (Fig.16) normalizado pelo padrão ORG (Pearce *et al.*1984) observa-se uma forte anomalia positiva de K_2O , Rb e Th aliado a uma expressiva anomalia negativa de Ba. Os elementos Ta, Nb e Ce são relativamente mais enriquecidos em um grupo de amostras, sendo que estas variações podem ser atribuídas preliminarmente a efeitos de fracionamento ou acumulações localizadas de fases acessórias como zircão e alanita. A normalização das amostras pela média da crosta continental (Fig.16) gera padrões levemente horizontalizados com anomalias negativas de Ba, Sr, P e Ti, que podem ser atribuídas a etapas anteriores de evolução magmática que fracionaram feldspatos, apatita e fases máficas.

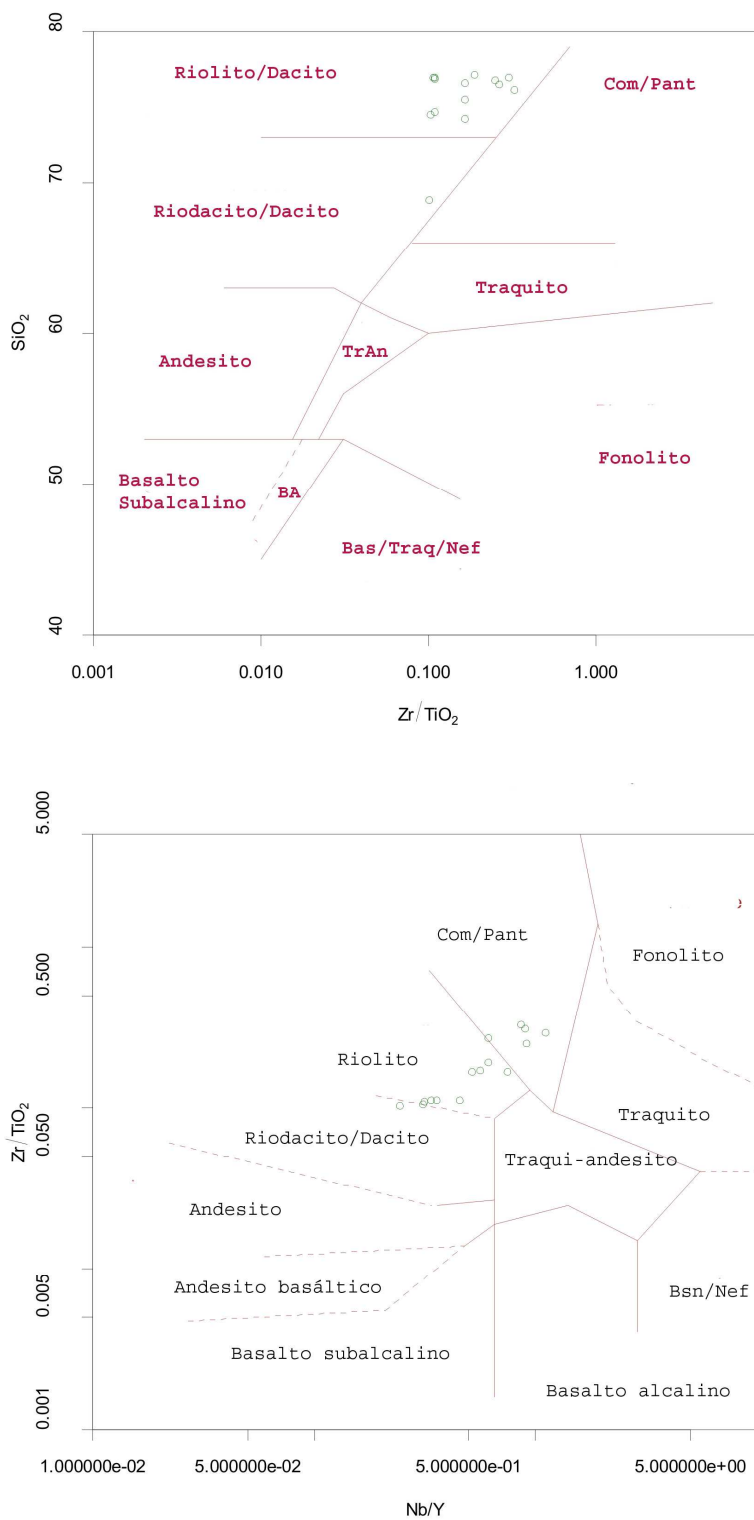


Figura 15 – Diagramas de classificação de Winchester & Floyd (1977) com amostras das rochas vulcânicas do Cerro Chato.

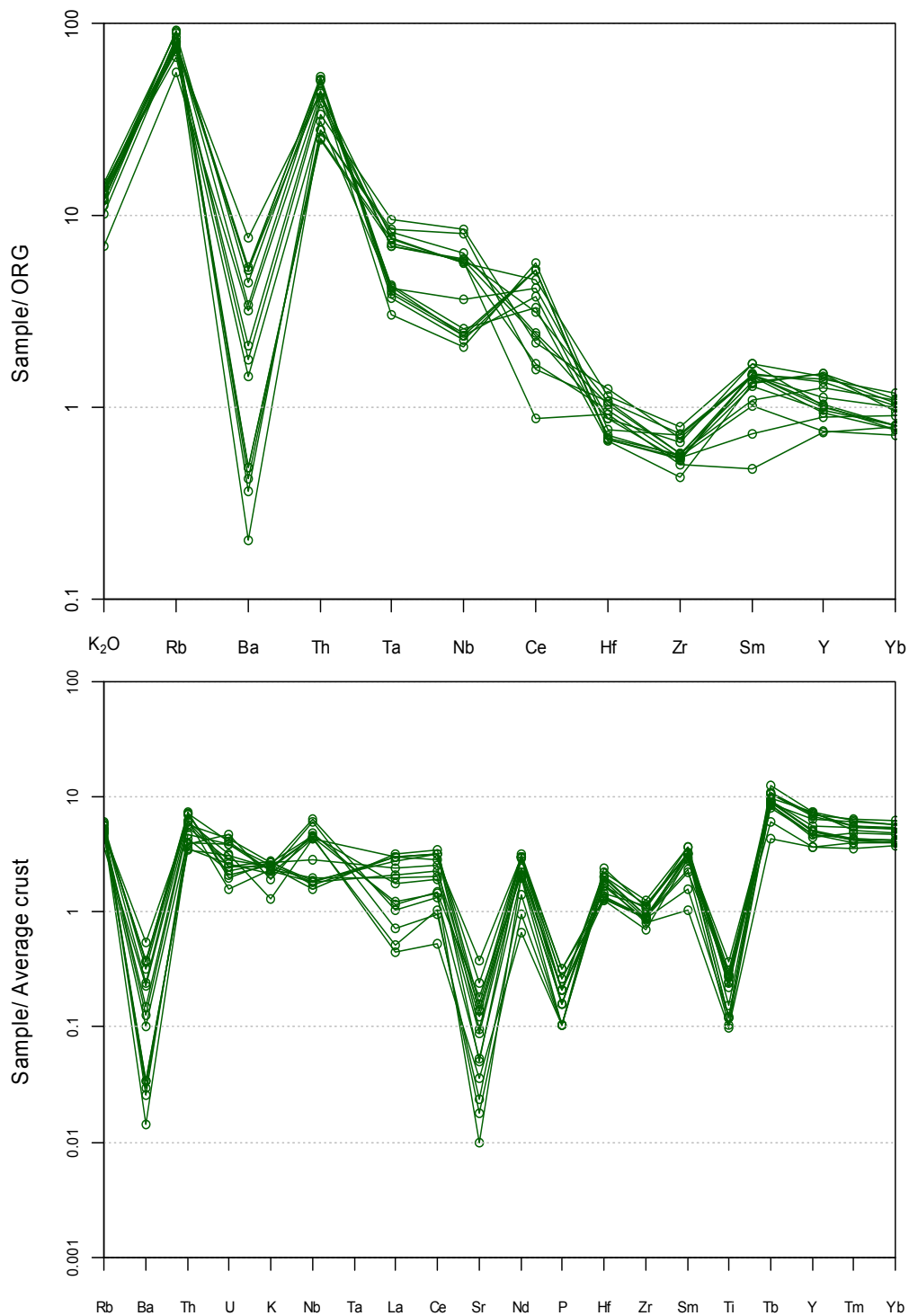


Figura 16 – Diagrama multielementar com as amostras vulcânicas do Cerro Chato normalizados pelo ORG (Pearce *et al.* 1984) e valores médios da crosta (Weaver & Tarney 1984)

Os conteúdos de ETR dos riolitos normalizados pelo condrito de Nakamura (1974) (Fig.17) gera padrões com pequeno enriquecimento de ETRL em relação à ETRP (Lan/Ybn= 1,33 a 9,79). As amostras possuem uma forte anomalia negativa de Eu, típica de sistemas altamente diferenciados.

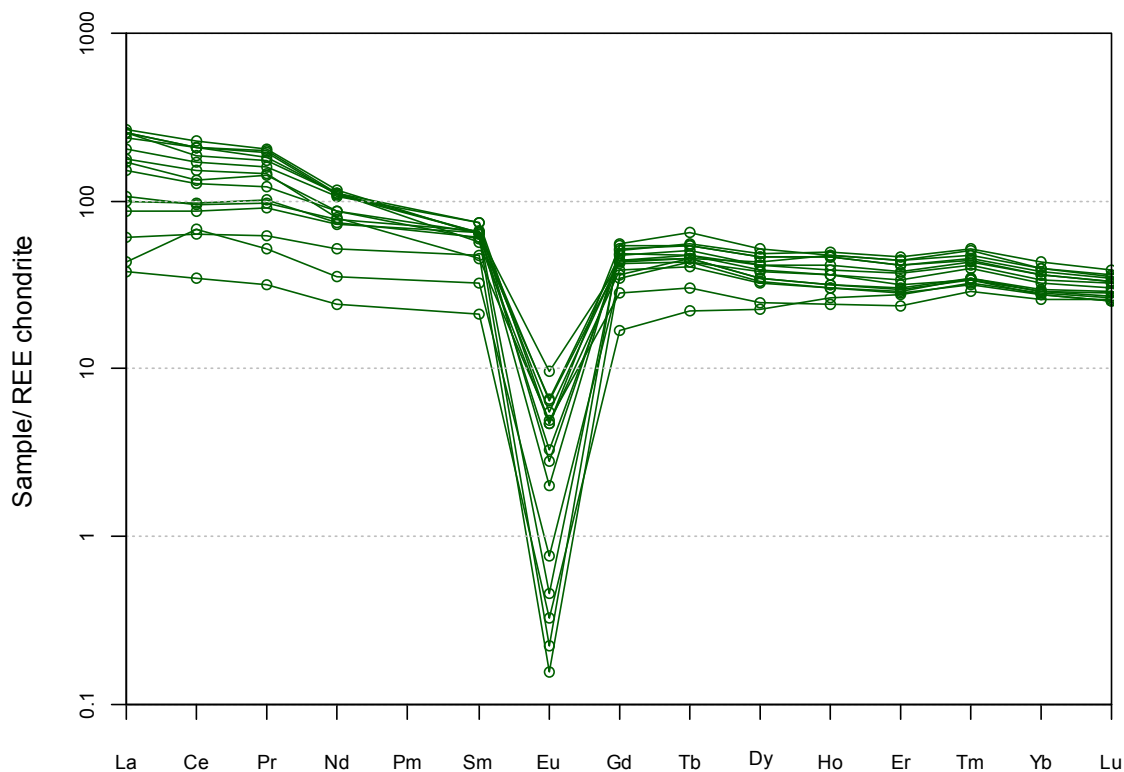


Figura 17 – Padrão dos elementos terra rara das amostras vulcânicas do Cerro Chato, normalizado segundo o condrito (Nakamura, 1974).

Preliminarmente, pode-se sugerir que as principais características geoquímicas apresentadas pelas rochas riolíticas do Cerro Chato, como elevados teores de SiO_2 , FeO_t , Na_2O , K_2O , Rb, Zr, Nb, Y, ETR, altos valores para as razões $\text{FeO}_t/\text{FeO}_t+\text{MgO}$ ($> 0,9$) e índice agpaítico ($> 0,75$) e baixos valores para Al_2O_3 , MgO , CaO , Sr e Ba, caracterizam este magmatismo como de afinidade alcalina e caráter metaluminoso a peraluminoso.

Quando plotadas em diagramas discriminantes de ambiente tectônico, observa-se que os litotipos do Cerro Chato ocupam o campo de granitos do tipo A (Fig.18) e de

ambientes intra-placas, de mesma forma comuns para associações características de ambientes pós-colisionais (Fig.19).

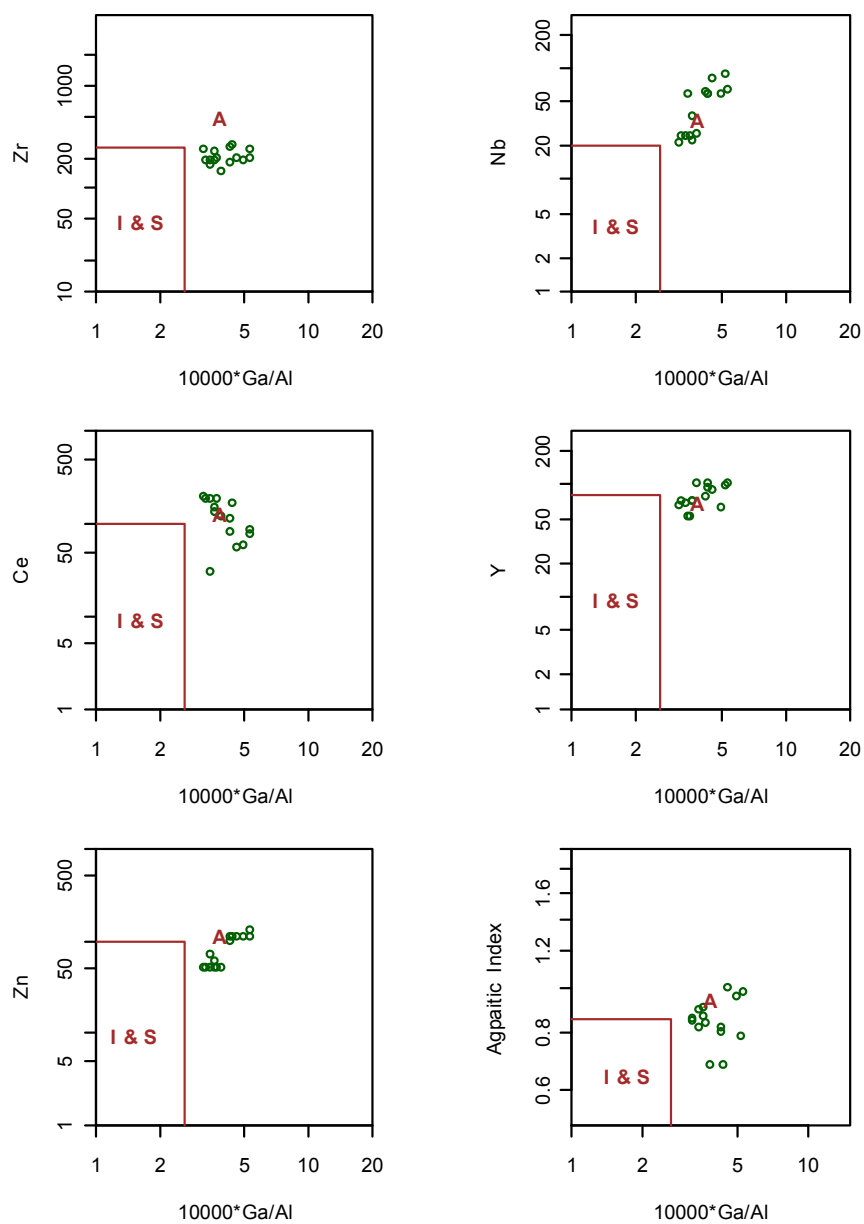


Figura 18- Amostras das rochas vulcânicas do Cerro Chato plotados nos diagramas de Whalen *et al.* (1987).

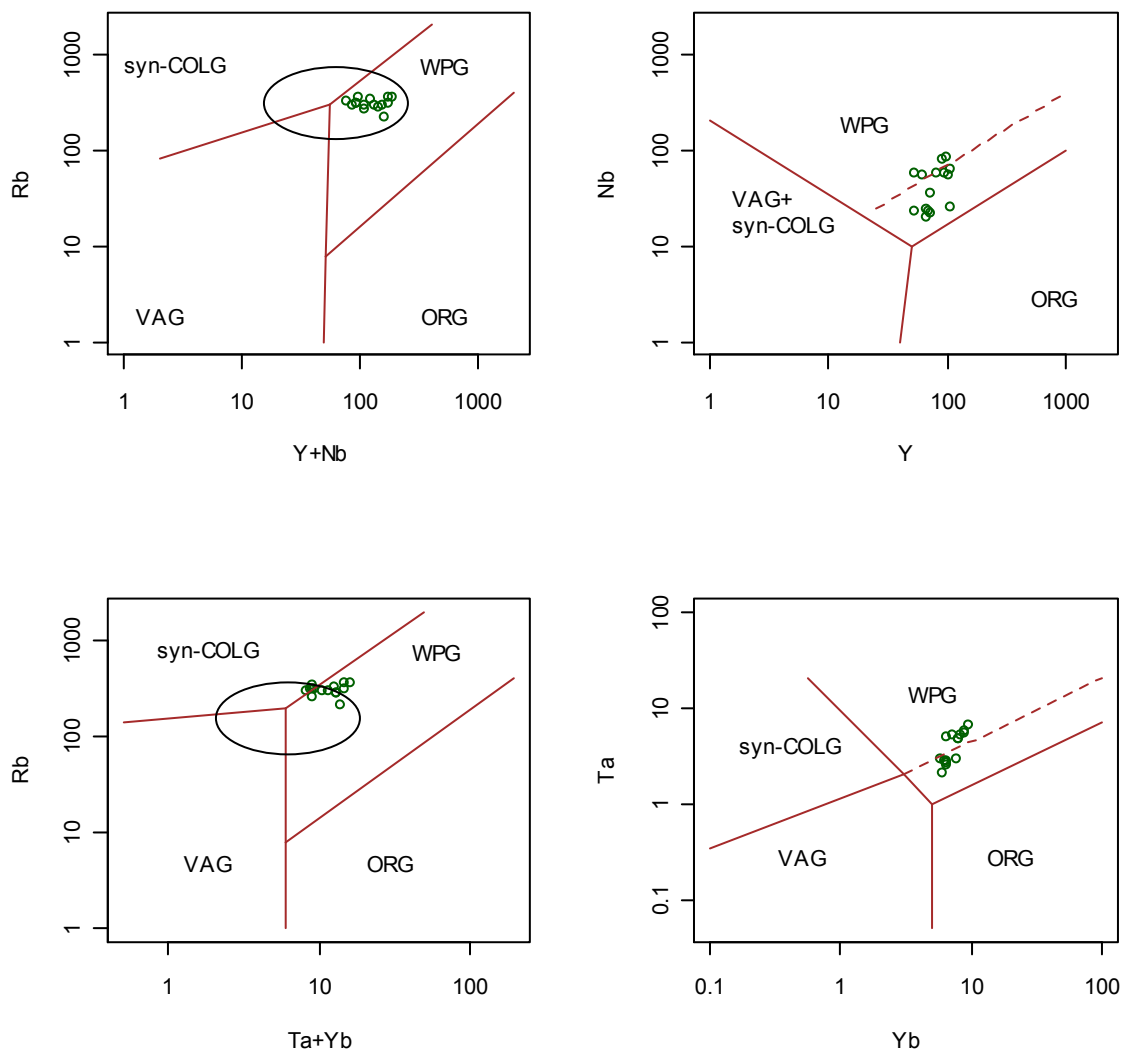


Figura 19 - Amostras das rochas vulcânicas do Cerro Chato plotados nos diagramas de Pearce *et al.* (1984). A elipse marca o campo das associações pós-colisionais.

3 – SENSORIAMENTO REMOTO – Revisão conceitual e bibliográfica

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como a ciência e a técnica de obtenção de dados ou coleta de informações à distância, através do uso de sensores, os quais podem ser aéreos ou espaciais. Estes sensores utilizam a radiação eletromagnética (REM), radiação proveniente do Sol, como vetor de informação sobre a superfície terrestre. A interpretação dos produtos de sensoriamento remoto é feita pela análise do fluxo da REM, refletido ou emitido pelos objetos presentes na superfície da Terra, registrados sob forma de imagem. Devidos às diferenças na composição química e nas propriedades físicas, os diferentes materiais presentes na superfície terrestre apresentarão comportamentos distintos ao longo do espectro eletromagnético para diferentes atributos (emissividade, reflectância, irradiância, transmissividade, etc.). É nessa diferença comportamental que o sensoriamento remoto tem seus fundamentos (Crósta, 1992).

A densidade de energia emitida pelo Sol (REM) que incide numa superfície é denominada de irradiância. Os sensores remotos medem a reflectância que pode ser definida como a razão entre a parcela da REM refletida pela superfície e a radiação incidente nesta superfície. A assinatura espectral corresponde ao registro da reflectância ao longo do espectro eletromagnético e define quais as regiões espectrais mais favoráveis a ocorrer o contraste necessário á percepção dos diferentes alvos terrestre. O registro das assinaturas espectrais pelo sensor resulta na geração de imagens multiespectrais, onde os diferentes níveis de brilho traduzem a interação da superfície com a REM.

A análise e interpretação de uma imagem se baseiam nos seus atributos, que são definidos pelas resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal:

- resolução espacial – é definida pela capacidade do sensor em registrar, através do *pixel*, objetos na superfície terrestre, quanto menos for o objeto maior será a resolução espacial. A área do *pixel* é definida pelo campo instantâneo de visada (IFOV) e a altura do equipamento;
- resolução espectral – é definida pelo número de bandas espectrais e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior será a resolução espectral de um sensor (Crósta, 1992);

- resolução radiométrica – representa o número de níveis de cinza ou níveis digitais (DNs) que são coletados pelo sensor e representa a média de intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes na área do *pixel*. Quanto maior o número de níveis de cinza maior a resolução radiométrica e melhor a capacidade de diferenciação dos objetos;
- resolução temporal – corresponde ao intervalo de revisita que do sensor em determinada área.

O processamento digital de imagens, como atividade de Sensoriamento Remoto, iniciou-se em 1960 com um pequeno número de pesquisadores analisando dados obtidos por imageadores multiespectrais instalados a bordo de aeronaves, e com análises de fotos aéreas digitalizadas (Moreira, 2001). Entretanto, foi só a partir de 1972, com o lançamento do satélite Landsat-1, que imagens digitais começaram a ser utilizadas em aplicações de Sensoriamento Remoto da superfície da terra. Com o incremento no progresso de pesquisas em sensores eletrônicos e o advento dos computadores digitais, o sensoriamento remoto adquiriu novas possibilidades e dimensões.

Diversas pesquisas foram feitas com base na análise de minerais envolvendo grupos de rochas, visando o conhecimento das suas feições diagnósticas destacando os trabalhos realizados por Hunt (1977,1980), Galvão & Vitorello (1994), Saldanha (2003) e Saldanha *et al.* (2004).

Pesquisas que tenham como base o mapeamento de seqüências vulcânicas e rochas intrusivas associadas foram realizadas por Guimarães Filho (1994) e Klein (1998).

Hoff (2002) integrou dados geológicos, de sensoriamento remoto e geofísica aplicada na prospecção de depósitos filonéticos de fluorita.

Os estudos utilizando os dados do sensor ASTER são recentes. Stevens *et al.* (2004) associam a composição colorida 123 (RGB) ao modelo de elevação do terreno com o objetivo de monitorar as atividades vulcânicas do vulcão Taranaki, Nova Zelândia. Wagner (2004) aplicou as imagens ASTER para estudos territoriais no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Sommer (2005) utilizou imagens ASTER para identificar unidades vulcânicas e sedimentares da área do Platô da Ramada. Lima *et al.* (2005) utilizou técnicas

de processamento de imagens ASTER para a discriminação espectral de variações faciológicas no Granito Serra Branca, no estado de Goiás.

Técnicas de sensoriamento remoto forma poucas vezes empregadas na região de estudo deste trabalho, destacando o trabalho realizado por Carraro & Ribeiro (1983) que utilizando imagens LANDSAT e mosaico fotográfico de imagens de RADAR descreveram a evolução das estruturas dobradas no embasamento granítico-gnaissico entre os municio de Piratini e Eral. Tendo em vista a carência de estudos utilizando o sensoriamento remoto na região, acredita-se que este trabalho venha a acrescentar no conhecimento da exposição das litologias na área através da aplicação de técnicas de processamento de imagens ASTER.

3.1 – Características do sensor ASTER Sistema Terra

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer*) é um imageador multiespectral a bordo do satélite Terra lançado, em dezembro 1999. Este sensor gera imagens de média resolução espacial e espectral, apresentando três subsistemas de diferentes telescópios: VNIR, SWIR e TIR, os quais fornecem um total de 14 bandas espectrais desde a região do visível ao infravermelho termal do espectro eletromagnético (Figura 20). O subsistema VNIR tem ainda um telescópio adicional na banda do infravermelho próximo que fornece visão estereoscópica, já que este apresenta diferente ângulo de visada (*backward*) em relação a uma imagem em Nadir. A resolução espacial varia com o comprimento de onda e corresponde aos diferentes subsistemas. Cada cena ASTER tem dimensão de 60 por 60 quilômetros.

O sensor ASTER consiste de três subsistemas separados. Cada subsistema opera em uma região espectral diferente tendo seus telescópios próprios. O subsistema VNIR (Visível e Infravermelho Próximo) apresenta três bandas com resolução espacial de 15 metros, e um telescópio adicional com capacidade estereoscópica; o SWIR (Infravermelho Médio) conta com 6 bandas em resolução espacial de 30 metros; e o TIR (Infravermelho Termal) tem 5 bandas com resolução espacial de 90 metros. As características dos subsistemas são mostradas na tabela 1.

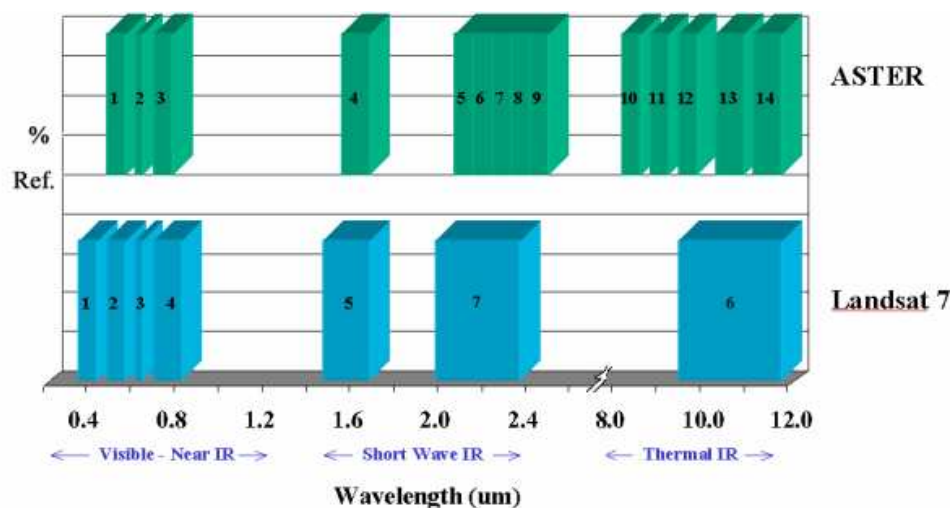


Figura 20: Comparação das bandas espectrais do ASTER e Landsat TM. Os valores de reflectância são dados em porcentagem e o comprimento de onda em μm .

Tabela 1. Características dos subsistemas ASTER.

Subsistema	Banda N°	Alcance Espectral (μm)	Comprimento de onda médio (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica
VNIR	1	0.52-0.60	0.5560	15	8
	2	0.63 - 0.69	0.6610		
	3N	0.78 - 0.86	0.8070		
	3B	3B 0.78 - 0.86	0.8040		
SWIR	4	1.60 - 1.70	1.6560	30	8
	5	2.145 - 2.185	2.1670		
	6	2.185 - 2.225	2.2090		
	7	2.235 2.285	2.2620		
	8	2.295 2.365	2.3360		
	9	2.360 2.430	2.4000		
TIR	10	8.125 8.475	8.2910	90	12
	11	8.475 8.825	8.6340		
	12	8.925 9.275	9.0750		
	13	10.25 10.95	10.6570		
	14	10.95 11.65	11.3180		

4 – PROCESSAMENTO DAS IMAGENS ASTER - Resultados

4.1 – Tratamento de imagens

As técnicas de sensoriamento remoto utilizadas no tratamento deste estudo envolveram pré-processamento com a correção geométrica das imagens e processamento digital das mesmas.

4.2 – Entrada das imagens no programa ENVI 4.2

A imagem ASTER utilizada, de 09 de março de 2003, foi redimensionada para 360 linhas por 561 colunas, através do recorte da cena, focando somente a área de estudo.

Para um melhor aproveitamento das informações contidas nas imagens de satélite e diferenciação dos alvos através do comportamento espectral, compatibilizam-se as resoluções espaciais das imagens VNIR e SWIR gerando metafilas com resoluções diferentes. Um, com resolução espacial de 15m e outro com resolução espacial de 30m sendo que ambos integram as três bandas do VNIR com as seis bandas do SWIR. Na tabela 2 são apresentados os dados estatísticos referentes às 09 bandas ASTER utilizadas neste trabalho, e na tabela 3 a matriz de correlação entre as bandas.

Tabela 2: Dados estatísticos originais das 9 bandas ASTER.

BANDA	DN mín.	DN max.	Média	Desvio Padrão
1	0	103	57.1688	7.9928
2	0	94	38.4631	8.2988
3	0	121	64.7427	11.1617
4	0	83	53.7208	10.4087
5	0	68	36.8850	6.5459
6	0	76	38.8717	8.1026
7	0	226	33.4791	6.06561
8	0	66	31.6767	6.1716
9	0	91	31,0695	5.0448

Tabela 3: Matriz de correlação entre as 09 bandas ASTER.

Banda	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0.9576	0.7934	0.8234	0.8060	0.7794	0.7322	0.7432	0.7540
2	0.9576	1	0.6727	0.8122	0.8039	0.7824	0.7747	0.7846	0.7852
3	0.7934	0.6727	1	0.7021	0.6138	0.5977	0.5526	0.5417	0.5336
4	0.8234	0.8122	0.7021	1	0.9368	0.9236	0.9223	0.9279	0.912
5	0.8060	0.8039	0.6138	0.9368	1	0.9561	0.9025	0.9187	0.9197
6	0.7794	0.7824	0.5977	0.9236	0.9561	1	0.8960	0.9096	0.9042
7	0.7322	0.7747	0.5526	0.9223	0.9025	0.8960	1	0.9671	0.9325
8	0.7432	0.7846	0.5417	0.9279	0.9187	0.9096	0.9671	1	0.9561
9	0.7540	0.7852	0.5336	0.9125	0.9197	0.9042	0.9325	0.9561	1

4.3 - Realce de contraste

Nas bandas 1 ($\lambda = 0,52 - 0,60\mu\text{m}$) e 2 ($\lambda = 0,63 - 0,69\mu\text{m}$) os *pixels* escuros, indicando baixos valores de DN, representam a vegetação e os *pixels* claros, altos valores de DN, os solos. Observam-se diferenças texturais entre os arenitos e ardósias na região central do Cerro Chato (figura 21). Na banda 3 ($\lambda = 0,78 - 0,86\mu\text{m}$), região espectral do infravermelho próximo, observa-se o contraste espectral entre as rochas vulcânicas, iniciando a NE e estendo-se ao longo do Cerro Chato até a porção mais à oeste do corpo, em relação as outras rochas em contato (figura 22). Não foi possível a diferenciação entre solos e vegetação devido à mistura na resposta espectral desses alvos. Constata-se um melhor realce da morfologia dos terrenos em relação às bandas 1 e 2. A banda 4 ($\lambda = 1,60 - 1,70\mu\text{m}$) do infravermelho médio, apresenta a vegetação em *pixels* escuros devido a alta absorção da REM neste comprimento de onda (figura 22). As rochas vulcânicas do Cerro Chato são evidencias por *pixels* mais escuros, enquanto os arenitos e ardósias estão representadas por *pixels* claros, indicando a contribuição do substrato rochoso nesta imagem. As imagens das bandas do infravermelho médio (5,6,7,8 e 9 com $\lambda = 2,185$ a $2,430\mu\text{m}$) mostram um baixo contraste espectral (figura 23). Os contrastes mais notáveis nestas imagens são a vegetação, dada em tons escuros devido a maior absorção da REM, e os solos em tons claros. A diferenciação das rochas vulcânicas das outras rochas do Cerro Chato é menos visível em relação às bandas 1,3 e 4.

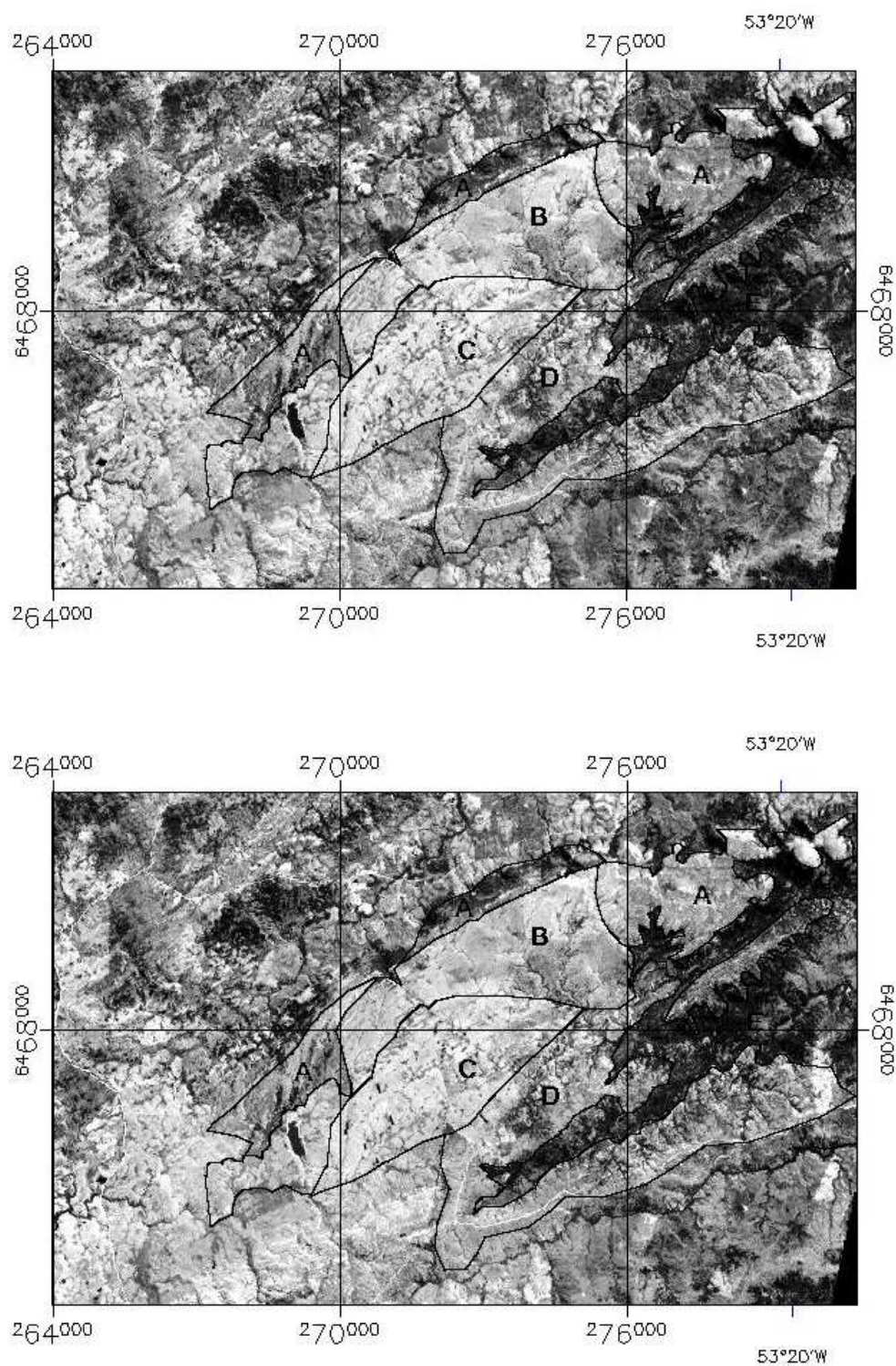


Figura 21: Imagens acromáticas com realce linear das bandas 1 (b1) e 2 (b2). Com a separação dos principais domínios litológicos do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósia; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.

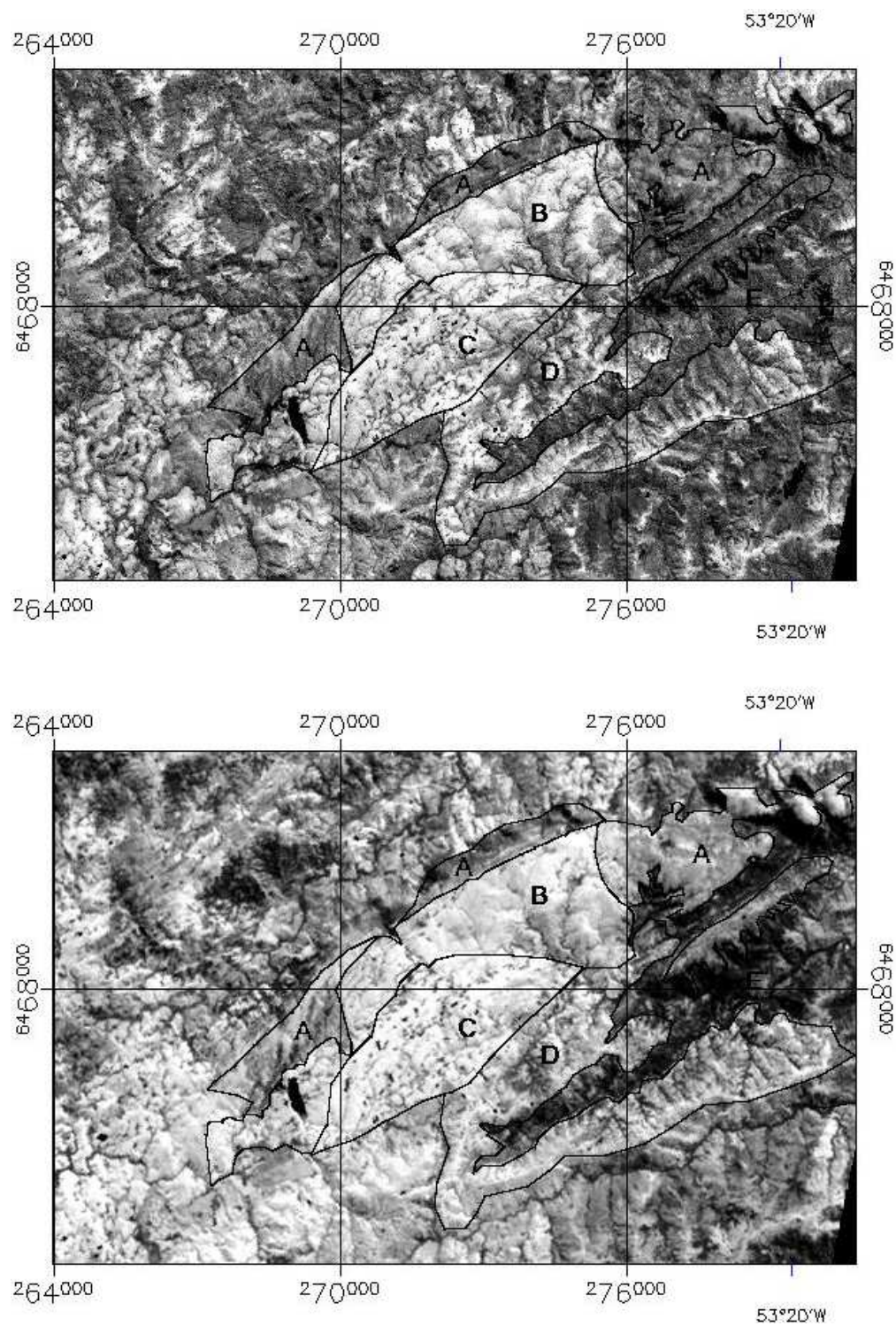
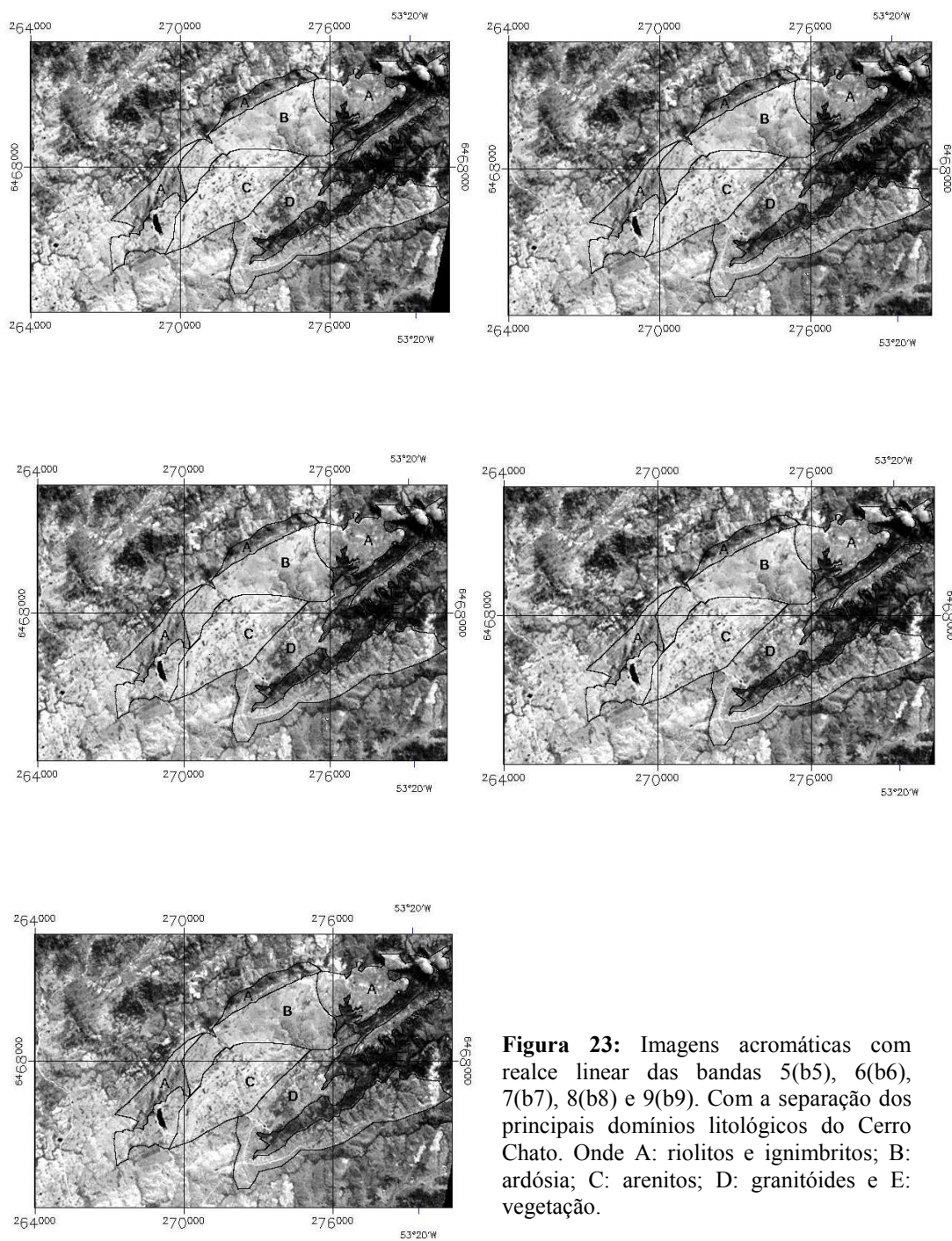


Figura 22: Imagens acromáticas com realce linear das bandas 3 (b3) e 4 (b4). Com a separação dos principais domínios litológicos do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósia; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação



4.4 - Composição colorida

Em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, as quais por sua natureza multiespectral são compostas por várias bandas, composições a cores de conjuntos de três bandas constituem numa poderosa forma de sintetizar, numa única imagem, uma grande quantidade de informação, ao mesmo tempo em que representam essa informação em diferentes cores (espaço RGB) facilitando, portanto sua interpretação.

A seleção de bandas a serem combinadas terá como base às características espectrais dos alvos, neste caso as rochas vulcânicas buscando a sua identificação e individualização nas imagens.

A primeira análise visando o reconhecimento da área em estudo foi realizada na imagem composição colorida R3G4B2, que correspondem aos comprimentos de onda das regiões NIR, SWIR e VIS respectivamente (Figura 24). Nesta imagem pode-se reconhecer a feição de formato oval de direção preferencial NE com predominância dos tons ciano – claro, denominada Cerro Chato. A radiometria define assim, um substrato rochoso de elevada reflectância nas três bandas envolvidas que juntamente com a textura e rugosidade dos diferentes compartimentos geomorfológicos torna-se, nesta imagem, um importante critério de foto análise permitindo a segmentação das diferentes unidades geológicas.

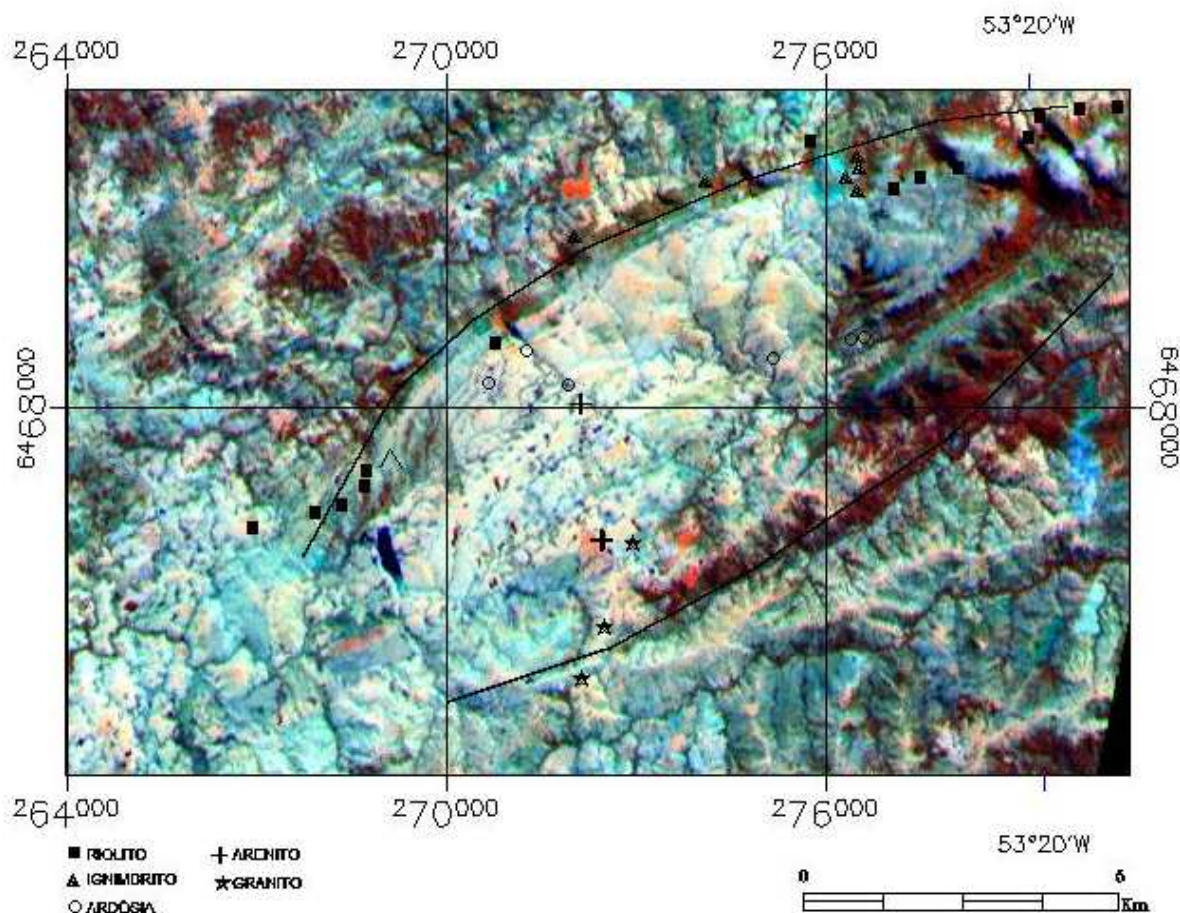


Figura 24: Imagem RGB 342 da região do Cerro Chato com os pontos de amostragem das diferentes litologias da área.

4.5 - Filtragem direcional

Todas as imagens possuem limites entre áreas com diferentes respostas em relação à energia eletromagnética. Esses limites podem ocorrer entre diferentes coberturas do terreno (solo, vegetação, rocha, áreas urbanas etc.) ou podem representar o contato entre áreas com diferentes condições de iluminação, devido ao sombreamento topográfico. Para contornar esse problema e melhorar a aparência da distribuição espacial das informações são utilizadas técnicas de filtragem espacial de frequência para realçar bordas, feições lineares de determinadas direções e padrões de textura.

Foram utilizados os processamentos de filtragem por convolução para identificar os padrões de lineamentos e sua relação com as diferentes litologias da área do Cerro Chato. Tendo em vista as possibilidades deste processamento realçar bordas em

direções pré-determinadas, aplicou-se um filtro direcional (Araújo & Carvalho Jr., 1994, in Sommer 2005) na banda 4.

Filtros direcionais são aqueles que deixam passar as altas frequências apenas em determinadas direções requeridas e são muito usados em estudos geológicos e geomorfológicos. O filtro selecionado possui uma estrutura de 5 x 5 linhas/colunas e os valores das células definidos em torno de um eixo de simetria, realçando as estruturas que correspondam às direções NE, NW e E-W.

A análise dessa imagem indica uma grande incidência de lineamentos na direção NW-SE (Figura 25). Entre estes se destacam 2 grandes lineamentos, com direções NW-SE e NNE-SSW, que separam os domínios vulcânicos do Cerro Chato.

Em campo foi observado que as rochas situadas nas áreas afetadas pelos lineamentos apresentam foliações com direções coincidentes com as encontradas na imagem.

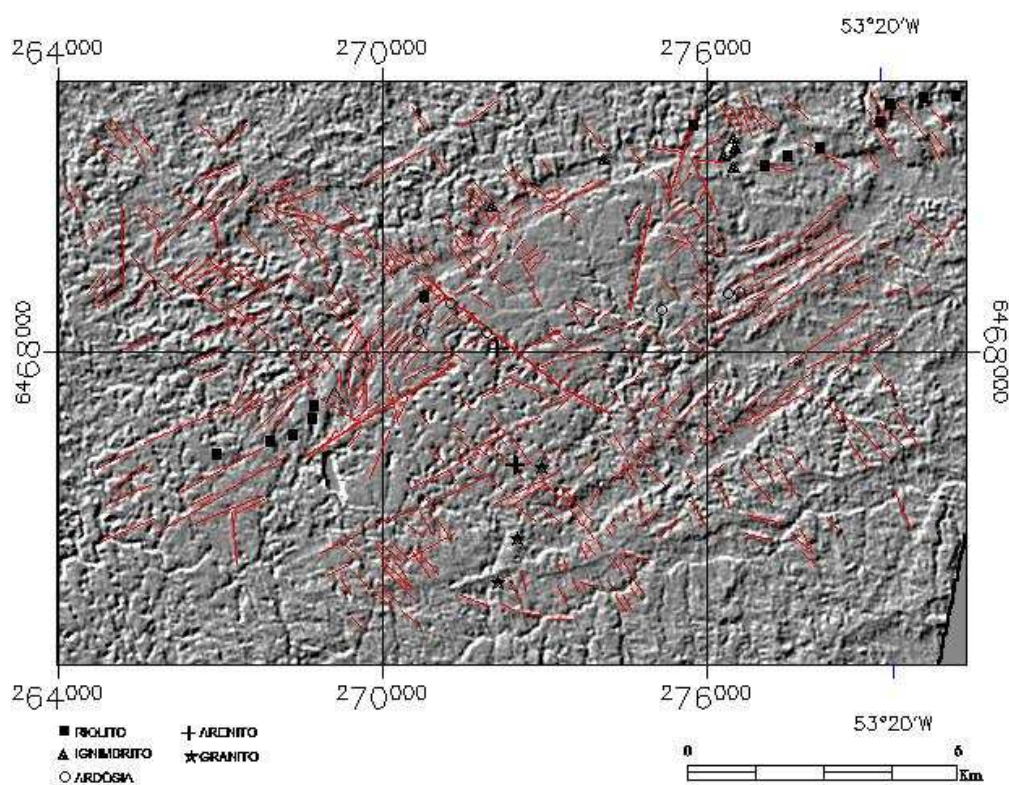


Figura 25: Imagem acromática da banda 4 com filtragem direcional sobreposta (Sommer, 2005), evidenciando os principais lineamentos da região do Cerro Chato.

4.6 - Análise por componentes principais

O procedimento da CP consiste na entrada de N imagens onde serão analisadas estatisticamente as correlações entre elas sendo produzido então um novo conjunto de N imagens, com nenhuma correlação entre si. Isso remove a redundância de informações permitindo então maior individualização dos alvos de interesse. Será utilizada a transformação direta com a computação de cálculos estatísticos.

A técnica das Componentes Principais (CP) foi utilizada tendo por objetivo o realce das feições espectrais características dos diferentes alvos que compõem a cena. Essa técnica foi utilizada pelo fato de reduzir a redundância espectral, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas, isto é, as informações são não correlacionáveis. As imagens CP representam uma transformação que é derivada da matriz de covariância ou de correlação entre as bandas e que gera um novo conjunto de imagens onde cada valor do "*pixel*" é uma combinação linear dos valores originais. As imagens componentes principais são, portanto, definidas a partir de um autovalor que reflete a sua variância, e por um conjunto de autovetores representativos da contribuição ou do peso de cada banda espectral original, nesta nova imagem CP. O número de componentes principais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas na transformação e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância dos níveis de cinza. A primeira componente principal tem a maior variância (maior contraste) e representa o relevo da área, informação comum a todas as bandas, enquanto a última, a menor variância, contendo os sinais ruidosos das bandas. Abaixo, a tabela 4 descreve as características estatísticas de cada banda espectral, os autovalores de cada imagem componente principal e os autovetores que revelam o peso de cada banda espectral na geração de cada imagem componente principal.

Tabela 4: Valores das contribuições das 9 bandas ASTER para cada CP.

COMPONENTES PRINCIPAIS	AUTOVETORES									AUTO- VALORES
	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Banda5	Banda6	Banda7	Banda8	Banda9	
CP1	0.32507	0.32567	-0.26069	0.35326	0.34956	0.34487	0.34228	0.345537	0.34323	7.541423
CP2	0.42682	0.27516	0.68297	-0.0466	-0.1421	-0.1677	-0.26839	-0.28329	-0.26990	0.791654
CP3	0.38443	0.64428	-0.5962	-0.2317	-0.0751	-0.1161	-0.08309	-0.03439	0.02660	0.312524
CP4	0.08498	-0.0968	-0.1541	-0.0062	0.49573	0.60320	-0.44885	-0.33397	-0.19229	0.149065
CP5	0.0770	-0.1510	0.08569	-0.1686	0.08866	-0.2058	-0.47623	-0.03983	0.81045	0.067789
CP6	0.08006	-0.0493	-0.2149	0.80169	0.17451	-0.4554	-0.20951	-0.11074	-0.09060	0.050863
CP7	0.02718	-0.0594	0.05722	-0.3752	0.73919	-0.4741	0.23105	0.02832	-0.16194	0.039445
CP8	0.05579	-0.0404	-0.0415	0.05318	-0.0304	0.02197	0.51255	-0.80748	0.27302	0.027414
CP9	-0.73548	0.60275	0.16665	0.06700	0.14333	-0.0228	-0.12503	-0.14468	0.07649	0.019824

Neste trabalho, a imagem composição colorida do triplete das CP's 2-3-5 associadas às cores vermelho (R), verde (G) e azul (B), respectivamente foi selecionada por permitir a melhor interpretação visando à separação das unidades geológicas da área de estudo.

Na imagem acromática CP2, com a maior contribuição da banda 3 (NIR), tabela 4, os *pixels* em tons de cinza claro representam as rochas sedimentares e metamórficas de baixo grau (arenitos e ardósias), onde a cobertura vegetal é mais rala e esparsa (figura 26). As áreas em cinza escuro à nordeste e sudoeste da feição geomorfológica Cerro Chato, representam as rochas vulcânicas e hipabissais. Nesta região a cobertura vegetal é mais arbustiva, tornando-se mais densa nas encostas, porém sem apresentar vigor vegetativo que permita a elevada reflectância neste comprimento de onda. Na porção sudoeste, é possível observar o forte contraste entre as rochas sedimentares e metamórficas e os riolitos por meio do contato abrupto associado aos lineamentos observados na região.

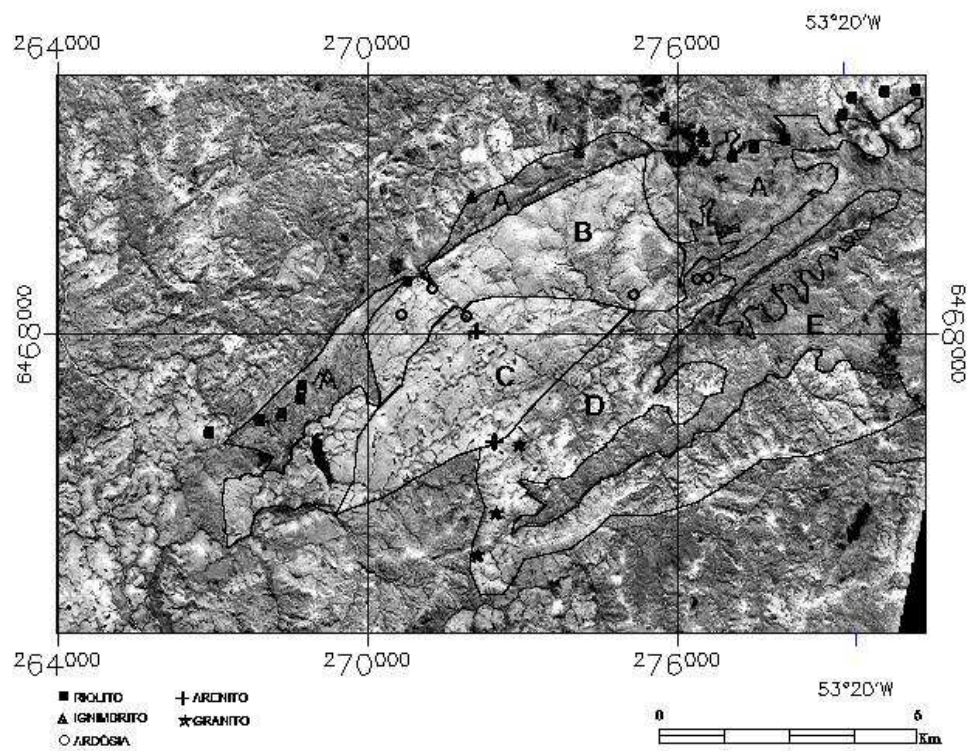


Figura 26: Imagem acromática CP2 da região do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósia; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.

A imagem CP3 (figura 27), conforme tabela 4 revela o contraste entre a região do visível e a região do infravermelho próximo. As elevadas contribuições das bandas 2 e 3 com sinais contrários assim demonstram esse contraste. O substrato das rochas sedimentares e metamórficas, por apresentarem *pixels* claros na imagem B3 ocorre com aparência escura na CP3. As regiões claras na imagem CP3 representam áreas com maior disponibilidade de óxidos de ferro superficialmente, pois refletem na região do visível (B2) e absorvem na região do IVP (B3). O sinal negativo associado à B3, nesta CP, inverte a absorção. As rochas vulcânicas do Cerro Chato, portanto apresentam tons cinza-claro. A vegetação de porte não é realçada por não possuir elevada reflectância na banda 3 e os corpos d'água bem como as sombras aparecem claras.

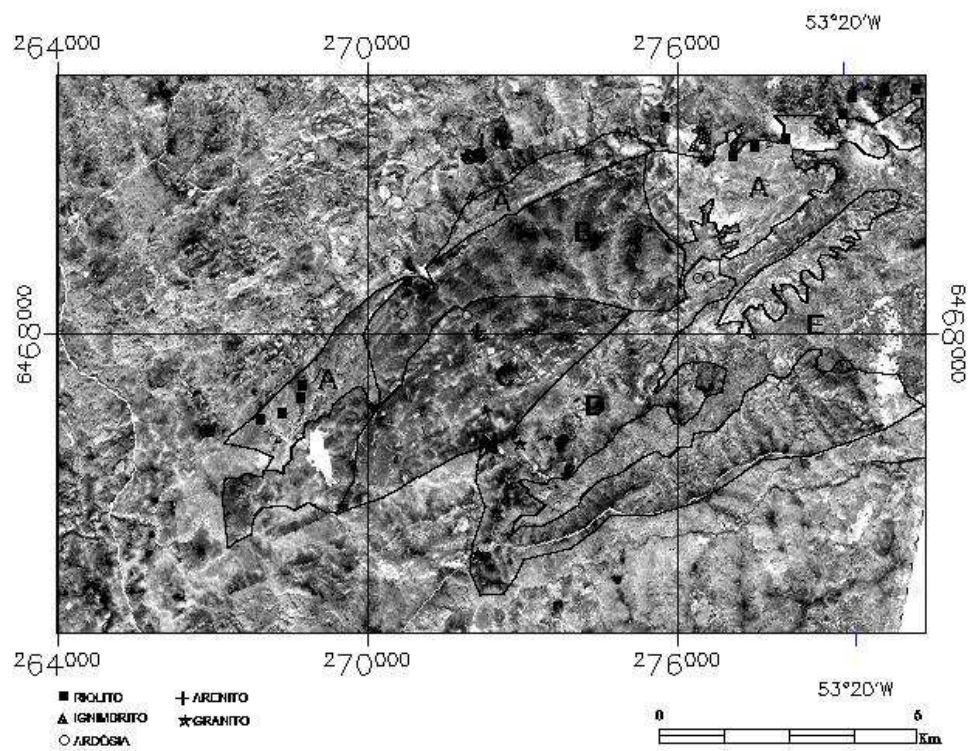


Figura 27: Imagem acromática CP3 da região do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósia; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.

A terceira imagem do triplete está associada à cor azul (B) e realça a vegetação. O autovalor associado a esta CP é de 0.067789 significando baixo nível de informação. Como o objetivo deste trabalho visa realçar feições espectrais vinculadas às rochas existentes na área esta imagem foi utilizada, pois concentra a informação não desejada da vegetação. Nesta imagem a vegetação mais densa é representada por *pixels* claros (alto valores de DN's) verificado na figura 28.

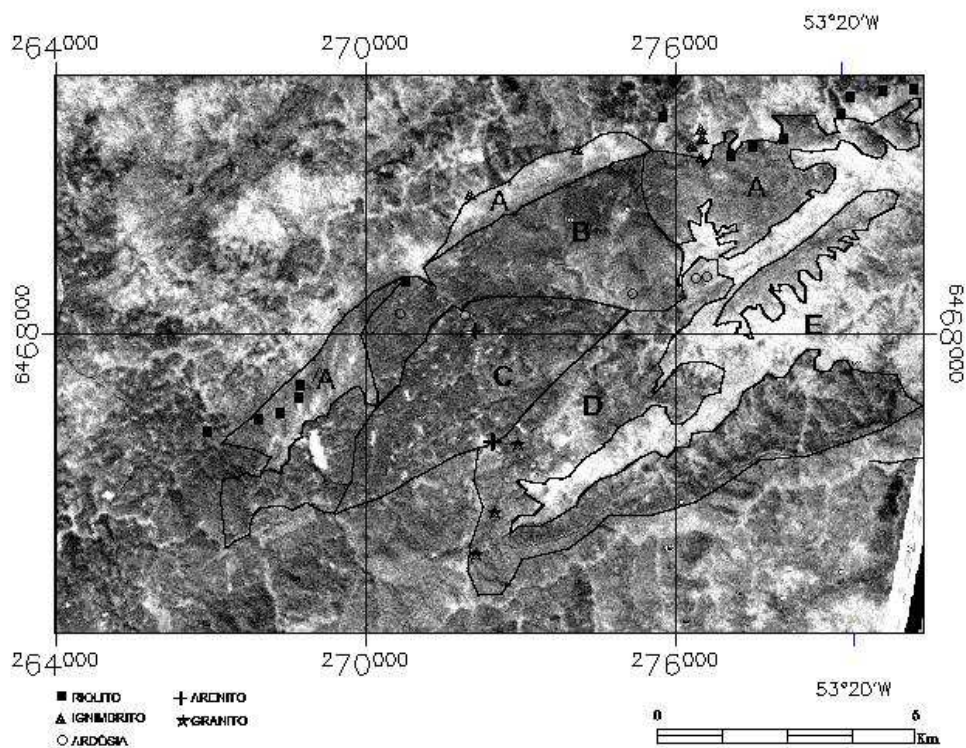


Figura 28: Imagem acromática CP5 da região do Cerro Chato. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósia; C: arenitos; D: granitoides e E: vegetação.

Na composição colorida RGB formada pelas imagens CP2, CP3, CP5 (Figura 29) é possível traçar um contato entre as diferentes unidades geológicas. A região em vermelho no centro da imagem realça as rochas sedimentares e metamórficas reconhecidas em campo. É possível traçar um contato entre as rochas metamórficas e sedimentares através da diferença textural observada na imagem, onde as rochas sedimentares estão dispostas na forma de uma cunha dentro do domínio metamórfico.

Os riolitos e ignimbritos na imagem são destacados pela coloração verde. Não foi possível separar estas rochas por terem resposta espectral semelhantes. O alto grau de soldagem dos ignimbritos reproduz aspectos texturais muito semelhantes aos do riolito, neste caso, sendo definidos somente pelas diferenças microscópicas.

A vegetação está representada pela cor azulada, mostrando a contribuição das imagens CP2 (vermelho) e 3 (azul). Esta vegetação circunda o Cerro, não interferindo assim na diferenciação das litologias estudadas.

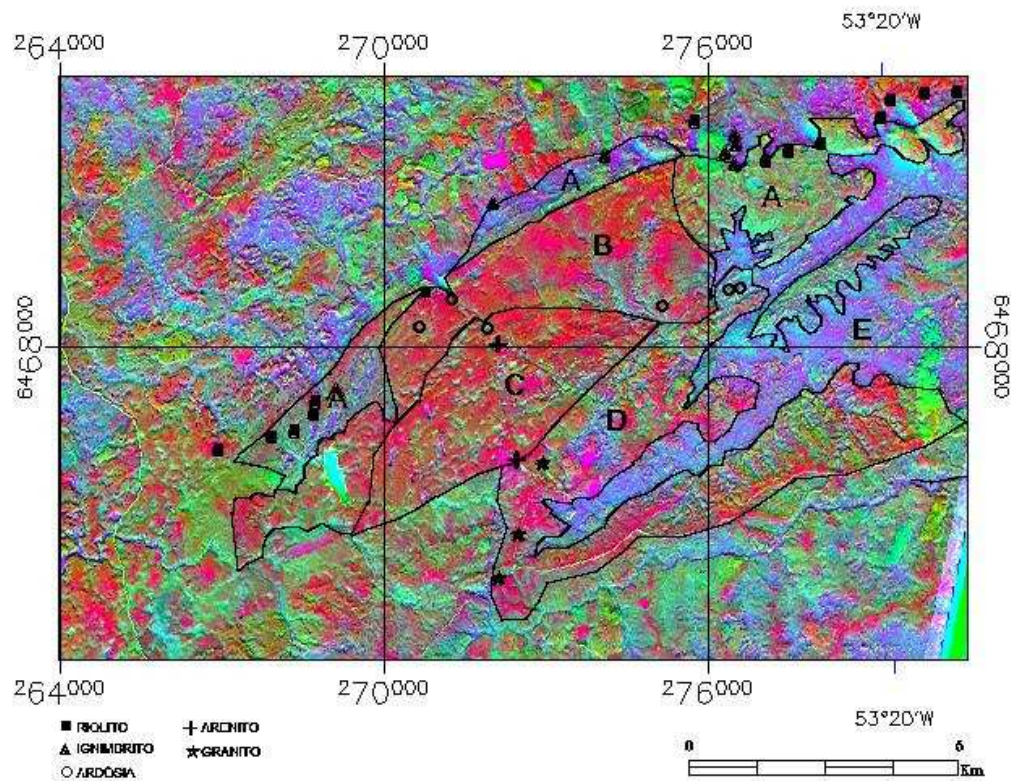


Figura 29: Imagem colorida CP's 2(R), 3(G) e 5(B), com separação das litologias estudadas na área. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósia; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida F.F.M, Amaral G., Cordani H.G., Kawashita K. 1973. The Precambrian evolution of South American cratonic margin, South of Amazon River. In: A.E.M. Nairs & F.G. Stehli (eds.) *The ocean basins and margins*. vol. I, p. 411-446.

Borges P., 2006. Contribuição do sensoriamento remoto no mapeamento das rochas vulcânicas do Cerro Chato, SE do Escudo-Sul-Rio-Grandense. Trabalho de conclusão. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 82p.

Carraro C.C. & Ribeiro, M. 1983. Evolução de estruturas dobradas em zonas de geossuturas no embasamento granítico-gnaissico da faixa Piratini-Herval, RS. *Pesquisas*, 15:175-191.

Carvalho P. F. 1932. *Reconhecimento geológico no estado do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico, Boletim 66, p 03-73.

Chavez Jr. P.S., Berlim L.B, Sowers L.B. 1982. Statistical method for selecting LANDSAT MSS8 ratios. *J. Applied Photogrametric Engineering*, 8:23-30.

Chemale Jr. F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz M.; De Ros L.F. (eds) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. CIGO-UFRGS, pp.:13-52.

Cordani U.G., Halpern M., Berenholc M. 1974. Idades radiométricas de rochas do Escudo Sul-Riograndense e sua significação tectônica. In: CBG, Cong.Bras.Geol., 28, Porto Alegre, **Anais**, 1:696-697.

Crosta A.P. 1992. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*.IG/UNICAMP, Campinas, 170p.

Fernandes L.A., Tommasi A., Porcher C.C. 1992. Deformation patters in the southern Brazilian brach of the Dom Feliciano Belt; a reappraisal. *J.South Amer. Earth Sci.*, 5(1): 77-96

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

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

Fernandes L.A.D., Menegat R., Costa A.F.U., Koester E., Porcher C.C., Tommasi A., Kraemer G., Ramgrab G.E., Camozzato E. 1995. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Rev. Bras. Geoc*, 25(4): 375-384.

Fragoso-Cesar A.R.S. 1980. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul Riograndense. *In: SBG, Cong. Bras. Geol, 31, Camboriu, Anais, 5:2879-2891.*

Fragoso-Cesar A.R.S., Lavina E.L., Paim P.S.G., Faccini U. 1984. A Antefossa Molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: SBG, Cong.Bras.Geol, 33, Rio de Janeiro, Anais, 7:32272-3283*

Fragoso-Cesar A.R.S., Figueiredo M.C.H., Soliani Jr E., Faccini U.1986. O Batólito Pelotas (proterozóico superior / eo paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.,34, Goiânia, Anais, 3:1322-1343.*

Fragoso-Cesar A.R.S. 1991.*Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul.* Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 362p.

Frantz J.C. & Nardi L.V.S. 1992. O magmatismo granítico da região oriental do Escudo Sul-Rio-Grandense: uma revisão. *Pesquisas, 19:183-189.*

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

Galvão L.S. & Vitorello I. 1994. Spectral reflectance-lithostratigraphy of terrigenous rocks of the Parnaíba Basin, Barzil: chemical composition relationships.*Rev. Bras. Geoc.,24:22-31.*

Guimarães Filho H.A. 1994. *Metodologias para Intercâmbio de dados entre programas CADD, SGBD, PDI e SIG em projeto de exploração mineral.* Dissertação de mestrado, UNICAMP, 118pp.

Hoff R. 2002. *Integração de dados geológicos, de sensoriamento remoto, espectroradiométricos e geofísicos aplicados à prospecção de depósitos filoneanos de fluorita hidrotermal no sudeste de Santa Catarina.* Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 167p.

Hunt G.R. 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics, 42(3):501-513.*

Hunt G.R. 1980. Eletromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. *Remote Sensing in geology. 2:5-45*

Jost H. & Villwock J.A. 1966. Contribuição a estratigrafia do pré cambriano do Rio Grande do Sul. *Notas e Estudos, 1:13-26.*

Klein M.A. 1998. *Integração de imagens TM e aerogeofísicas para análise lito-estrutural de uma porção da zona de cisalhamento transcorrente dorsal de Canguçu, região de Quitéria – Várzea do Capivarita, RS*. Dissertação de mestrado, CEPSRM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 120pp.

Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A. & Zanettin, B. 1986. A classification of volcanic rocks based on the total alkalis-silica diagram. *J. Petrol.*, **27**: 745-750.

Lima B.E.M, Almeida Filho R., Galvão L.S., Meneses P.R. 2005. Avaliação das imagens ASTER para discriminação de variações faciológicas no granito Serra Branca, Goiás. *In: Simp. Bras. Sens. Remoto, Goiás, Anais*, **12**:1815-1822

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

May G.E. 1990. *Pan-African magmatism and regional tectonics of South Brazil*. Open University, Milton Keynes, Ph.D. Thesis, 343p

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

Moreira M.A. 2001. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicações*. INPE, São José dos Campos, 250p.

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

Pearce J.A.; Harris N.B.W.; Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J.Petrol.*, **25**:956-983.

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

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

Philipp R.P., Almeida D.P.M., Gomes M.E.B., Pintaúde D.A. 1991. Geoquímica do granito bela vista, Piratini, RS: uma contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor oriental do escudo. *Acta Geológica Leopoldensia*, **14**(34): 95-122.

Philipp R.P., Mesquita M.J., Gomes M. E, B., Almeida D.P.M. 1993; Reconhecimento estrutural e geoquímico dos granitóides brasileiros da região de pelotas, RS. *Pesquisas*, **20**(1): 3-13.

- Philipp R.P., Nardi L.V.S., Bitencourt M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: M. Holz & L.F. De Ros (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. CIGO-UFRGS, Porto Alegre, pp.: 133-160.
- Philipp R.P. & Machado R. 2001. Suítes graníticas do batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogênicos. *Rev. Bras. Geoc.*, **31**(3): 257-266.
- Philipp R.P., Machado R., Nardi L.V.S., Lafon J.M. 2002. O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: Novos dados e revisão da geocronologia regional. *Rev. Bras. Geoc.*, **32**(2): 277-290.
- Philipp R.P. & Machado. 2005. The late neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. In: Journal of south american earth sciences. *Journal of south american earth sciences*, **19**:461-478.
- Picada R.S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do escudo sul-riograndense: caracterização dos sistemas de falhas. In: SBG, Congr.Bras.Geol.,25, São Paulo, *Anais*, **1**:167-191.
- Pinheiro-Sommer J.A. 2005. *Aplicação de sensoriamento remoto orbital no mapeamento de unidades vulcano-sedimentar no Platô da Ramada, Vila Nova do Sul, RS*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 106p
- 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*, **33**(1):23-36.
- Rambo B.1956. A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural. Selbach, Porto Alegre, 456p.
- Ribeiro M. 1977. Mapa Geológico da Quadrícula de Piratini, RS. *Fund. Zoob.Est. R.G. Sul*, Publ. Esp. 2, Esc. 1:50 000. Porto Alegre, RS.
- Ribeiro M. & Fantinel L.M. 1978. Associações prototectônicas do Escudo Sul-riograndense: I – Tabulação e distribuição das associações prototectônicas do Rio Grande do Sul. *Iheringia*, **5**:19-54.
- Saldanha D.L. 2003. *Características espectrais de unidades ultramáficas do sudoeste do Rio Grande do Sul: integração de dados orbitais, geobotânicos e geoquímicos*. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 279p.
- Saldanha D.L., Lima e Cunha M.C., Haertel V. 2004. Spectral analysis of soils from mafic/ultramafic rocks of Cerro Mantiqueira, south-west of Rio Grande do Sul, Brazil. *International journal of remote sensing*, **25** (20): 4381-4393
- Silva L.C., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 1999. U-Pb zircon dating of Neoproterozoic granite magmatism and collision in the Pelotas Batholith, southernmost Brazil. *Intern. Geol. Review*, **41**:531-551.

Soliani Jr. E. 1986. *Os dados geocronológicos do escudo sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 425p.

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. *Rev. Bras. Geoc.*, **29**(2):245-254.

Sommer C.A., Lima E.F., Nardi L.V.S., Liz J.D., Waichel B.L. 2005b. 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 saturated, sodic alkaline volcanism in post-collisional basin. *Na. Acad. Bras. de Ciênc.*, **78**(3): 573-589.

Stevens N.F., Garbeil H., Mougini-Mark, P.J. 2004. NASA EOS Terra ASTER: Volcanic topographic mapping and capability. *Remote Sensing of Environment*, **90**:405-414

Vieira E.F. 1984. *Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação*. Sagra, Porto Alegre. 184p.

Wagner A.P.L. & Ducati, J.R. 2005 o Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul com imagens do sensor ASTER. *In: Simp. Bras. Sens. Remoto, Goiás, Anais*, **12**:4361-4368.

Weaver B.L. & Tarney J. 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, **310**: 575-579.

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., Ramgrab E.R. 1999. Pedro Osório - SH.22-Y-C, Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:250.000. *PLGB*, Brasília, CPRM.

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

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

**6 – O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO NA INVESTIGAÇÃO DO
VULCANISMO ÁCIDO DO CERRO CHATO, SE DO ESCUDO SUL-RIO-
GRANDENSE**

(submetido à Revista Brasileira de Geociências)

**O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO NA INVESTIGAÇÃO DO
VULCANISMO ÁCIDO DO CERRO CHATO, SE DO ESCUDO SUL-RIO-
GRANDENSE**

**Paloma Gabriela Rocha¹
Evandro Fernandes de Lima¹
Carlos Augusto Sommer¹
Dejanira Luderitz Saldanha¹**

¹Programa de Pós-graduação em Geociências – IGEO - UFRGS

² Instituto Geociências – UFRGS

Av. Bento Gonçalves 9500 -91509900 - Porto Alegre - RS, Brasil

paloma_gr@yahoo.com.br

evandro.lima@ufrgs.br

casommer@sinos.net

dejanira.saldanha@ufrgs.br

RESUMO – As técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado fundamentais como ferramenta auxiliar no mapeamento geológico básico. O avanço tecnológico gerado pelos novos sensores permite o desenvolvimento de técnicas mais apuradas na integração de dados litológicos e estruturais de várias fontes. Este trabalho buscou avaliar a potencialidade das imagens do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) para identificação dos diferentes litotipos da área do Cerro Chato, em especial as unidades vulcânicas e hipabissais relacionadas. O Cerro Chato é caracterizado como uma feição geomorfológica situada à cerca de 15 km ao norte do município de Herval, na microrregião denominada Serra do Sudeste na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul. É constituído principalmente por uma seqüência de rochas efusivas e piroclásticas de composição riolítica relacionada a sistemas do tipo alta-sílica, vinculadas ao magmatismo granítico tardio do Batólito Pelotas. O objetivo deste trabalho foi testar e avaliar diversas técnicas de geoprocessamento buscando a diferenciação litológica, a identificação de alvos e a definição de morfoestruturas da área do Cerro Chato. O processamento utilizando a técnica de Transformação por Componentes Principais forneceu os melhores resultados realçando diferenças entre as rochas vulcânicas e hipabissais e as rochas encaixantes. Foram selecionadas as CP2 das imagens CP's 2, 3 e 5 na geração de uma composição colorida que permitiu delimitar três principais domínios de ocorrências das rochas de origem vulcânica no Cerro Chato.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, ASTER, rochas vulcânicas, componentes principais.

ABSTRACT – *THE USE OF REMOTE SENSING IN THE INVESTIGATION OF THE CERRO CHATO SILICIC VOLCANISM, SOUTHEASTERN OF THE SUL-RIO-GRANDESE SHIELD* - The remote sensing techniques have been a very important and auxiliary tool to basic geological mapping. The new orbital sensors carried out a technologic increment that possibility the development of refined methods applied in the integration with diverse geologic data as petrology and structural. In this work were utilized images obtained from the ASTER sensor (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and*

Reflection Radiometer) to identify the lithologies in the Cerro Chato area, giving emphasis to the volcanic and hypabissal units. The Cerro Chato can be characterized as geomorphologic feature situated about 15 km to north of Herval town, in the Southeast Sierra micro region of the Rio Grande do Sul state, southernmost Brazil. It is constituted mainly by an effusive and pyroclastic rocks sequence of rhyolitic composition related to high silica systems, which magma has been associated to the younger granitic magmastim of the Pelotas Batholith. The main objective of this work was to test and evaluate diverse techniques of geoprocessment to try identifying different lithologic units and morphologic structures in the Cerro Chato area. The selective principal component analysis technique was used in the digital image processing, because it provided the best results enhancing the existent spectral differences between volcanic and country rocks. In this processing were selected the PC's2 images of the PC's 2, 3, and 5 to generated a color composite image that permitted the individualization of three main dominions of volcanic rocks in the Cerro Chato.

Keywords- remote sensing, ASTER, volcanic rocks, principal components.

6.1 - Introdução

O vulcanismo ácido de idade neoproterozóica do Escudo Sul-Rio-Grandense tem sido intensamente estudado ao longo dos últimos anos, originando muitos trabalhos, principalmente, sobre os vulcanitos associados às seqüências vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã (Fig.1), geradas nos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano (e.g. Sommer *et al.*, 1999; Wildner *et al.*, 1999; Sommer *et al.*, 2005, 2006). As associações vulcano-sedimentares mais bem representadas situam-se fora das principais zonas de cisalhamento ou sobre o embasamento em áreas não afetadas. Este vulcanismo, estratigraficamente agrupado na Formação Acampamento Velho, é representado por depósitos piroclásticos e extrusivos com corpos sub-vulcânicos associados, de composição predominantemente ácida, com idade entre 573 e 549 Ma. O vulcanismo está relacionado à plutonismo com afinidade normalmente alcalina sódica e saturada em sílica, com variações de termos metaluminosos e peralcalino.

Rochas vulcânicas ácidas neoproterozóicas também têm sido descritas na porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, freqüentemente associadas às rochas plutônicas do Batólito Pelotas (e.g. Picada, 1971; Ribeiro, 1977; Philipp *et al.* 1991; Fragoso-Cesar *et al.*, 1986).

O termo Batólito Pelotas foi definido por Fragoso César *et al.* (1986) para definir um complexo plutônico multi-intrusivo e polifásico relacionado à evolução do Ciclo Brasileiro. Inúmeros trabalhos de caracterização foram desenvolvidos, com o intuito de caracterizar as diferentes unidades magmáticas, do ponto de vista tectônico, estrutural, geocronológico e petrológico, com ênfase nos diversos corpos graníticos da área (e.g. Frantz & Remus, 1986; Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp, 1990, 1998; Philipp *et al.*, 1991, 1993; Fernandes *et al.*, 1992; Frantz & Nardi, 1992).

O Batólito Pelotas (Fig.1) é composto predominantemente por suítes granitóides associadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau (Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2005). Esta complexa estrutura granítica é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno de NE-SW (Fragoso César, 1991). Idades obtidas pelos métodos U-Pb (SHRIMP) e Pb-Pb (evaporação) apontam um intervalo entre 630 e 550 Ma para o magmatismo granítico.

Associados às rochas plutônicas do Batólito Pelotas, ocorrem rochas vulcânicas e sub-vulcânicas de composição ácida e básica têm sido correlacionadas principalmente com as suítes graníticas mais diferenciadas do Batólito (e.g. Suíte Dom Feliciano) (Fragoso-Cesar *et al.*, 1986; Philipp, 1998; Philipp & Machado, 2001). Dados preliminares descrevem a ocorrência destes vulcanitos, vinculando-os a pequenos platôs, caracterizados por depósitos piroclásticos e efusivos (Riolito Ana Dias) e também a enxames de diques (Riolito Asperezas; Enxame de diques de Piratini).

Poucos estudos geológicos e petrológicos têm sido desenvolvidos na investigação das rochas vulcânicas ácidas do Batólito Pelotas, destacando-se os trabalhos de caracterização petrográfica e geoquímica realizados em diques riolíticos na região de Piratini (Zanon, 2005; Zanon *et al.*, 2006). No entanto, nota-se ainda, a inexistência de trabalhos de detalhamento faciológico nas ocorrências maiores (Cerro Chato e Riolito Asperezas e Ana Dias) em detrimento ao elevado volume de informações disponíveis para as rochas graníticas do Batólito de Pelotas.

O Cerro Chato é caracterizado como uma feição geomorfológica situada à cerca de 15 km ao norte do município de Herval, na microrregião denominada Serra do Sudeste na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul (Fig.1). É constituído principalmente por uma seqüência de rochas efusivas e piroclásticas de composição riolítica tipicamente relacionada a sistema do tipo alta-sílica. Subordinadamente ocorrem rochas sedimentares e metamórficas. Dados preliminares sugerem que estes riolitos possam estar associados aos enxames de diques Serra das Asperezas, Piratini (Zanon, 2006) cujos dados geocronológicos Rb/Sr apontam idades de 560 ± 12 (Soliani Jr., 1986), estando assim vinculados à fase final do magmatismo granítico do Batólito Pelotas, associados com a Suíte Granítica Dom Feliciano.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e de processamento de imagens do sensor ASTER tem se mostrado eficiente no mapeamento geológico, principalmente quando integrado a outras técnicas como geoquímica, petrologia e levantamento de campo. Diversas pesquisas foram feitas com base na análise de minerais envolvendo grupos de rochas, visando o conhecimento das suas feições diagnósticas destacando os trabalhos realizados por Hunt (1977,1980), Galvão & Vitorello (1994), Guimarães Filho (1994), Klein (1998), Saldanha (2003) e Saldanha *et al.* (2004).

Os estudos utilizando os dados do sensor ASTER são recentes. Stevens *et al.* (2004) associam a composição colorida 123 (RGB) ao modelo de elevação do terreno com o objetivo de monitorar as atividades vulcânicas do vulcão Taranaki, Nova Zelândia. Wagner (2005) aplicou as imagens ASTER para estudos territoriais no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Pinheiro-Sommer (2005) utilizou imagens ASTER para identificar unidades vulcânicas e sedimentares da área do Platô da Ramada. Lima *et al.* (2005) utilizou técnicas de processamento de imagens ASTER para a discriminação espectral de variações faciológicas no Granito Serra Branca, no estado de Goiás.

Técnicas de sensoriamento remoto foram poucas vezes empregadas na região de estudo deste trabalho, destacando o trabalho realizado por Carraro & Ribeiro (1983) que utilizando imagens LANDSAT e mosaico fotográfico de imagens de RADAR descreveram a evolução das estruturas dobradas no embasamento granítico-gnaissico entre os municípios de Piratini e Erval.

Este trabalho pretende utilizar imagens do sensor ASTER para identificação e estudo da distribuição das diferentes unidades geológicas na região do Cerro Chato, com ênfase nas rochas vulcânicas e hipabissais, a partir da análise do contraste espectral devido a diferente integração com a radiação eletromagnética ao longo do espectro reflectivo destas rochas e suas encaixantes.

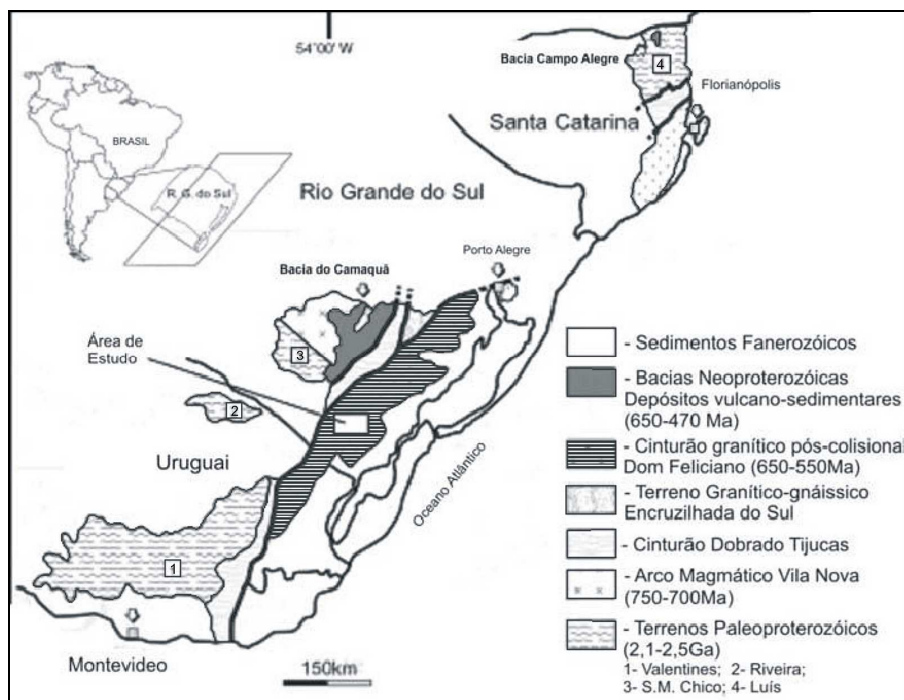


Figura 30 - Localização da área de estudo no contexto geológico regional. Modificado (Sommer *et al.* 2005) Philipp, R.P. & Machado, R. (2005).

6.1.1 - Aspectos fisiográficos da área de estudo

O Cerro Chato constitui em uma das feições geomorfológicas mais marcantes do sudeste do Rio Grande do Sul, com altitude máxima de 400m. As diferenças de nível variam de 180 a 220 metros nas bordas das serras. A Figura 2 mostra paisagens comuns na região, onde a exposição de rochas em blocos e lajeados nas encostas dos morros é bastante comum.

O relevo da região é intensamente dissecado onde há ocorrência de áreas fracamente dissecadas em posição de topo. Nas encostas de declive acentuado, encontram-se matacões, principalmente onde ocorrem granitos e exposições de diques alinhados.

A rede hidrográfica, predominantemente dentrítica, tem direção geral leste, segundo a inclinação da estrutura dômica do escudo. Os principais rios da região formam pelo menos três grandes interlúvios: o do rio Camaquã com a borda norte em contato com a depressão central; o do rio Camaquã com o rio Piratini e desse com o rio Jaguarão (Vieira, 1984).

O rio Piratini nasce na região central do escudo, em Piratini, e seu mais importante formador, o arroio Basílio, é originário das proximidades de Pinheiro Machado.

Ambos formam uma extensão de malha hidrográfica muito concentrada e constituída de inúmeros arroios.

A cobertura vegetal segundo Rambo (1956) é muito variada. Nas coxilhas dos morros arredondados e nos picos mais elevados da serra, desenvolvem-se os campos limpos, entremeados com muitos blocos de granitos descobertos ou semi-enterrados. Predominam vegetação rasteira de gramíneas, verbenáceas e compostas, sendo a vegetação arbórea mais densa normalmente associada às drenagens caracterizando uma mata galeria em encostas de maior declividade. Nas áreas de menor declividade, com mantos de alteração mais espessos e ação pedogenética desenvolvida, aparecem manchas de vegetação arbustiva e touceiras de capinzal denominadas campos sujos (Vieira, 1984).

Compreende solos pouco desenvolvidos, rasos que possuem o horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre um pequeno horizonte C, geralmente com muito material de rocha em decomposição. A principal utilização destes solos é com pastagem natural, em nível de grandes propriedades rurais. Suas principais limitações dizem respeito à profundidade dos perfis e à presença de pedras e/ou afloramento de rocha em alguns locais.

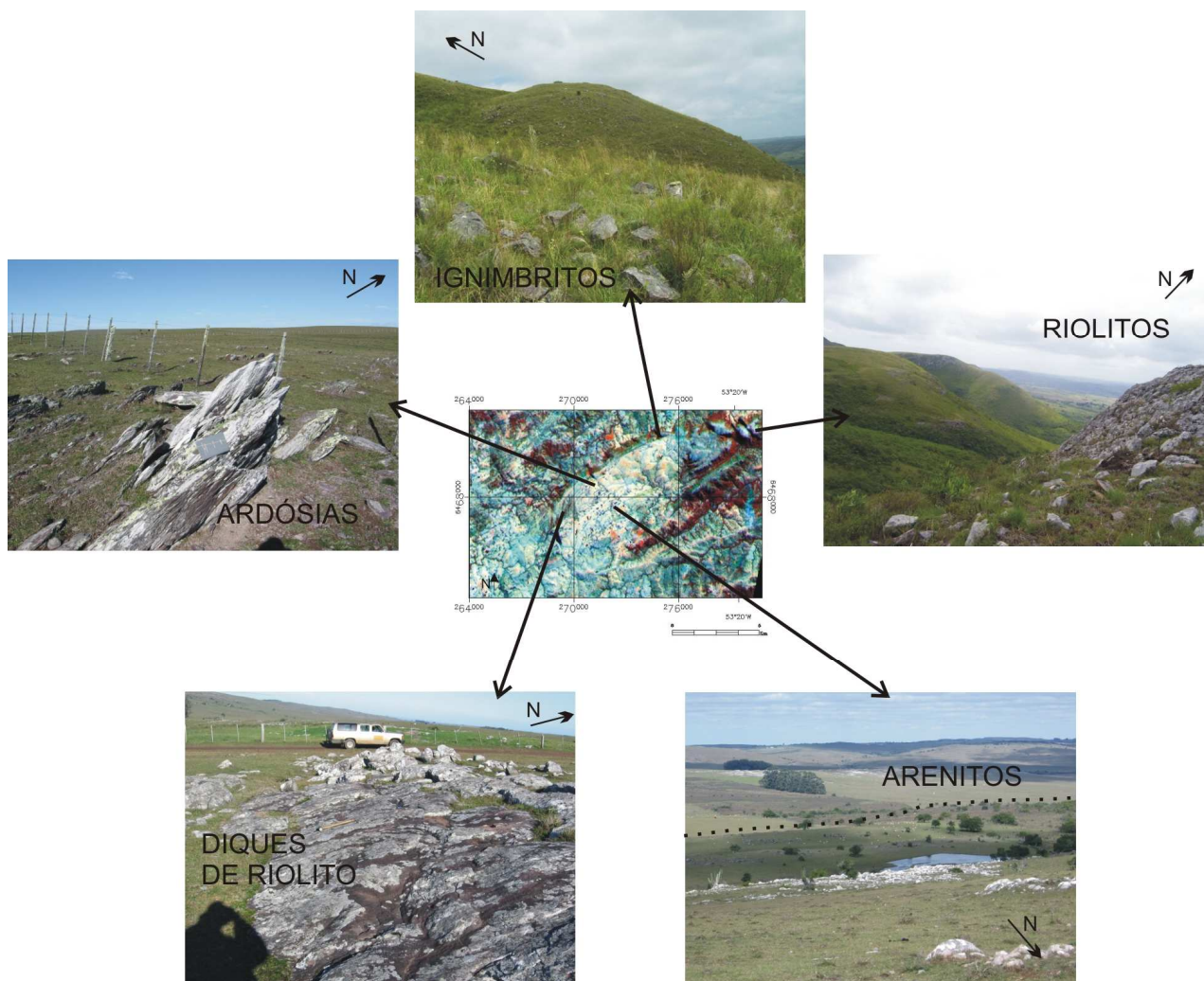


Figura 31 – Fotografias localizando a geomorfologia a afloramentos do Cerro Chato a partir de uma imagem ASTER composição RGB 342.

6.2 - Geologia regional e do Cerro Chato

O Cerro Chato situa-se na unidade geotectônica denominada Batólito Pelotas. A região é composta predominantemente por suítes granitóides associadas a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau (Philipp, 1998). Esta complexa estrutura granítica é marginada por espessas faixas miloníticas transcorrentes sinistrais de direção em torno de NE-SW (Fragoso César, 1991).

A estratificação interna do Batólito Pelotas (Fig.3) é dada por seis suítes graníticas (Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, Suíte Intrusiva Erval, Suíte Intrusiva Viamão, Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, Suíte Granítica Cordilheira e Suíte Granítica Dom Feliciano) e uma suíte sienítica (Suíte Piquiri).

A **Suíte Intrusiva Pinheiro Machado** é composta por granitóides que ocupam a porção central do Batólito Pelotas. Os granitóides são de composição predominantemente granodiorítica com termos dioríticos, tonalíticos e monzograníticos associados representam as litologias mais máficas da região leste do escudo (Philipp, 1998).

A **Suíte Intrusiva Erval** que aflora na porção sul do batólito é composta por rochas graníticas mais potássicas, com composição em geral monzogranítica. Há uma abundância de xenólitos de rochas metamórficas de baixo grau, como mármore, rochas calci-silicáticas, quartzitos e mica xistos (Philipp, 1998).

As litologias da **Suíte Intrusiva Viamão** mostram uma variação composicional restrita sendo representada predominantemente por termos monzograníticos, com raros granodioritos e sienogranitos subordinados e estão dispostas em toda a extensão do Batólito Pelotas (Philipp, 1998).

A **Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul** está exposta na porção noroeste do batólito. Petrograficamente as rochas desta suíte variam desde granodiorito até álcali-feldspato granito e texturalmente pode ser dividida em duas fácies principais, porfírica e equigranular grossa (Fragoso César *et al.*, 1984).

Os granitóides da **Suíte Granítica Cordilheira** ocorrem no extremo oeste do Batólito Pelotas e apresentam composição monzo a sienograníticas (Philipp, 1998).

A **Suíte Granítica Dom Feliciano** engloba diversos corpos graníticos (Arroio dos Ladrões, Capão do Leão, Arroio do Bote, Fortaleza, Serra das Asprezas, etc.), embora ocorra em toda a extensão do batólito se concentra mais na porção norte desta unidade geotectônica. Petrograficamente são sienogranitos e álcali-feldspato granitos, subordinadamente monzogranitos. Intrudidos nesta suíte ocorrem grandes diques ácidos denominados por Figueiredo Filho & Salgado (1964) Riólitos Asprezas.

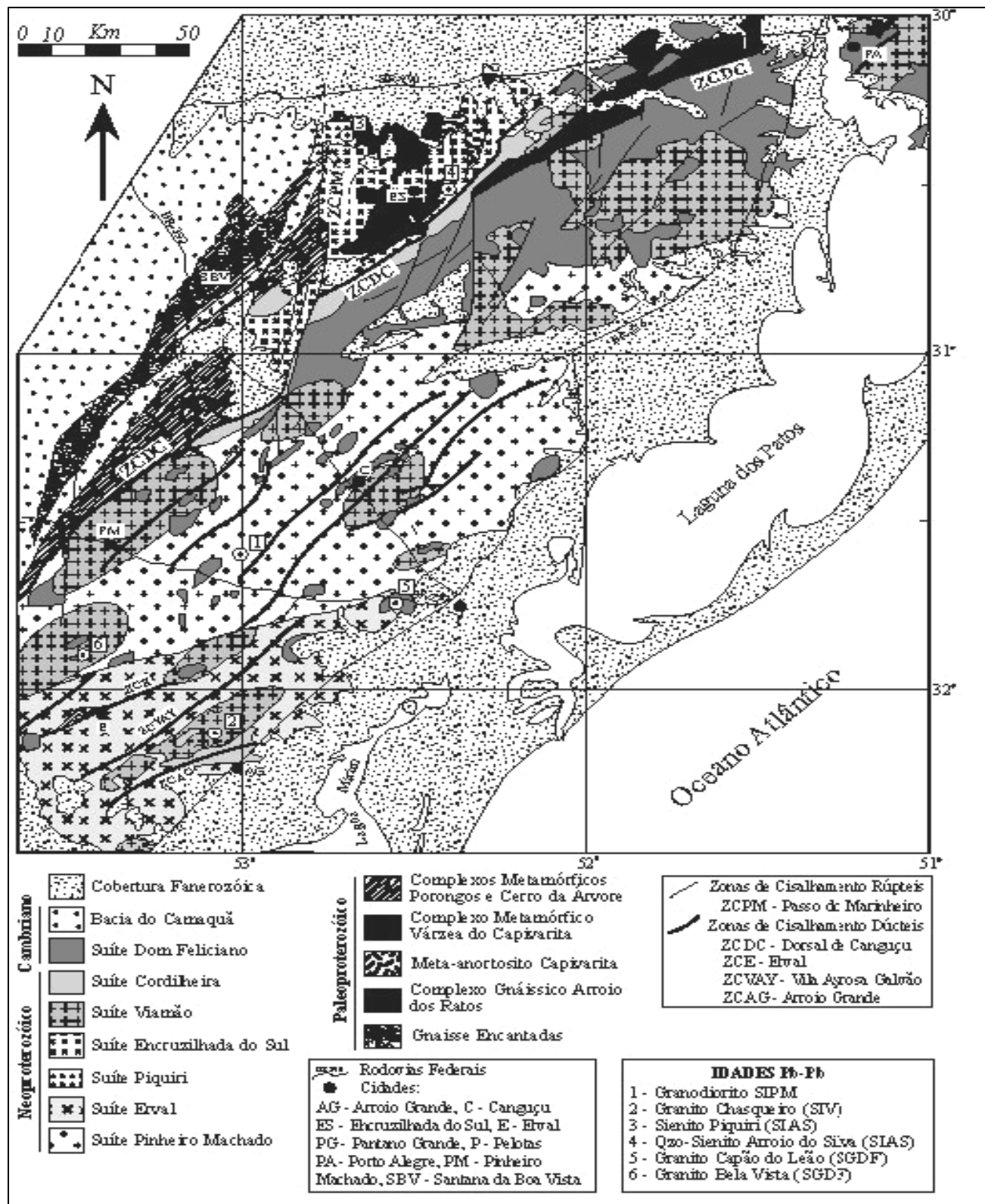


Figura 32 - Mapa geológico do Batólito Pelotas mostrando a distribuição das suítes graníticas, das principais zonas de cisalhamento transcorrente e a localização aproximada das amostras selecionadas para os estudos geocronológicos (Philipp *et al.* 2002).

Na região de Herval afloram as seguintes unidades (Fig.4): **Formação Rio Bonito** que é formada por arenitos quartzosos, finos a médios, cinza-claros a esbranquiçados, silicificados, com gradação normal e estratificação cruzada de médio a grande porte, sobrepostos ao pacote carbonoso; **Riolito Asperezas** representada por enxame de diques leucocráticos de cor avermelhada, composição riolítica a riodacítica, textura porfirítica, com fenocristais de feldspato e quartzo em matriz afanítica a fanerítica muito fina. Riolitos pórfiros subvulcânicos na região de Cerro Chato; **Bacia Cerro Chato** constituída por ortoconglomerados compostos por grânulos e seixos de riolitos, quartzo, feldspatos, granitóides e intraclastos de pelitos, associados a arcóseos grossos a muito grossos, cinza-esverdeados a cinza-claro e a pelitos bordô a castanho; **Suíte Granítica Dom Feliciano**, stocks alongados NE-SW de sienogranitos róseo-avermelhados, equigranulares médios a grossos, localmente porfiríticos, compostos predominantemente por feldspato alcalino (ortoclásio e microclínio micropertítico), quartzo, plagioclásio e biotita subordinada; **Suíte Intrusiva Erval** definida por granitos com pouca variação composicional e exibem predomínio de monzonitos com sienitos subordinados. São rochas de cor cinza-clara, constituídas essencialmente por plagioclásio tabular, feldspato potássico subédrico, esbranquiçado a rosado, com quartzo amebóide e biotita lamelar intersticial (Zanon, 2005); e **Suíte Intrusiva Pinheiro Machado**, compreendendo domínio de metagranitóides porfiríticos, mesocráticos cinza, com foliação marcada pelo estiramento dos porfiroclastos e alinhamento dos constituintes da matriz, apresentando uma deformação semiplástica de fácies anfíbolito.

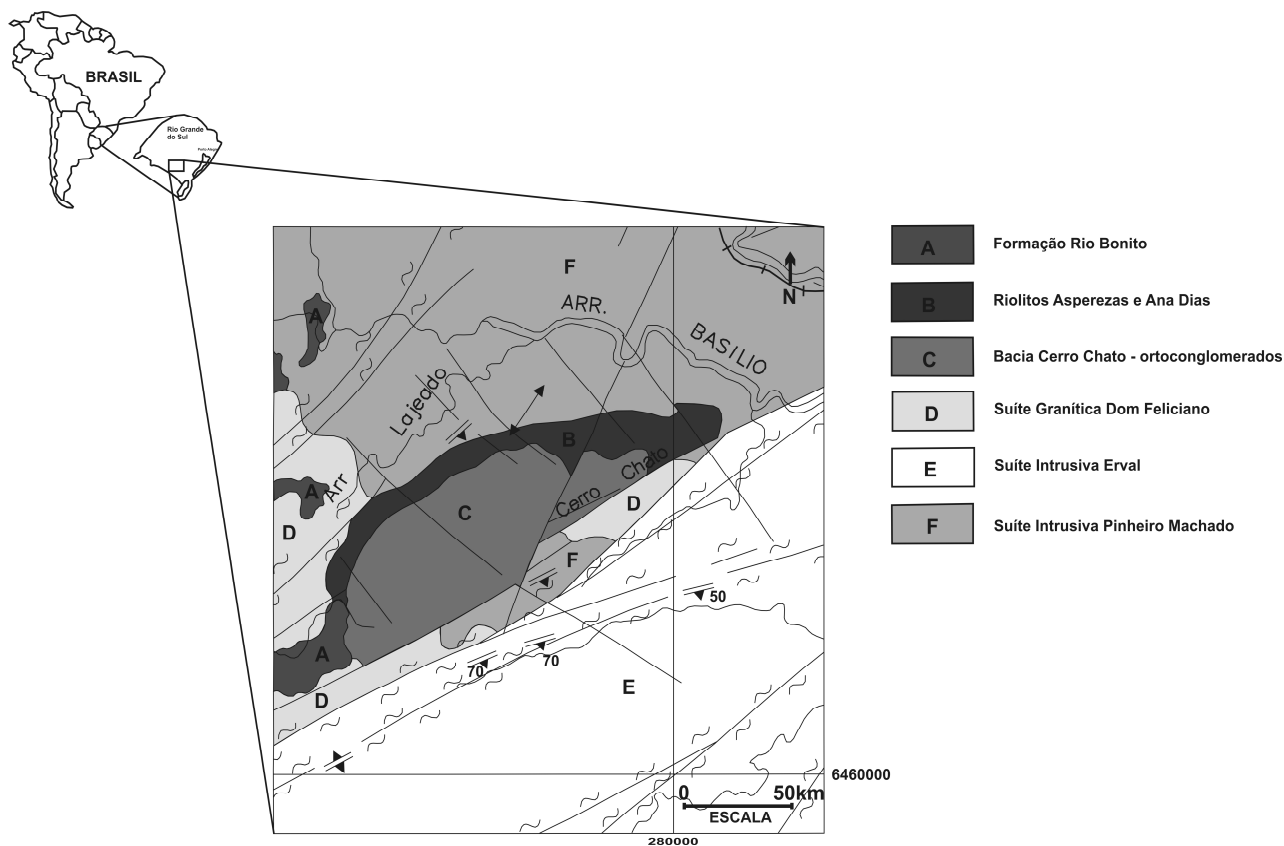


Figura 33 - Mapa geológico 1:250.000, Folha Pedro Osório - (SH. 22- Y-C) CPRM 1999 (modificado por Borges, 2006).

6.2.1 - As rochas vulcânicas do Cerro Chato

Três domínios principais de rochas vulcânicas ácidas podem ser individualizados no Cerro Chato, normalmente associados à falhas e lineamentos presentes na área: domínio central, constituído basicamente por ignimbritos riolíticos com alto grau de soldagem, domínio sudoeste e domínio nordeste, caracterizados por fácies efusivas e hipabissais, principalmente riolitos e subordinadamente riodacitos.

O domínio central é constituído por ignimbritos com alto grau de soldagem, ricos em cristais (quartzo e feldspato potássico) de coloração avermelhada. Estes depósitos são caracterizados pela abundância de cristaloclastos e fenocristais de K-feldspatos e quartzo, envoltos por uma matriz afanítica. Raros litoclastos (1-2 cm) de rochas riolíticas são observados. Fragmentos de púmices achatados constituem os *fiamme* e a orientação destas feições caracteriza uma textura eutaxítica. A matriz é constituída por *shards* e esferulitos são comuns indicando processos de devitrificação de alta temperatura. Os

riolitos do domínio sudoeste são caracterizados como rochas hemicristalinas e porfíricas, evidenciadas pela presença de fenocristais de quartzo, K-feldspato e subordinadamente plagioclásios, envoltos por uma matriz originalmente vítrea. A percentagem de fenocristais é variável (5-20%) e as fases minerais mostram-se subédricas, com formas arredondadas, indicando um provável desequilíbrio com o líquido, durante a cristalização. A matriz apresenta intercrescimentos quartzo-feldspáticos, evidenciando, algumas vezes, uma textura granofírica. Outra feição textural comum, tanto na matriz, quanto ao longo dos fenocristais são os esferulitos, normalmente fibrorradiados. Tanto esta feição, quanto à textura granofírica pode estar indicando diferentes estágios de devitrificação de alta temperatura. Como minerais de alteração ocorrem carbonatos e epidoto. Raros xenólitos de riolitos são também observados. Subordinadamente ocorrem riodacitos com textura hipocristalina, glomeroporfírica média em matriz fanerítica fina, com cristais hipautomórficos de plagioclásio e cristais alotriomórficos de quartzo e K-feldspato. Na microscopia foi observado quartzo com extinção e formas embainhadas e plagioclásio com alteração para carbonato a partir das fraturas. Foram encontrados também os minerais hematita e zircão alotriomórfico e a textura mirmequítica.

No domínio nordeste os riolitos são hemicristalinos, com textura porfírica, com fenocristais de quartzo e feldspatos, envoltos por matriz afanítica. Ao microscópio foram identificados K-feldspato, plagioclásio e biotita. Estruturas reliquias de minerais máficos forma observadas, integralmente substituídas por clorita. Pequenas vesículas preenchidas por quartzo são raramente observadas e a feição esferulítica é comum

Dados químicos preliminares obtidos para as rochas riolíticas efusivas e piroclásticas do Cerro Chato indicam teores elevados de SiO_2 (68,85% até 77,14%), sendo esta característica semelhante aos riolitos de alta sílica definidos por Mahood & Hildreth (1983) e Metz & Mahood (1991). As principais características geoquímicas são elevados teores de SiO_2 , FeOt, Na_2O , K_2O , Rb, Zr, Nb, Y, ETR, altos valores para as razões FeOt/FeOt+MgO e índice agpático ($> 0,75$ e < 1) e baixos valores para Al_2O_3 , MgO, CaO, Sr e Ba. Estes dados permitem caracterizar este magmatismo como de afinidade alcalina e caráter metaluminoso a peraluminoso.

6.3 - Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como a ciência e a técnica de obtenção de dados ou coleta de informações à distância, através do uso de sensores, os quais podem ser aéreos ou espaciais. Estes sensores utilizam a radiação eletromagnética (REM), radiação proveniente do Sol, como vetor de informação sobre a superfície terrestre. A interpretação dos produtos de sensoriamento remoto é feita pela análise do fluxo da REM, refletido ou emitido pelos objetos presentes na superfície da Terra, registrados sob forma de imagem. Devidos às diferenças na composição química e nas propriedades físicas, os diferentes materiais presentes na superfície terrestre apresentarão comportamentos distintos ao longo do espectro eletromagnético para diferentes atributos (emissividade, reflectância, irradiância, transmissividade, etc.). É nessa diferença comportamental que o sensoriamento remoto tem seus fundamentos (Crosta, 1992).

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer*) é um imageador multiespectral a bordo do satélite Terra lançado, em dezembro 1999. Este sensor gera imagens de média resolução espacial e espectral, apresentando três subsistemas de diferentes telescópios: VNIR, SWIR e TIR, os quais fornecem um total de 14 bandas espectrais desde a região do visível ao infravermelho termal do espectro eletromagnético. O subsistema VNIR tem ainda um telescópio adicional na banda do infravermelho próximo que fornece visão estereoscópica, já que este apresenta diferente ângulo de visada (*backward*) em relação a uma imagem em Nadir. A resolução espacial varia com o comprimento de onda e corresponde aos diferentes subsistemas. Cada cena ASTER tem dimensão de 60 por 60 quilômetros.

O sensor ASTER consiste de três subsistemas separados. Cada subsistema opera em uma região espectral diferente tendo seus telescópios próprios. O subsistema VNIR (Visível e Infravermelho Próximo) apresenta três bandas com resolução espacial de 15 metros, e um telescópio adicional com capacidade estereoscópica; o SWIR (Infravermelho Médio) conta com 6 bandas em resolução espacial de 30 metros; e o TIR (Infravermelho Termal) tem 5 bandas com resolução espacial de 90 metros. As características dos subsistemas são mostradas na Tabela 2.

6.4 - Materiais e métodos

O processamento da imagem ASTER, de 09 de março de 2003, da região do Cerro Chato, foi realizado no programa ENVI 4.2. Para um melhor aproveitamento das informações contidas nas imagens de satélite e visando à separação dos alvos geológicos através dos seus diferentes comportamentos espectrais, os *pixels* das três bandas VNIR/ASTER foram redimensionados de 15m para 30m, permitindo a análise conjunta das nove bandas do espectro reflectivo. A imagem foi então redimensionada para 360 linhas por 561 colunas focando somente a área de estudo.

A primeira análise visando o reconhecimento da área em estudo foi realizada na imagem composição colorida RGB das bandas 342, que correspondem aos comprimentos de onda das regiões NIR, SWIR e VIS respectivamente (Fig.5). Nesta imagem pode-se reconhecer a feição de formato oval de direção preferencial NE com predominância dos tons ciano – claro, denominada Cerro Chato. A radiometria define assim, um substrato rochoso de elevada reflectância nas três bandas envolvidas que juntamente com a textura e rugosidade dos diferentes compartimentos geomorfológicos torna-se, nesta imagem, um importante critério de foto análise permitindo a segmentação das diferentes unidades geológicas.

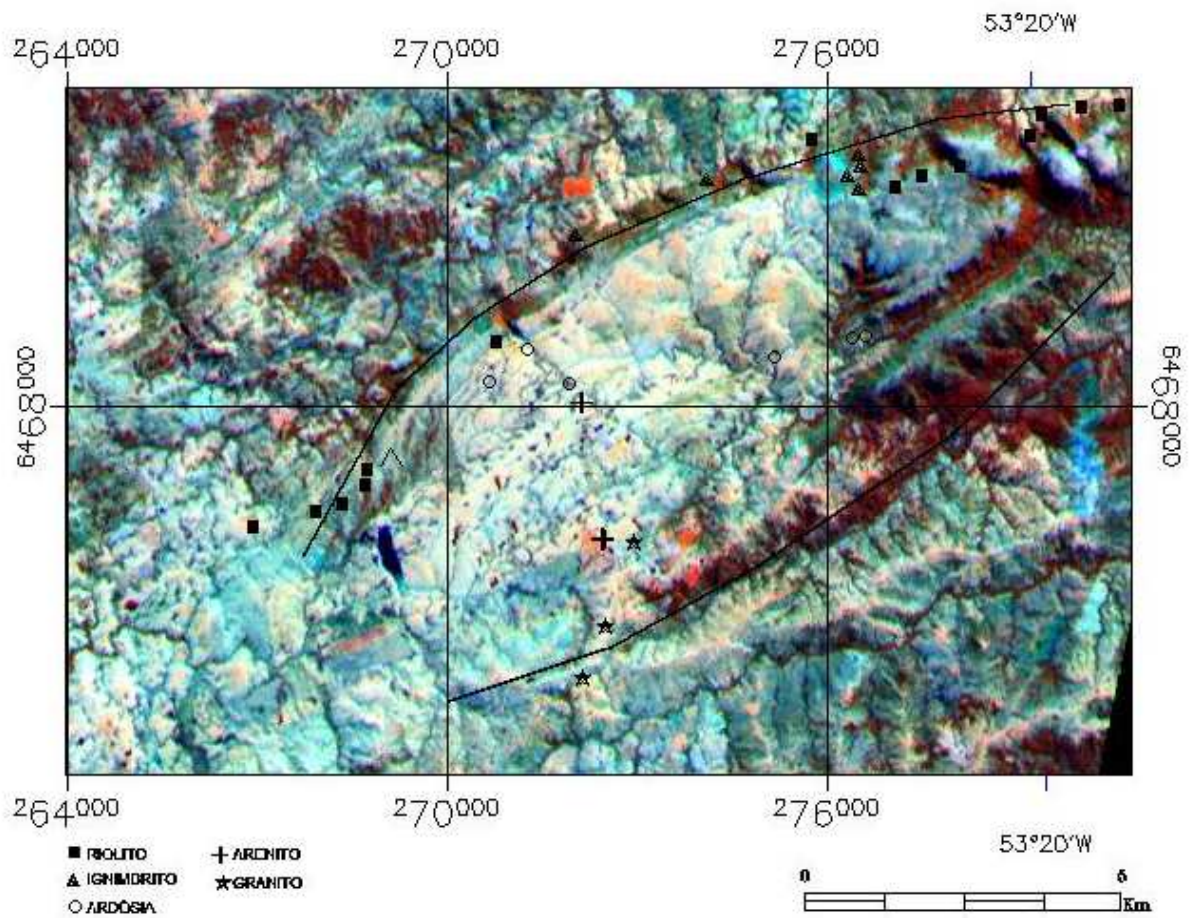


Figura 34 - Composição colorida RGB das bandas 342 com demarcação do Cerro Chato.

Muitas vezes, a presença da vegetação também se constitui em um guia de interpretação, porém nesta imagem a vegetação nativa presente na área apresenta baixo vigor apresentando baixa reflectância na banda 3 (NIR) conforme Figura 6. A data de aquisição da imagem, final de verão, com baixo nível de precipitação justifica os baixos valores de níveis de cinza da vegetação e permite que o substrato rochoso seja realçado por níveis de cinza mais alto, gerando regiões mais claras.

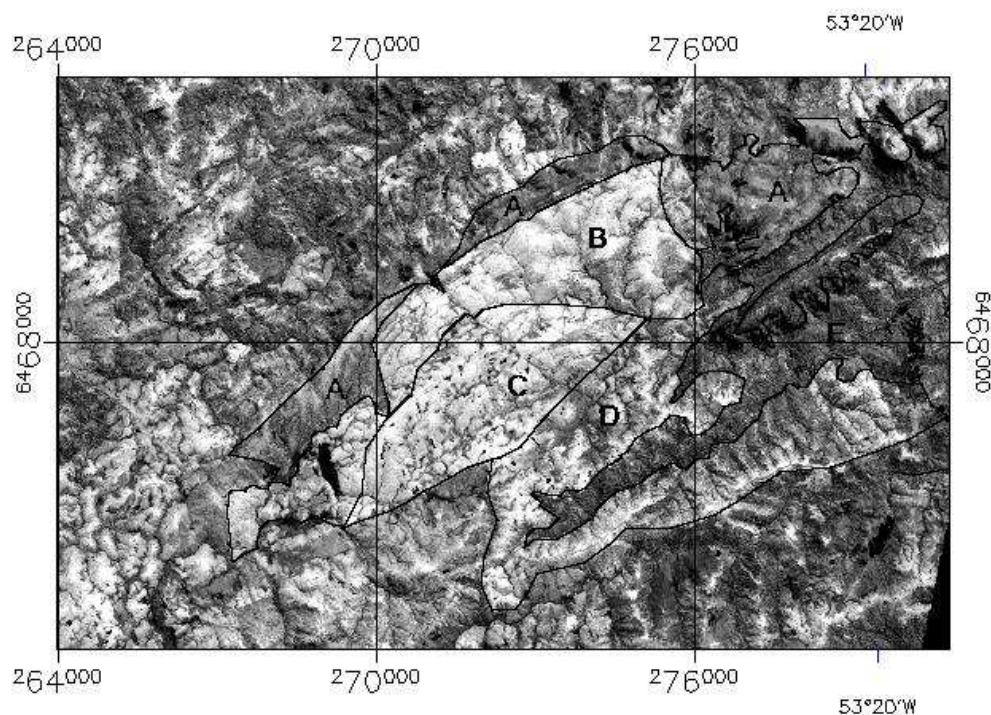


Figura 35 - Banda 3 (NIR)

A diferenciação das unidades geológicas foi realizada de forma mais precisa por meio da composição colorida RGB envolvendo bandas geradas pelo procedimento das componentes principais, pois a redundância de informação espectral é eliminada nas imagens CP.

A técnica das Componentes Principais (CP) foi utilizada tendo por objetivo o realce das feições espectrais características dos diferentes alvos que compõem a cena. Essa técnica foi utilizada pelo fato de reduzir a redundância espectral, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas, isto é, as informações são não correlacionáveis. As imagens CP representam uma transformação que é derivada da matriz de covariância ou de correlação entre as bandas e que gera um novo conjunto de imagens onde cada valor do "pixel" é uma combinação linear dos valores originais. As imagens componentes principais são, portanto, definidas a partir de um autovalor que reflete a sua variância, e por um conjunto de autovetores representativos da contribuição ou do peso de cada banda espectral original, nesta nova imagem CP. O número de componentes principais é igual ao número de bandas

espectrais utilizadas na transformação e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância dos níveis de cinza. A primeira componente principal tem a maior variância (maior contraste) e representa o relevo da área, informação comum a todas as bandas, enquanto a última, a menor variância, contendo os sinais ruidosos das bandas. Abaixo, as tabelas descrevem as características estatísticas de cada banda espectral, os autovalores de cada imagem componente principal e os autovetores que revelam o peso de cada banda espectral na geração de cada imagem componente principal.

Tabela 5- Valores das contribuições das 9 bandas ASTER para cada CP

COMPONENTES PRINCIPAIS	AUTOVETORES									AUTO-VALORES
	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Banda5	Banda6	Banda7	Banda8	Banda9	
CP1	0.32507	0.32567	0.26069	0.35326	0.34956	0.34487	0.34228	0.345537	0.34323	7.541423
CP2	0.42682	0.27516	0.68297	-0.0466	-0.1421	-0.1677	-0.2683	-0.28329	-0.2699	0.791654
CP3	0.38443	0.64428	-0.5962	-0.2317	-0.0751	-0.1161	-0.0839	-0.03439	0.02660	0.312524
CP4	0.08498	-0.0968	-0.1541	-0.0062	0.49573	0.60320	-0.4488	-0.33397	-0.1922	0.149065
CP5	0.0770	-0.1510	0.08569	-0.1686	0.08866	-0.2058	-0.4762	-0.03983	0.81045	0.067789
CP6	0.08006	-0.0493	-0.2149	0.80169	0.17451	-0.4554	-0.2095	-0.11074	-0.0906	0.050863
CP7	0.02718	-0.0594	0.05722	-0.3752	0.73919	-0.4741	0.23105	0.02832	-0.1619	0.039445
CP8	0.05579	-0.0404	-0.0415	0.05318	-0.0304	0.02197	0.51255	-0.80748	0.27302	0.027414
CP9	-0.7354	0.60275	0.16665	0.06700	0.14333	-0.0228	-0.1250	-0.14468	0.07649	0.019824

Neste trabalho, a imagem composição colorida do triplete das CP's 2-3-5 associadas às cores vermelho (R), verde (G) e azul (B), respectivamente foi selecionada por permitir a melhor interpretação visando à separação das unidades geológicas da área de estudo.

6.5 - Resultados

Na imagem acromática CP2, com a maior contribuição da banda 3 (NIR), Tabela 5, os *pixels* em tons de cinza claro representam as rochas sedimentares e metamórficas de baixo grau (arenitos e ardósias), onde a cobertura vegetal é mais rala e esparsa (Fig.7). As áreas em cinza escuro à nordeste e sudoeste da feição geomorfológica Cerro Chato, representam as rochas vulcânicas e hipabissais. Nesta região a cobertura vegetal é mais arbustiva, tornando-se mais densa nas encostas, porém sem apresentar vigor

vegetativo que permita a elevada reflectância neste comprimento de onda. Na porção sudoeste, é possível observar o forte contraste entre as rochas sedimentares e metamórficas e os riolitos por meio do contato abrupto associado aos lineamentos observados na região.

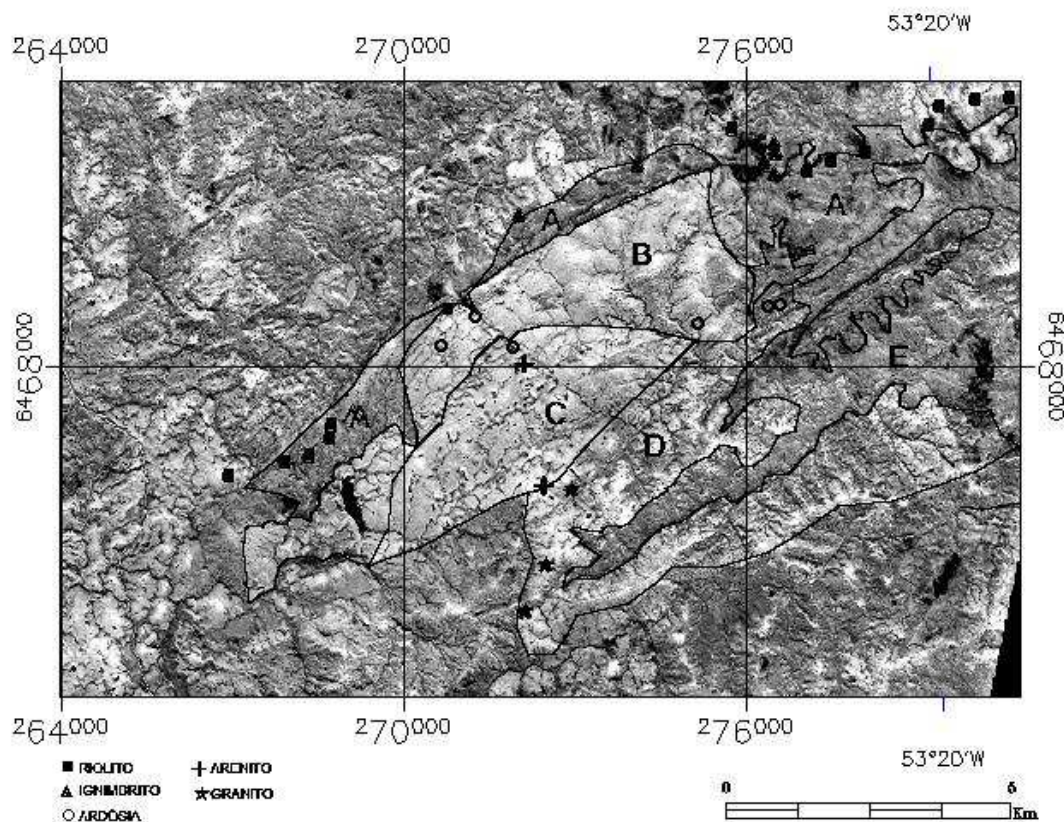


Figura 36 - Imagem acromática CP2 da região do Cerro Chato

A imagem CP3 (Fig.8), conforme Tabela 1 revela o contraste entre a região do visível e a região do infravermelho próximo. As elevadas contribuições das bandas 2 e 3 com sinais contrários assim demonstram esse contraste. O substrato das rochas sedimentares e metamórficas, por apresentarem *pixels* claros na imagem B3 ocorre com aparência escura na CP3. As regiões claras na imagem CP3 representam áreas com maior disponibilidade de óxidos de ferro superficialmente, pois refletem na região do visível (B2) e absorvem na região do IVP (B3). O sinal negativo associado à B3, nesta CP, inverte a absorção. As rochas vulcânicas do Cerro Chato, portanto apresentam tons cinza-claro. A

vegetação de porte não é realçada por não possuir elevada reflectância na banda 3 e os corpos d'água bem como as sombras aparecem claras.

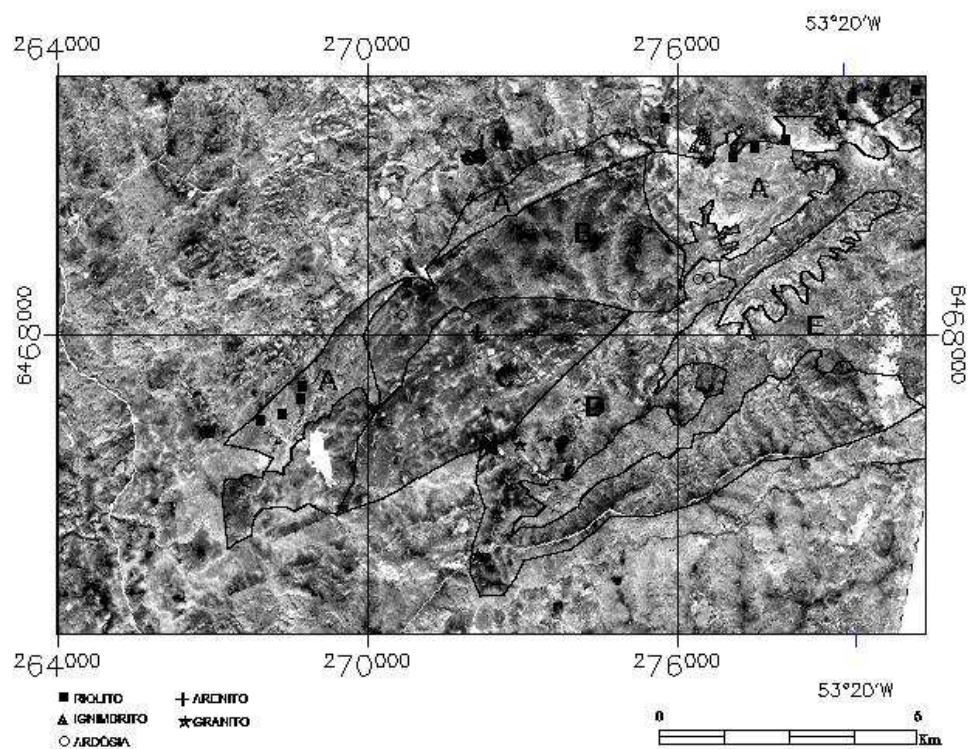


Figura 37 - Imagem acromática CP3 da região do Cerro Chato.

A terceira imagem do triplete está associada à cor azul (B) e realça a vegetação. O autovalor associado a esta CP é de 0.067789 significando baixo nível de informação. Como o objetivo deste trabalho visa realçar feições espectrais vinculadas às rochas existentes na área esta imagem foi utilizada, pois concentra a informação não desejada da vegetação. Nesta imagem a vegetação mais densa é representada por *pixels* claros (alto valores de DN's) verificado na Figura 9.

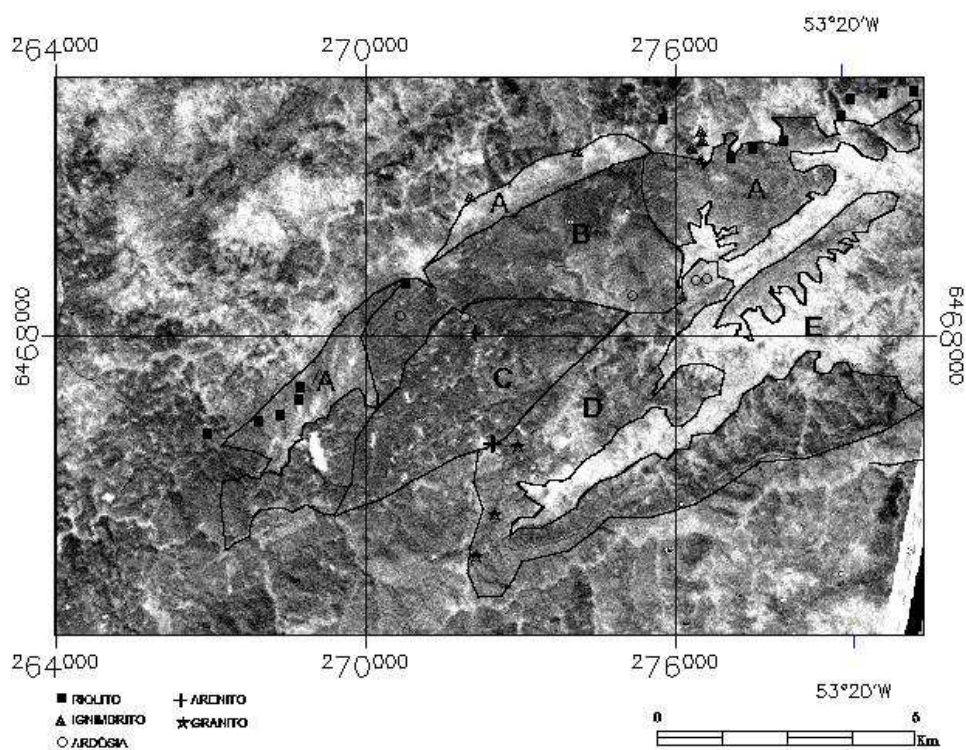


Figura 38 - Imagem acromática CP5 da região do Cerro Chato

Na composição colorida RGB formada pelas imagens CP2, CP3, CP5 (Fig.10) é possível traçar um contato entre as diferentes unidades geológicas. A região em vermelho no centro da imagem realça as rochas sedimentares e metamórficas reconhecidas em campo. É possível traçar um contato entre as rochas metamórficas e sedimentares através da diferença textural observada na imagem, onde as rochas sedimentares estão dispostas na forma de uma cunha dentro do domínio metamórfico.

Os riolitos e ignimbritos na imagem são destacados pela coloração verde. Não foi possível separar estas rochas por terem resposta espectral semelhantes. O alto grau de soldagem dos ignimbritos reproduz aspectos texturais muito semelhantes aos do riolito, neste caso, sendo definidos somente pelas diferenças microscópicas.

A vegetação está representada pela cor azulada, mostrando a contribuição das imagens CP2 (vermelho) e 3 (azul). Esta vegetação circunda o Cerro, não interferindo assim na diferenciação das litologias estudadas.

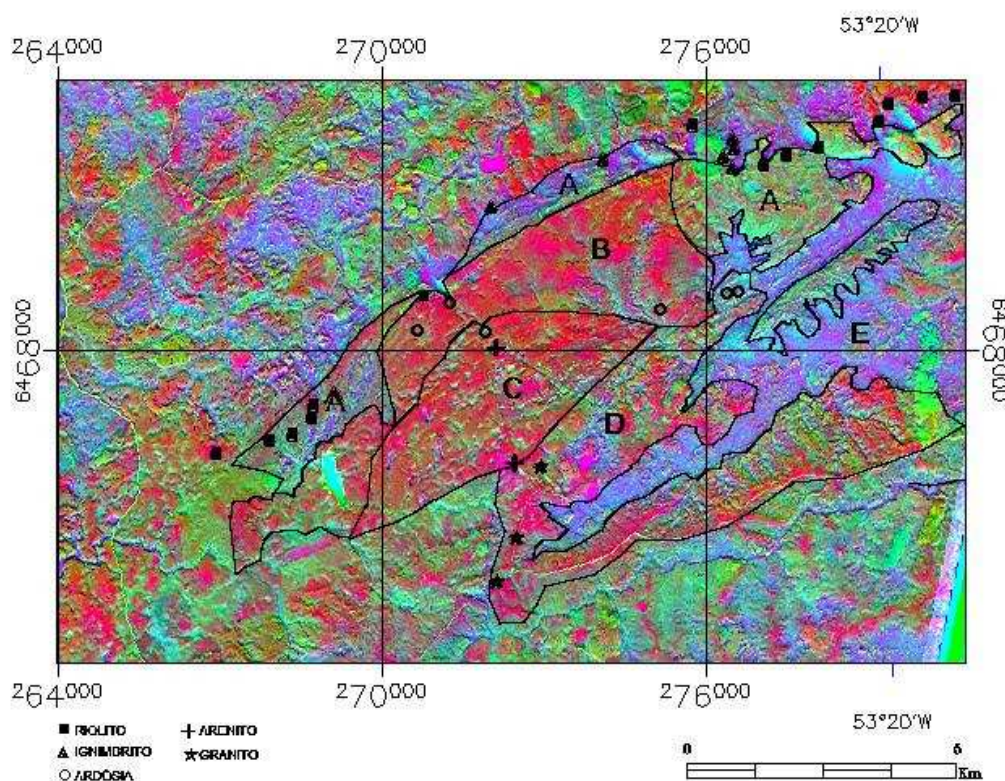


Figura 39 - Imagem colorida CP's 2(R), 3(G) e 5(B), com separação das litologias estudadas na área. Onde A: riolitos e ignimbritos; B: ardósias; C: arenitos; D: granitóides e E: vegetação.

Além da separação litológica foi possível o estudo dos padrões de lineamentos utilizando-se o processamento de filtragem por convolução, cuja principal característica é realçar bordas em direções pré-determinadas. Na banda 4 ($\lambda=1,60\mu\text{m} - 1,70\mu\text{m}$), que mostrou resultados mais satisfatórios, foi aplicado o filtro direcional (Hoff, 2002; Pinheiro-Sommer, 2005) visando destacar os lineamentos da área de estudo. A análise dessa imagem indica uma grande incidência de lineamentos na direção NW-SE (Fig.11). Entre estes se destacam 2 grandes lineamentos, com direções NW-SE e NNE-SSW, que separam os domínios vulcânicos do Cerro Chato.

Em campo foi observado que as rochas situadas nas áreas afetadas pelos lineamentos apresentam foliações com direções coincidentes com as encontradas na imagem.

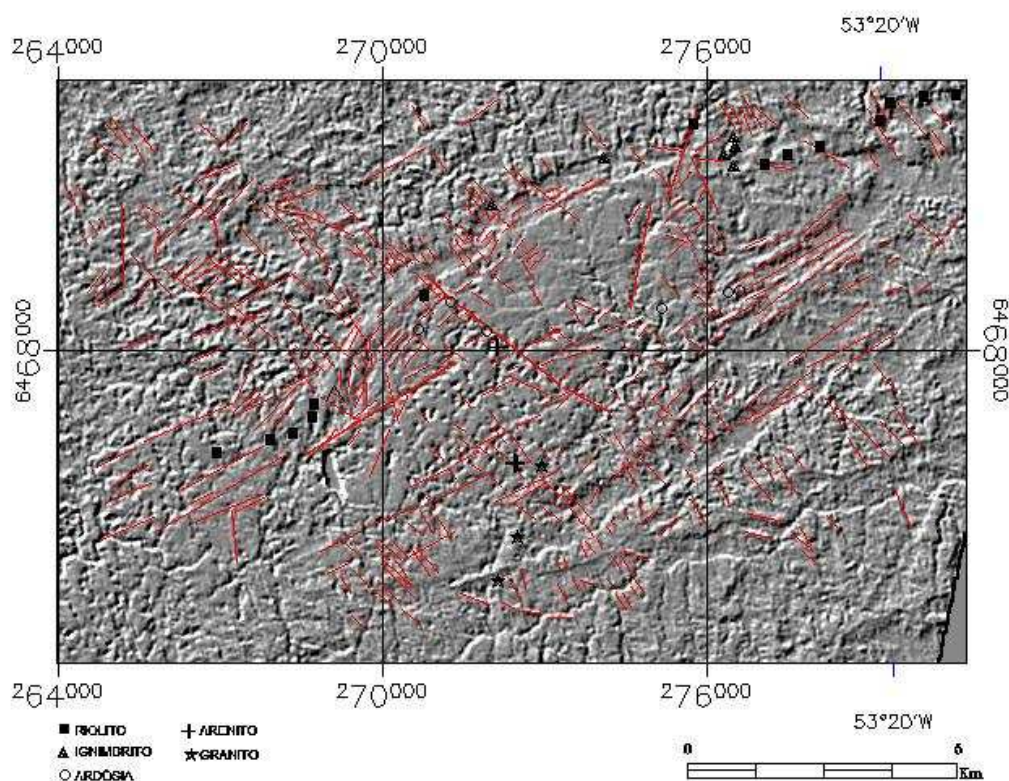


Figura 40 - Imagem acromática da banda 4 com filtragem direcional sobreposta (Pinheiro-Sommer, 2005), evidenciando os principais lineamentos da região do Cerro Chato.

6.6 - Considerações finais e conclusões

A integração do sensoriamento remoto com outras técnicas de aquisição de dados (mapeamento geológico, petrografia, etc.) mostrou-se eficaz na investigação geológica da área.

A análise e interpretação dos dados obtidos por meio do processamento das imagens do sensor ASTER no mapeamento na região do Cerro Chato permitiu individualizar as rochas vulcânicas dos demais litotipos da área. Os processamentos utilizando as técnicas de Componentes Principais e filtragem direcional produziu os melhores resultados, possibilitando uma melhor visualização dos alvos de interesse.

O uso de diversas técnicas de sensoriamento remoto e processamento das imagens ASTER, permitiu alcançar os seguintes resultados na área estudada:

- Identificação e individualização das rochas vulcânicas da região do Cerro Chato;
- A identificação de uma seqüência metamórfica, caracterizada por ardósias, até então não cartografada no mapa geológico da região (CPRM 1999).
- A identificação, por meio da técnica de filtragem, de um grande número de lineamentos com direções NE-SW e NW-SE;
- Definição de três principais domínios, através dos lineamentos presentes na área, de rochas vulcânicas;
- Não foi possível a individualização, por meio do padrão espectral, dos granitos (Suíte Granítica Dom Feliciano, Suíte Intrusiva Pinheiro Machado e Suíte Intrusiva Erval) presentes na área. Os granitos aflorantes na região geralmente estão recobertos pela vegetação tornando assim difícil sua identificação por meio das imagens.

A aplicação das técnicas de processamento de imagens orbital como uma ferramenta auxiliar no mapeamento geológico de rochas vulcânicas se mostrou eficaz. Este fato contribui para um maior conhecimento da geologia da região, tendo em vista os poucos trabalhos empregando o sensoriamento remoto.

Agradecimentos: ao Instituto de Geociências-UFRGS pela infra-estrutura. À CAPES pela bolsa de mestrado, ao CNPq e FAPERGS pelo apoio financeiro (CNPq: 471584/2001-0, 304541/2003-6, 306142/2006-6, 306616/2006-8, 473683/2007-5; FAPERGS: 03/0686. 2, PROADE: 05/2176. 0).

6.7 – Referências bibliográficas

Borges P., 2006. Contribuição do sensoriamento remoto no mapeamento das rochas vulcânicas do Cerro Chato, SE do Escudo-Sul-Rio-Grandense. Trabalho de conclusão. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 82p.

Carraro C.C. & Ribeiro, M. 1983. Evolução de estruturas dobradas em zonas de geossuturas no embasamento granítico-gnaissico da faixa Piratini-Herval, RS. *Pesquisas*, 15:175-191.

Chemale Jr. F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. *In*: Holz M.; De Ros L.F. (eds) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. CIGO-UFRGS, pp.:13-52.

Crosta A.P. 1992. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. IG/UNICAMP, Campinas, 170p.

Fernandes L.A., Tommasi A., Porcher C.C. 1992. Deformation patters in the southern Brazilian brach of the Dom Feliciano Belt; a reappraisal. *J.South Amer. Earth Sci.*, **5**(1): 77-96

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

Fragoso-Cesar A.R.S., Figueiredo M.C.H., Soliani Jr E., Faccini U.1986. O Batólito Pelotas (proterozóico superior / eo paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.*,**34**, Goiânia, *Anais*, **3**:1322-1343.

Fragoso-Cesar A.R.S. 1991. *Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 362p.

Frantz J.C. & Nardi L.V.S. 1992. O magmatismo granítico da região oriental do Escudo Sul-Rio-Grandense: uma revisão. *Pesquisas*, **19**:183-189.

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

Galvão L.S. & Vitorello I.1994. Spectral reflectance-lithostratigraphy of terrigenous rocks of the Parnaíba Basin, Barzil: chemical composition relationships. *Rev. Bras. Geoc.*,**24**:22-31.

Guimarães Filho H.A. 1994. *Metodologias para Intercâmbio de dados entre programas CADD, SGBD, PDI e SIG em projeto de exploração mineral*. Dissertação de mestrado, UNICAMP, 118pp.

Hoff R. 2002. *Integração de dados geológicos, de sensoriamento remoto, espectralradiométricos e geofísicos aplicados à prospecção de depósitos filoneanos de fluorita hidrotermal no sudeste de Santa Catarina*. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 167p.

Hunt G.R. 1980. Eletromagnetic radiation: the comunicacion link in remote sensing. *Remote Sensing in geology*. **2**:5-45

Hunt G.R. 1977. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, **42**(3):501-513.

Klein M.A. 1998. *Integração de imagens TM e aerogeofísicas para análise lito-estrutural de uma porção da zona de cisalhamento transcorrente dorsal de Canguçu, região de Quitéria – Várzea do Capivarita, RS*. Dissertação de mestrado, CEPSSRM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 120pp.

Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A. & Zanettin, B. 1986. A classification of volcanic rocks based on the total alkalis-silica diagram. *J. Petrol.*, **27**: 745-750.

Lima B.E.M, Almeida Filho R., Galvão L.S., Meneses P.R. 2005. Avaliação das imagens ASTER para discriminação de variações faciológicas no granito Serra Branca, Goiás. *In: Simp. Bras. Sens. Remoto, Goiás, Anais*, **12**:1815-1822

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

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

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

Pearce J.A.; Harris N.B.W.; Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J.Petrol.*,**25**:956-983.

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

Philipp R.P., Almeida D.P.M., Gomes M.E.B., Pintaúde D.A. 1991. Geoquímica do granito bela vista, Piratini, RS: uma contribuição ao conhecimento do magmatismo alcalino no setor oriental do escudo. *Acta Geológica Leopoldensia*, **14**(34): 95-122.

Philipp R.P., Mesquita M.J., Gomes M. E, B., Almeida D.P.M. 1993; Reconhecimento estrutural e geoquímico dos granitóides brasileiros da região de pelotas, RS. *Pesquisas*, **20**(1): 3-13.

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

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

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

- Philipp R.P. & Machado. 2005. The late neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. In: Journal of south american earth sciences. *Journal of south american earth sciences*, 19:461-478.
- Picada R.S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do escudo sul-riograndense: caracterização dos sistemas de falhas. In: SBG, Congr.Bras.Geol.,25, São Paulo, *Anais*, 1:167-191.
- Pinheiro-Sommer J.A. 2005. *Aplicação de sensoriamento remoto orbital no mapeamento de unidades vulcano-sedimentar no Platô da Ramada, Vila Nova do Sul, RS*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 106p
- Rambo B.1956. A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural. Selbach, Porto Alegre, 456p.
- Ribeiro M. 1977. Mapa Geológico da Quadrícula de Piratini, RS. *Fund. Zoob.Est. R.G. Sul*, Publ. Esp. 2, Esc. 1:50 000. Porto Alegre, RS.
- Saldanha D.L. 2003. *Características espectrais de unidades ultramáficas do sudoeste do Rio Grande do Sul: integração de dados orbitais, geobotânicos e geoquímicos*. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 279p.
- Saldanha D.L., Lima e Cunha M.C., Haertel V. 2004. Spectral analysis of soils from mafic/ultramafic rocks of Cerro Mantiqueira, south-west of Rio Grande do Sul, Brazil. *International journal of remote sensing*, 25 (20): 4381-4393
- Soliani Jr. E. 1986. *Os dados geocronológicos do escudo sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 425p.
- 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. *Rev. Bras. Geoc*,29(2):245-254.
- Sommer C.A., Lima E.F., Nardi L.V.S, Liz J.D., Waichel B.L. 2005b. 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 saturated, sodic alkaline volcanism in post-collisional basin. *Na. Acad. Bras. de Ciênc.*, 78(3): 573-589.
- Stevens N.F., Garbeil H., Mouginis-Mark, P.J. 2004. NASA EOS Terra ASTER: Volcanic topographic mapping and capability. *Remote Sensing of Environment*, 90:405-414
- Vieira E.F. 1984. *Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação*. Sagra, Porto Alegre. 184p.

Wagner, A.P.L. & Ducati, J.R. 2005. O Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul com imagens do sensor ASTER. *In: Simp. Bras. Sens. Remoto, Goiás, Anais*, **12**:4361-4368.

Weaver B.L. & Tarney J. 1984. Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, **310**: 575-579.

Wildner W., Nardi L.V.S., Lima E.F., 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.

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

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

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O Cerro Chato é uma feição geomorfológica inserida na unidade geotectônica definida como Batólito Pelotas. Nesta ocorrem predominantemente granitóides associados a uma grande variedade de xenólitos de rochas metamórficas de alto e baixo grau. O Cerro Chato é constituído por uma seqüência de rochas efusivas e piroclásticas de composição riolítica relacionada a sistemas do tipo alta-sílica, vinculadas ao magmatismo granítico tardio do Batólito Pelotas.

Geoquimicamente as rochas piroclásticas e efusivas riolíticas do Cerro Chato possuem conteúdos elevados de SiO₂ 68,85% até 77,14%. Pode-se sugerir que as principais características geoquímicas apresentadas pelas rochas riolíticas do Cerro Chato, como elevados teores de SiO₂, FeO_t, Na₂O, K₂O, Rb, Zr, Nb, Y, ETR, altos valores para as razões FeO_t/FeO_t+MgO (> 0,9) e índice albitico (> 0,75<1) e baixos valores para Al₂O₃, MgO, CaO, Sr e Ba, caracterizam este magmatismo como de afinidade alcalina e caráter metaluminoso a peraluminoso.

Através de trabalhos de campo e a aplicação da técnica de filtragem foi possível identificar três domínios principais de rochas vulcânicas, normalmente associadas à falhas e lineamentos presentes na área: domínio central, constituído basicamente por ignimbritos riolíticos com alto grau de soldagem, domínio sudoeste e domínio nordeste, caracterizados por fácies efusivas e hipabissais, principalmente riolitos e subordinadamente riodacitos.

A identificação da ocorrência de ignimbritos com alto grau de sondagem, ricos em cristais foi de extrema importância para o conhecimento das rochas vulcânicas da região, pois nunca foram descritos anteriormente.

O contraste espectral entre os riolitos e ignimbritos não foi evidenciado tendo em vista que as composições mineralógicas e químicas destes depósitos são muito semelhantes. O elevado grau de sondagem dos depósitos piroclásticos reproduz padrões texturais muito semelhante ao das lavas.

O uso de sensoriamento remoto e processamento das imagens ASTER permitiram a identificação e individualização das rochas vulcânicas da região do Cerro Chato e de lineamentos com direções NE-SW e NW-SE por meio da técnica de filtragem.

O processamento utilizando a técnica de Transformação por Componentes Principais forneceu os melhores resultados realçando diferenças entre as rochas vulcânicas

e hipabissais e as rochas encaixantes. Foram selecionadas as CP2 das imagens CP's 2, 3 e 5 na geração de uma composição colorida que delimitou três principais domínios de ocorrências das rochas de origem vulcânica no Cerro Chato. Este procedimento permitiu identificar também a ocorrência de ardósias nesta região, tendo-se em conta que estas não foram registradas no mapa geológico disponível (CPRM 1999).

O objetivo de testar e avaliar diversas técnicas de geoprocessamento buscando a diferenciação litológica foi alcançado tendo-se em conta a identificação de alvos e a definição de morfoestruturas da área do Cerro Chato. Finalmente, os dados geoquímicos obtidos, apesar do tratamento preliminar, permitem estabelecer em trabalhos futuros comparações litoquímicas entre os vulcanitos do Cerro Chato com os riolitos da Formação Acampamento Velho.

ANEXOS

[RBG] Agradecimento pela Submissão

Quinta-feira, 29 de Janeiro de 2009 14:06

De: "Alberto Pio Fiori" <fiori@ufpr.br>**Para:** "Paloma Gabriela Rocha" <paloma_gr@yahoo.com.br>

Paloma Gabriela Rocha,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO NA INVESTIGAÇÃO DO VULCANISMO ÁCIDO DO CERRO CHATO, SE DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE" para Revista Brasileira de Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/author/submission/13354>

Login: palomarochoa

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Alberto Pio Fiori

Revista Brasileira de Geociências