

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

**MAPEAMENTO DA BACIA DO CAMAQUÃ COM A
UTILIZAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS, GEOLOGIA E
SENSORIAMENTO REMOTO**

THAIS DE SOUZA KAZMIERCZAK

Orientador Prof. Dr. Farid Chemale Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza

**BANCA EXAMINADORA: Prof. Dr. Antônio Flávio Costa
Profa. Dra. Dejanira Saldanha
Dr. Henrique Zerfass**

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito para a obtenção do Título
de Mestre em Geociências

Porto Alegre, 2006

Kazmierczak, Thais de Souza

Mapeamento da Bacia do Camapuã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto. / Thais de Souza Kazmierczak. - Porto Alegre : UFRGS, 2006.

[110 f.] 45 il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2006.

1. Bacia do Camapuã. 2. Geofísica. 3. Sensoriamento Remoto.
I. Título.

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

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer as entidades e pessoas que por seu apoio possibilitaram que esta dissertação fosse concluída.

A CPRM, pela seção de seu material para fins acadêmicos; ao laboratório de geoprocessamento do departamento de geodésia da UFRGS pelo apoio logístico de campo e de manejo de software; ao meu colega Guilherme pela ajuda em campo; aos meus amigos e colegas Rosemeri, Luciane, Larissa e Rualdo pelo apoio; a meu Orientador e Co-orientador pela confiança e suporte técnico científico; ao Luis pelo apoio e aporte científico e, também, a minha família.....

RESUMO

A análise tectono-estratigráfica da Bacia do Camaquã, uma sequência vulcano-sedimentar do Neoproterozóico ao Eoproterozóico com depósitos de Cu (Au, Ag), Zn e Pb, é aqui apresentada com a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto, gravimetria e perfilagem de poço.

Nas imagens LANDSAT TM demarcou-se as concentrações de lineamentos junto as principais estruturas regionais e delimitou-se quatro domínios estruturais de acordo com a orientação dos *trends* dos lineamentos estruturais. Os perfis de poços que abrangem as formações Guaritas e Bom Jardim evidenciam eventos tectônicos com deformação rúptil e dúctil-ruptil, estabelecendo-se diferentes fácies tectono-estratigráficas de seqüências deposicionais (ambiente deltáico) e seqüência deformacionais. Nos poços observa-se a variação da densidade com a profundidade entre poços, indicando a presença de duas aloformações de compactação distintas. Com base nos dados gravimétricos locais e regionais pode-se delimitar anomalias gravimétricas do embasamento, pacotes sedimentares de espessuras distintas em subsuperfície, com espessamento para NE, como também valores diferenciados para as principais unidades sedimentares da região estudada, bem como uma compartimentação escalonada da bacia do Camaquã.

Ferramentas computacionais complementam a análise gravimétrica e de perfilagem geofísica, possibilitando a integração das técnicas já relacionadas e a formatação de dois perfis esquemáticos EW e SW-NE da bacia. Estes perfis auxiliam na visualização dos limites estruturais e formato da bacia, trazendo importantes informações para o modelo geológico da Bacia do Camaquã.

Palavras Chaves: *Bacia do Camaquã, Geofísica, Sensoriamento Remoto.*

ABSTRACT

A tectonostratigraphic analysis of the Camaquã Basin is here presented using remote sensing, gravimetry and well logs. This basin is a Neoproterozoic to Eoproterozoic volcano-sedimentary sequence, with (Au, Pt) and Zn-Pb mineral deposits.

Based on the lineament orientation obtained through LANDSAT TM image analysis were recognized four structural domains in the study areas. The depositional sequences and deformational sequences of the Guaritas and Bom Jardim Formation has been described on the well logs information, where the fluvial deltaic system and brittle to ductile-brittle tectonics are well constrained. Density values measured in the well samples shows variation with depth, as well among the studied logs, suggesting differential compaction of sedimentary rock. Based on global and local gravimetric data are recognized the basement gravimetric anomalies, different thickness of sedimentary package increasing to NE of the basin, and a compartmentation of Camaquã Basin in sub-basins by NW-trending structures.

A compartmentation in sub-basins by NW-structures and an increasing of sediment thickness to NE of Camaquã Basin can be seen in the local and regional gravimetric profiles.

Computational tools complement gravimetric analysis and the geophysics profiles make possible the edition and technical integration of all acquired data. The schematic profiles oriented of EW and SW-NE provides a better visualization of the structural limits and framework of Camaquã Basin, bringing important information for the geological model.

Keywords: *Camaquã Basin, Geophysics, Remote Sensing.*

LISTA DE FIGURAS

pg.

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Localização da Bacia do Camaquã no estado do Rio Grande do Sul..... | 15 |
| Figura 1.2. Fluxograma da seqüência metodológica..... | 18 |
| Figura 2.1. Fácies tectônica mostrando a evolução do Escudo Sul-rio-grandense (Chemale Jr. 2000)..... | 21 |
| Figura 2.2. Terrenos geológicos e domínios magnéticos propostos por Costa e modificados por Paim <i>et al</i> (2000)..... | 23 |
| Figura 2.3. Domínios magnéticos propostos por Costa e modificados por Paim <i>et al.</i> (2000)..... | 24 |
| Figura 2.4. Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Camaquã parte 1 (Paim <i>et al.</i> 2000)..... | 25 |
| Figura 2.5. Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Camaquã parte 2 (Paim <i>et al.</i> 2000)..... | 26 |
| Figura 2.6. Coluna estratigráfica da Bacia do Camaquã de Paim <i>et al.</i> (2000)..... | 32 |
| Figura 2.7. Mapa geológico da Bacia do Camaquã baseado em Paim <i>et al.</i> (2000)..... | 33 |
| Figura 3.1. Mosaico da banda 7, em tons de cinza, das imagens (órbita/ponto) LANDSAT TM 222/081, 222/082 e 223/081 compondo a área da Bacia do Camaquã..... | 38 |
| Figura 3.2. Mapa Principais Componentes 1 (PC1) em escala de cinza da imagem (órbita/ponto) LANDSAT TM 222/081..... | 39 |
| Figura 3.3. Lineamentos obtidos a partir do mosaico das imagens (cada cor indica uma imagem diferente)..... | 41 |
| Figura 3.4. Estereograma geral dos lineamentos da área..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.5. a. Mapa de contornos estatístico dos lineamentos; b. Superfície de tendência de lineamentos da área..... | 43 |
| Figura 3.6. Relação dos Lineamentos e seu comprimento com o número de dados segundo a posição..... | 44 |
| Figura 3.7. Relação dos Lineamentos e seu comprimento e azimute..... | 44 |
| Figura 3.8. Mapa de posicionamento das famílias de lineamentos dominantes..... | 45 |
| Figura 3.9. Mapas de densidade de lineamentos com as direcionais de concentração dos lineamentos correlacionadas as principais estruturas de Costa <i>et al.</i> (1997)..... | 47 |
| Figura 3.10 Principais áreas de trends delimitados a partir dos lineamentos e correlacionados as principais estruturas de Costa <i>et al</i> (1997)..... | 48 |
| Figura 4.1. Localização dos poços da CPRM..... | 53 |
| Figura 4.2. Descrição da litologia dada para cada um dos furos: CQP-01-RS (esquerda), CQP-02-RS (meio) e CQP-03-RS (direita)..... | 55 |
| Figura 4.3. Variação de densidade com a profundidade para os poços CQP-01-RS e CQP-02-RS..... | 57 |
| Figura 4.4. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção CQP-01-RS..... | 58 |
| Figura 4.5. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção CQP-02-RS..... | 59 |
| Figura 4.6. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção CQP-03-RS..... | 60 |
| Figura 4.7. Correlação dos Poços CQP-01-RS, CQP-02-RS e CQP-03-RS..... | 64 |
| Figura 4.8. a: Modelo topográfico do terreno, b: Mapa de contorno topográfico..... | 69 |
| Figura 4.9. Mapa de localização dos pontos gravimétricos medidos em campo e perfis analisados (AA', BB' e CC')..... | 72 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.10. Mapa de pontos totais gravimétricos..... | 73 |
| Figura 4.11. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção A-A'..... | 74 |
| Figura 4.12. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção B-B'..... | 75 |
| Figura 4.13. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção C-C'..... | 75 |
| Figura 4.14. Mapas de Anomalia de Bouguer..... | 76 |
| Figura 4.15. Mapa topográfico e bouguer sobrepostos..... | 77 |
| Figura 4.16. A: Localização dos perfis gravimétricos; B Mapa bouguer com as principais estruturas da área (Costa <i>et al.</i> , 1996)..... | 78 |
| Figura 4.17. Perfil gravimétrico 1 (Costa <i>et al.</i> , 1996)..... | 79 |
| Figura 4.18. Perfil gravimétrico 2 (Costa <i>et al.</i> , 1996)..... | 79 |
| Figura 4.19. Perfil gravimétrico 3 (Costa <i>et al.</i> , 1996)..... | 80 |
| Figura 4.20. Perfil gravimétrico 4 (Costa <i>et al.</i> , 1996)..... | 80 |
| Figura 5.1. Correlação Tectono-estratigráfica geral da Bacia do Camaquã..... | 88 |
| Figura 5.2. Correlação tectonoestratigráfica local da Bacia do Camaquã..... | 90 |
| Figura 5.3. Mapa topográfico e de contorno com a localização dos blocos diagrama esquemáticos A e B | 91 |
| Figura 5.4. Modelo esquemático da Bacia do camaquã sotoposta ao modelo topográfico do terreno. Blocos diagrama A e B. A localização dos blocos diagrama encontra-se na figura 5.3..... | 92 |

LISTA DE TABELAS

pg.

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 Comparação entre várias colunas estratigráficas proposta para a Bacia do Camaquã. (Modificado de Paim <i>et al.</i> 2000)..... | 29 |
| Tabela 4.1 Densidades das rochas do embasamento (* eo-paleozóicas com vulcânicas andesíticas - Andesito Hilário -dominantes)..... | 56 |
| Tabela 4.2. Densidades dos sedimentos eo-paleozóicos (** Bom Jardim com predomínio de sedimentos : conglomerados, arenitos conglomeráticos, etc; junto à Mina do Camaquã)..... | 56 |
| Tabela 4.3 Valores da variação da gravidade em relação à latitude..... | 70 |

ORIENTAÇÃO SOBRE O CONTEÚDO DO DOCUMENTO

O resumo dos diferentes capítulos a serem tratados nesta Dissertação de Mestrado está referido neste item.

I INTRODUÇÃO

Na introdução são analisados a dissertação e os argumentos do trabalho, dando ênfase aos objetivos, técnicas aplicadas, metodologia e localização da área.

II GEOLOGIA

Neste capítulo é adotado um modelo evolutivo tectono-estrutural e estratigráfico da bacia do Camaquã, apresentando sua descrição tectono-estratigráfica. Complementado com a apresentação de um modelo topográfico do terreno.

III SENSORIAMENTO REMOTO

Inclui o trabalho realizado de processamento de imagens para ressaltar estruturas geológicas, a vetorização destas estruturas (lineamentos), sua análise estatística e plotagem dos principais *trends* estruturais em diagrama de rosetas.

IV GEOFÍSICA

Os temas a tratar incluem principalmente os relacionados com a exploração geofísica, especialmente o processo de dados gravimétricos e de poço (RG, SP, Resistividade). Também se inclui um numeral onde são explicados os conceitos matemáticos utilizados no processamento de dados.

V INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO

Os dados são correlacionados e integrados estabelecendo um modelo geológico para a área.

VI CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO: ALGORÍTMO IMPLEMENTADO.

SUMÁRIO

| | pg. |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS..... | 2 |
| RESUMO..... | 3 |
| ABSTRACT..... | 4 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 5 |
| LISTA DE TABELAS..... | 8 |
| ORIENTAÇÃO SOBRE O CONTEÚDO DO DOCUMENTO..... | 9 |
| I INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1. INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.2. LOCALIZAÇÃO..... | 15 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.3.1. OBJETIVOS GERAIS..... | 16 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 1.4. METODOLOGIA..... | 17 |
| II GEOLOGIA..... | 19 |
| 2.1. POSICIONAMENTO GEOTECTÔNICO..... | 20 |
| 2.2. ESTRATIGRAFIA DA BACIA..... | 28 |
| 2.2.1. ALOGRUPO MARICÁ..... | 29 |
| 2.2.2. ALOGRUPO BOM JARDIM..... | 30 |
| 2.2.3. ALOGRUPO CERRO DO BUGIO..... | 31 |
| 2.2.4. ALOGRUPO SANTA BARBARA..... | 31 |
| 2.2.5. ALOGRUPO GUARITAS..... | 33 |
| III SENSORIAMENTO REMOTO..... | 34 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 3.2. METODOLOGIA..... | 37 |
| 3.3. INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO..... | 46 |
| IV GEOFÍSICA..... | 50 |
| 4.1. INTRODUÇÃO..... | 51 |
| 4.2. GEOFÍSICA DE POÇO..... | 52 |
| 4.2.1. INTRODUÇÃO..... | 52 |
| 4.2.2. METODOLOGIA..... | 53 |
| 4.2.2.1. Densidade da rocha..... | 55 |
| 4.2.2.2. Digitalização e edição..... | 57 |
| 4.2.2.3. Descrição de poço..... | 61 |
| 4.2.3. INTERPRETAÇÃO E CORRELAÇÃO DE POÇOS..... | 62 |
| 4.3. GRAVIMETRIA..... | 66 |
| 4.3.1. INTRODUÇÃO..... | 66 |
| 4.3.2. METODOLOGIA..... | 67 |
| 4.3.2.1. Correções Gravimétricas..... | 67 |
| 4.3.2.1.1. Correções de Ar Livre..... | 68 |
| 4.3.2.1.2. Correções de Bouguer..... | 68 |
| 4.3.2.1.3. Correções Topográficas ou Variação do Terreno..... | 68 |
| 4.3.2.1.4. Correções de Latitude..... | 70 |
| 4.3.2.1.5. Correções de Deriva..... | 70 |
| 4.3.2.2. Anomalias gravimétricas..... | 71 |
| 4.3.2.3. Aquisição de dados..... | 71 |
| 4.3.3. PROCESSO E INTERPRETAÇÃO..... | 74 |
| V INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO..... | 84 |
| VI CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 93 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 6.1. CONCLUSÕES | 94 |
| 6.2. RECOMENDAÇÕES..... | 96 |
| VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |
| ANEXO..... | 103 |

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

Na exploração geológica, atualmente, é necessário integrar várias técnicas para obter de forma mais precisa a geologia de subsuperfície. Dentre estas, destacamos o mapeamento geológico, tratamento de imagens multi-espectrais, métodos geofísicos, perfilagem de poços e de prospecção. Estas técnicas são utilizadas para aprimorar o conhecimento de áreas geológicas de forma integrada no estudo de bacias sedimentares, onde pôde-se delimitar o arcabouço da bacia, sua relação com o embasamento e o próprio empilhamento estratigráfico. Tais técnicas, utilizadas de forma integrada, permitem que ocorra um aprimoramento do conhecimento geológico de uma determinada região, como, por exemplo, nos estudos de bacias geológicas que apresentam o seu preenchimento ao longo do tempo geológico relativamente bem conhecido, pode-se também delimitar a geometria da bacia e seu arcabouço estrutural, a relação embasamento e bacia, bem como a definição de seus blocos estruturais e espessura dos pacotes de rocha.

Dentre estes aspectos a participação de um geocientista com conhecimento das diversas etapas de aquisição e interpretação dos dados, acima referidos, torna-se indispensável. Assim, faz-se necessária à utilização dos conceitos de geofísica e sensoriamento remoto, o domínio dos conceitos de geologia estrutural, sedimentologia e estratigrafia, para que as interpretações e avaliações de dados possam prover modelos geológicos mais consistentes. Desta forma o presente trabalho integra as referidas técnicas.

1.2. LOCALIZAÇÃO

A área do presente trabalho (Figura 1.1) está inserida no Escudo Sul-riograndense entre os paralelos $-54^{\circ}24'00''$ e $-53^{\circ}48'00''$ de latitude e meridianos $-29^{\circ}48'00''$ e $-31^{\circ}24'00''$ de longitude, com destaque para a Bacia do Camaquã. A bacia localiza-se na região central do Rio Grande do Sul sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. Delimita-se geograficamente ao Norte, pelas coberturas fanerozóicas (unidades da Bacia do Paraná e Formação Serra Geral); ao Oeste por unidades pré-cambrianas do Cinturão Vila Nova; ao Leste, pelo Cinturão Tijuca; e ao Sul, pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, Coberturas Fanerozóicas e o Cinturão Tijuca.



Figura 1.1. Localização da Bacia do Camaquã.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVOS GERAIS

Integrar técnicas já conhecidas da área de geociências com o intuito de melhor conhecer o arcabouço estrutural da Bacia do Camaquã, sua compartimentação tectônica e a espessura dos pacotes de rochas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar o manejo de dados geológicos em suas diferentes etapas: aquisição, pré-processo e interpretação.

Integrar dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto para o entendimento da Bacia de Camaquã.

Implementar um aplicativo no programa Matlab, que realize operações de pré-processo de dados geológicos (carga, edição, filtragem) e tarefas primárias (deconvolução, correlação e visualização).

Analisar quantitativamente os dados obtidos, mediante ferramentas matemáticas e estatísticas, permitindo sua integração quantitativa e qualitativa.

Integrar e interpretar os métodos propostos para testar o modelo assumido de evolução da bacia.

1.4. METODOLOGIA

A integração de dados, a partir de diferentes técnicas de mapeamento geológico do subsolo e superfície, pode ser feita utilizando técnicas geológicas (mapeamento, análises de lineamentos), geofísicas (gravimetria, poços), e de sensoriamento (interpretação de imagens), obtendo-se uma sobreposição de dados que facilitam o entendimento da evolução geológica da área.

A melhor forma para a análise é a quantificação dos dados. Os dados são manipulados e ajustados por métodos matemáticos (mínimos quadrados, transformadas, filtragem, etc). A análise matemática dos dados é levada a gráficos mediante a utilização de software para visualização, edição e interpretação de imagens ENVI 4, AutoCAD 2000. Para o processo de dados Gravimétricos e de poço, foi utilizada a ferramenta para manejo de sinais Matlab versão 6. A informação em *ascii* foi manipulada no Excell.

Os processos seguidos podem ser observados em um fluxograma. Estes se dividem em três partes. Uma parte inicial de aquisição, onde houve o levantamento bibliográfico sobre a área e ida ao campo para coleta de pontos gravimétricos. Num segundo momento, os dados foram digitalizados e processados, sendo trabalhados estatisticamente. Por último, a integração, correlação e análise de toda a informação, gerando uma interpretação.

As diversas etapas podem ser observadas na figura 1.2.

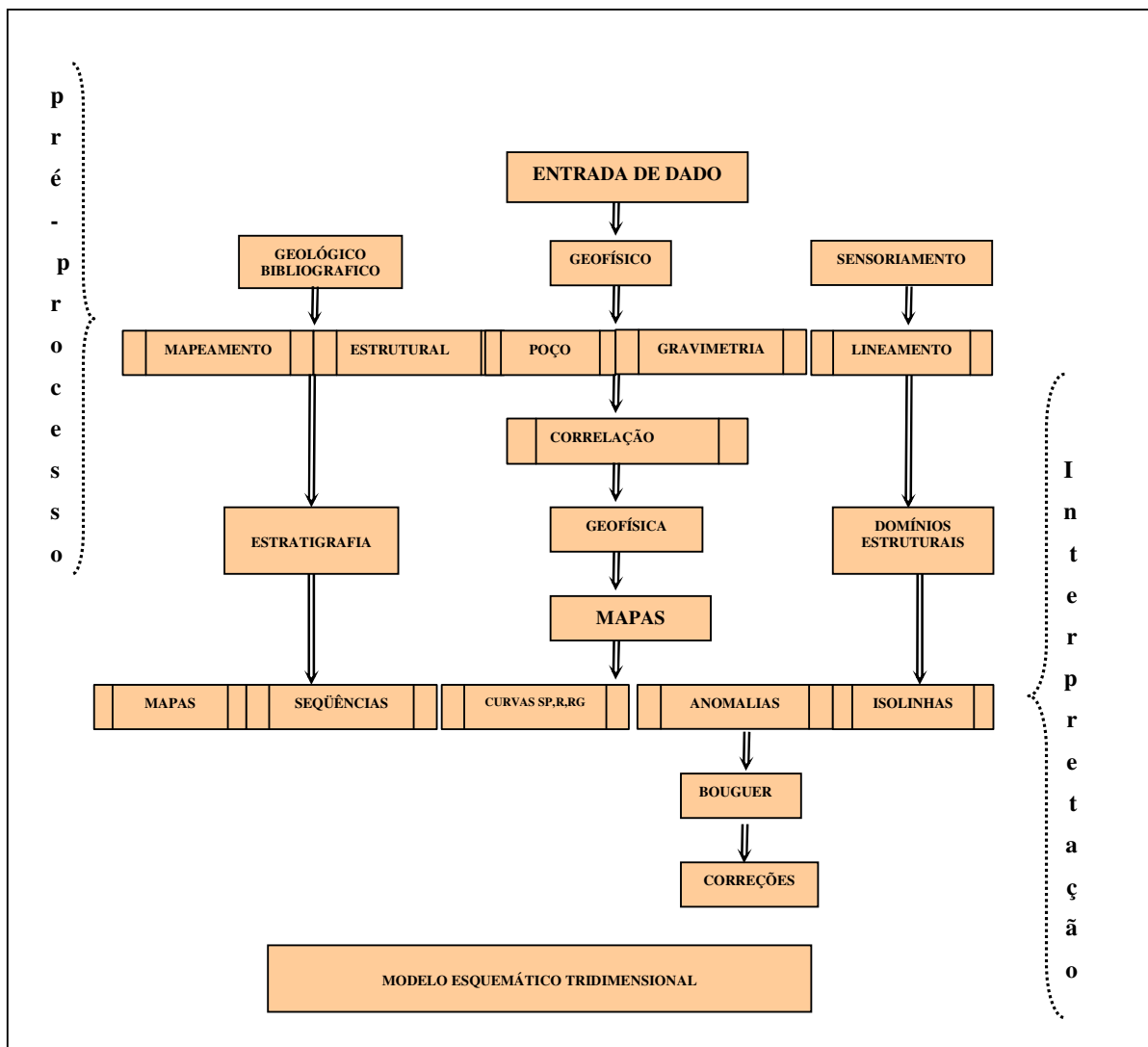


Figura 1.2. Fluxograma da seqüência metodológica.

CAPÍTULO II: GEOLOGIA

2.1. POSICIONAMENTO TECTÔNICO

O Escudo Sul-rio-grandense foi gerado principalmente pela acreção e deformação de vários blocos crustais pré-cambrianos, durante o ciclo orogênico Brasilliano/Pan-africano entre 900-540 Ma. (Chemale Jr., 2000). É subdividido em quatro blocos crustais principais: Taquarembó, Vila Nova (900-700 Ma), Tijucas (Paleoproterozóico e Brasileiro) e o Dom Feliciano (750-500 Ma). Durante o ciclo Brasileiro/PanAfricano ocorreram duas fases de subducção para Leste, formando respectivamente o sistema de Arco Intra-Oceanico (900-800 Ma) e o sistema de Arco Continental (800-700Ma). Posteriormente se inicia uma zona de subducção com vergência para Oeste, no sentido contrário aos eventos de convergência anteriores (650-595 Ma) culminando com o fechamento do Oceano Adamastor e a colisão das placas Kalahari e Rio de La Plata (Chemale Jr., 2000). Entre 595-500 Ma, durante o fechamento, ocorre à formação da parte basal da Bacia do Camaquã, em um ambiente de retroarco. Esta bacia é dividida em sub-bacias contemporaneamente delimitadas por descontinuidades estruturais (Figura 2.1).

A Bacia do Camaquã esta localizada na região central do Rio Grande do Sul sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, compreendendo um intervalo temporal de 450-620 Ma (Paim *et al.*, 2000).

O seu embasamento é dividido a partir de dados geológicos, isotópicos, estruturais e estratigráficos em quatro terrenos geológicos distintos (Paim *et al.* 2000): 1- Cinturão granito-gnáissico Dom Feliciano que compreende uma unidade gnáissica-magmática-granítica (650-590 Ma) e o retrabalhamento da crosta paleoproterozóica (2.3-2.0 Ma) a arqueana; 2- Cinturão Tijucas composto por rochas gnáissicas, graníticas e anfíbolíticas (2.3-2.0 Ma) podendo ser retrabalhadas por um evento orogênico (770-800 Ma) e

unidades vulcano-sedimentares (780-800 Ma); 3- Cinturão Vila Nova composto por rochas granito-gnáissicas e vulcano-sedimentares de idade neoproterozóica, tendo sofrido seus processos magmáticos e deformacionais entre 850-700 Ma; 4- Rochas granito-gnáissicas paleoproterozóicas (Complexo Santa Maria Chico) e rochas granito gnáissicas de fácies anfíbolito. Estas rochas apresentam um metamorfismo e deformação paleoproterozóica (aproximadamente 2.1 Ba) com protólito de idade arquiiana.

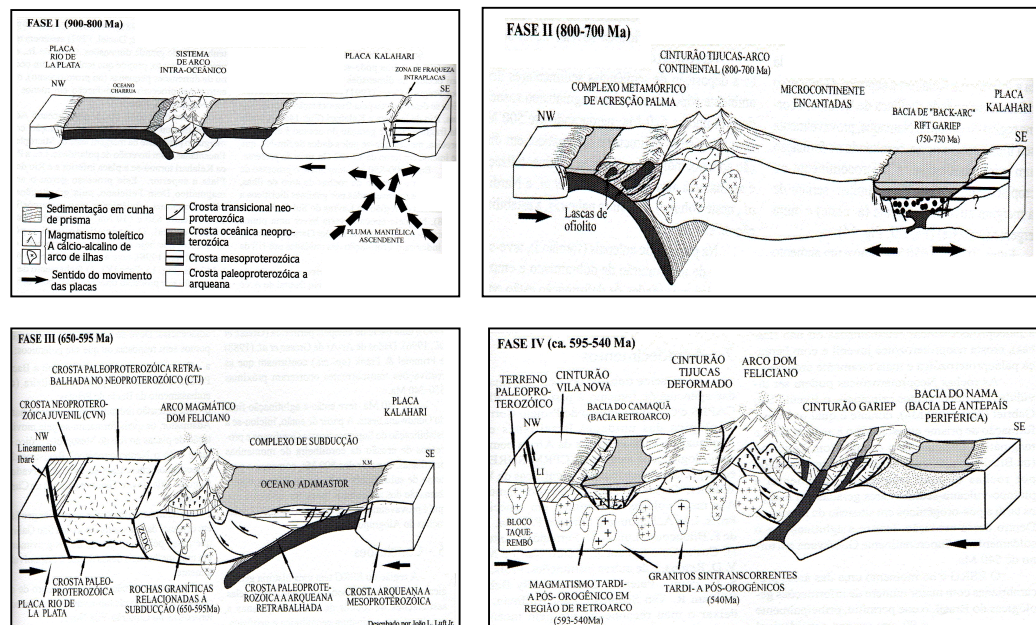


Figura 2.1. Fases tectônicas mostrando a evolução do Escudo Sul-rio-grandense (Chemale Jr., 2000).

Utilizando-se dados geofísicos, Costa (1997) dividiu o escudo em três domínios geofísicos: Oeste, Central e Leste (Figura 2.2 e 2.3); sendo estes limitados pelas suturas de Caçapava e Porto Alegre. Paim *et al.* (2000) correlacionou o embasamento da Bacia do Camaquã ao comparar os três domínios geofísicos com os quatro domínios geológicos: O Domínio Geofísico Leste como a porção leste do Cinturão Granítico-Gnáissico Dom Feliciano, tendo como limite Oeste a Anomalia Magnética Leste; o Domínio Central como a parte oeste do Cinturão Vila Nova e do Cinturão Tijuca,

sendo limitado pela Anomalia Magnética Leste e a Anomalia Magnética Central; e o Domínio Oeste, subdividido pela Porção Norte, que contem o Cinturão Vila Nova, limitado pela anomalia Magnética central e Lineamento de Ibaré, e a Porção Sul correspondente aos gnaisses granulíticos, sendo limitados ao leste pela Anomalia Gravimétrica Oeste.

A Bacia do Camaquã tem um embasamento diferenciado em sua totalidade. Este embasamento é composto pelas rochas dos Cinturões Tijucas, Vila Nova e o Complexo Granulítico Santa Maria Chico. A sub-bacia Taquarembó tem como embasamento o Complexo Granulítico Santa Maria Chico, já as sub-bacias Ramada e Santa Bárbara estão assentadas sobre os grupos Cambaí e Vacacaí, e as sub-bacias Guaritas e Boicí - Piquirí tem como embasamento o Cinturão Tijucas.

Estruturalmente a Bacia do Camaquã pode ser definida como a superposição de diferentes bacias individualizáveis tectônica, geocronológica e termodinamicamente (Paim *et al.*, 2000; Chemale Jr., 2000; Menegat & Fernandes, 2002; Borba *et al.*, 2004). A evolução da Bacia do Camaquã (Figuras 2.4 e 2.5) é relacionada com as fases finais do arrefecimento tectônico da Orogenia Brasileira (Paim *et al.*, 2000).

Durante a formação do Arco magmático Dom Feliciano, devido aos empurrões oblíquos de vergência Oeste e Noroeste, foi gerada por subsidência flexural a Bacia de Antepaís de Retroarco Maricá. Esta bacia que era mais profunda para leste foi preenchida inicialmente por uma sedimentação aluvial que evoluiu para condições marinhas.

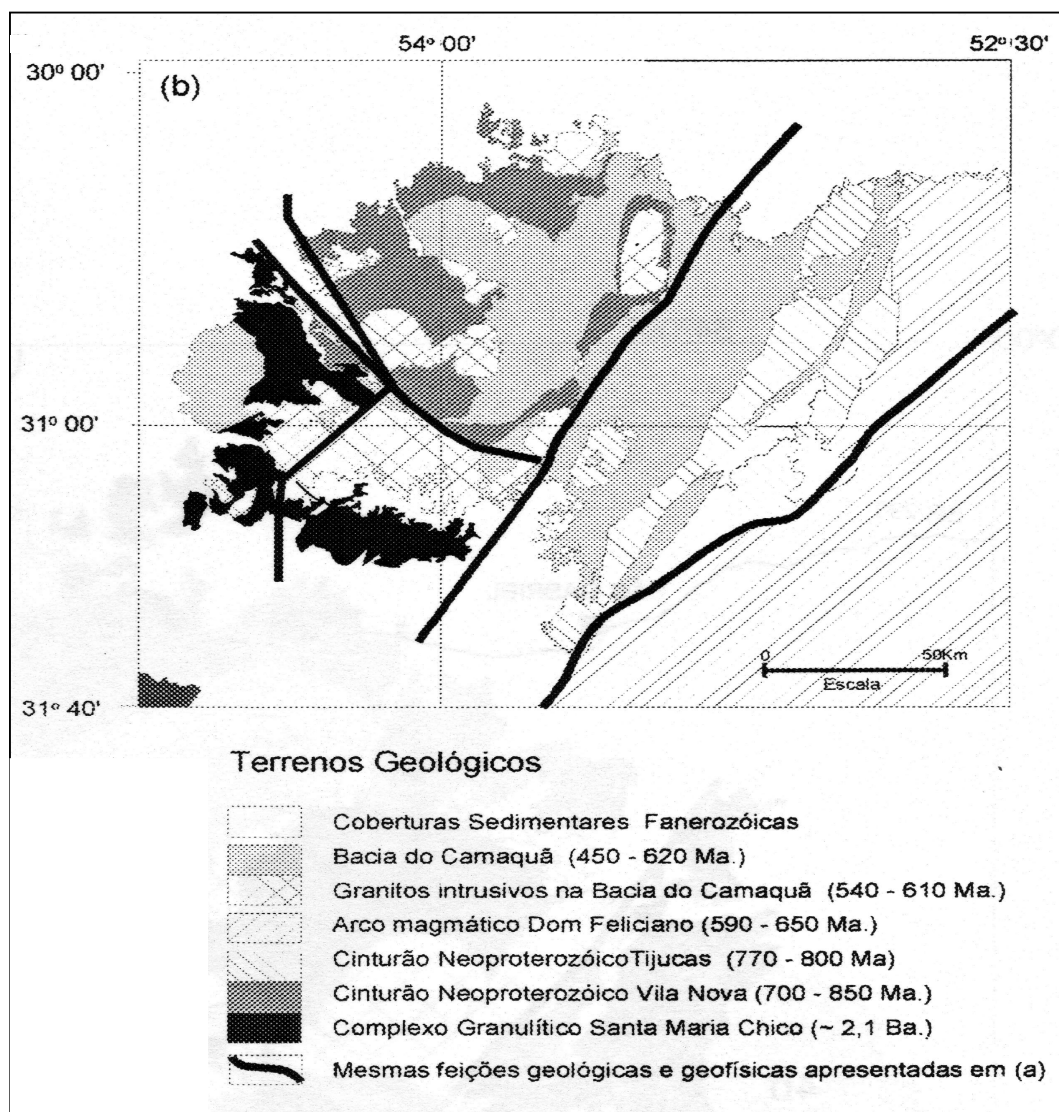


Figura 2.2. Terrenos geológicos e domínios magnéticos propostos por Costa e modificados por Paim *et al.*

(2000).

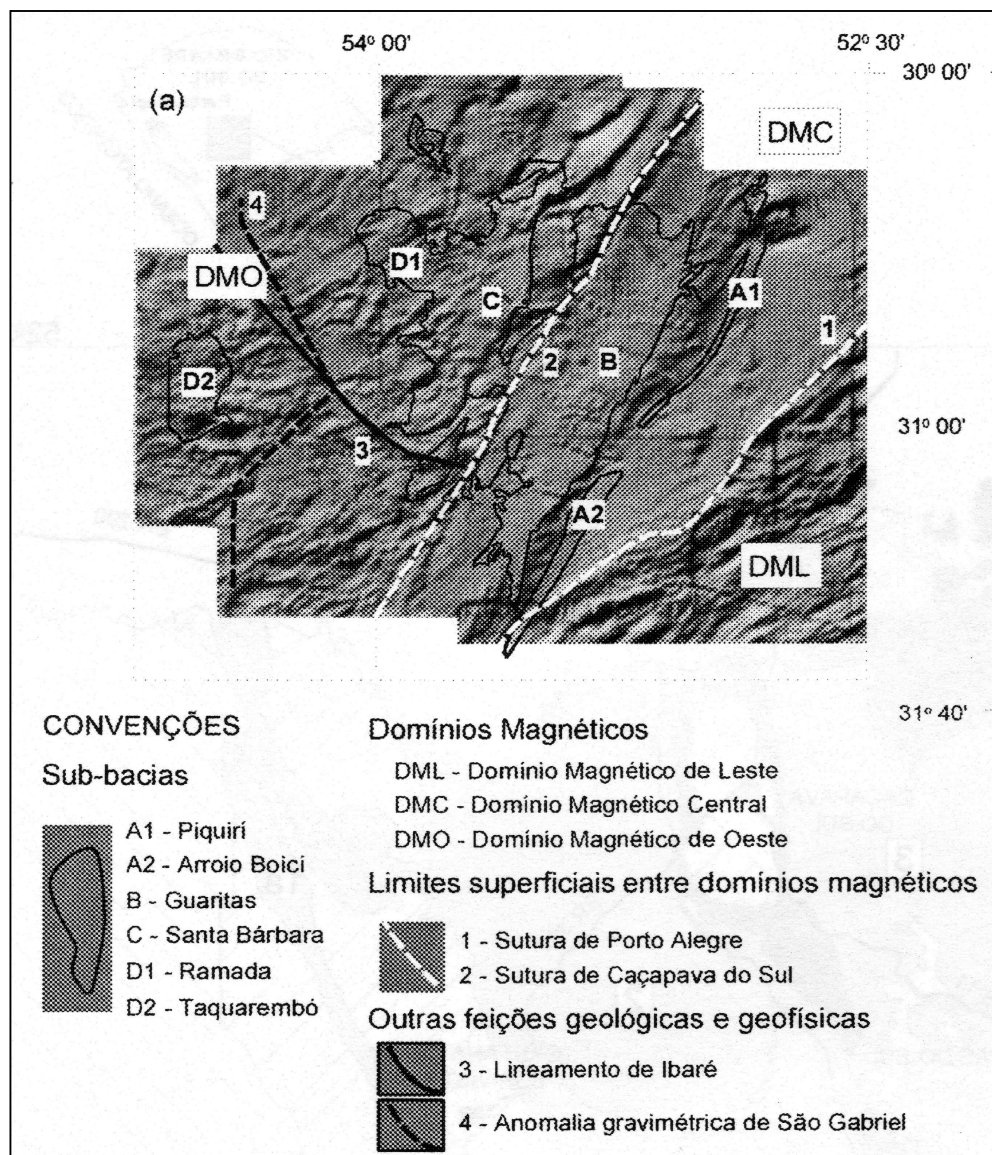


Figura 2.3. Domínios magnéticos propostos por Costa e modificados por Paim *et al.* (2000).

No final de sua deposição houve uma nova movimentação das falhas de empurrão que segmentaram parte desta bacia, formando a Bacia Transcorrente de Retroarco Bom Jardim. As bacias geradas pela compartimentação ficaram parcialmente interligadas e foram controladas pela deformação transcorrente e denominadas de "strike-slip" com caráter continental dominante. Instalaram-se sistemas de leques costeiros conglomeráticos nestas bacias, que evoluíram para depósitos subaquáticos de correntes

de turbidez, associados a vulcanismos básicos a intermediário de caráter shoshonítico. Nesta fase ocorre uma grande geração de falhas inversas de ambiente rúptil a dúctil.

Este sistema evoluiu para um ambiente transtraccional formando a Bacia Acampamento Velho. Neste, ocorre um intenso vulcanismo ácido relacionado a um ambiente extensional orogênico. A sedimentação passou de epiclástica a siliciclástica formada por leques e planícies aluviais e deltaicas entrelaçadas.

A Bacia Santa Bárbara formou-se em um ambiente tectônico extensional pós-orogênico com um sistema de falhas normais que bascularam as camadas do alogrupo Santa Bárbara. No final de sua deposição há o registro de uma deformação transcorrente que afetou todo o registro sedimentar e corresponde a última fase sintranscorrente do Complexo Granítico Caçapava do Sul. (Leite *et al*, 1998).

Ainda no regime transtrativo, houve a reativação das falhas NE-SW e a formação de um hemi-graben com a fração da Bacia Guaritas, gerado em um ambiente tectônico de intraplacas e associado a lavas básicas alcalinas. Seu preenchimento é marcado pela presença de lavas basálticas e depósitos desérticos recobertos por depósitos aluviais e deltaicos discordantes. Este Alogrupo pode representar o rifteamento inicial e a instalação da Bacia do Paraná sobre a plataforma Sul Americana.

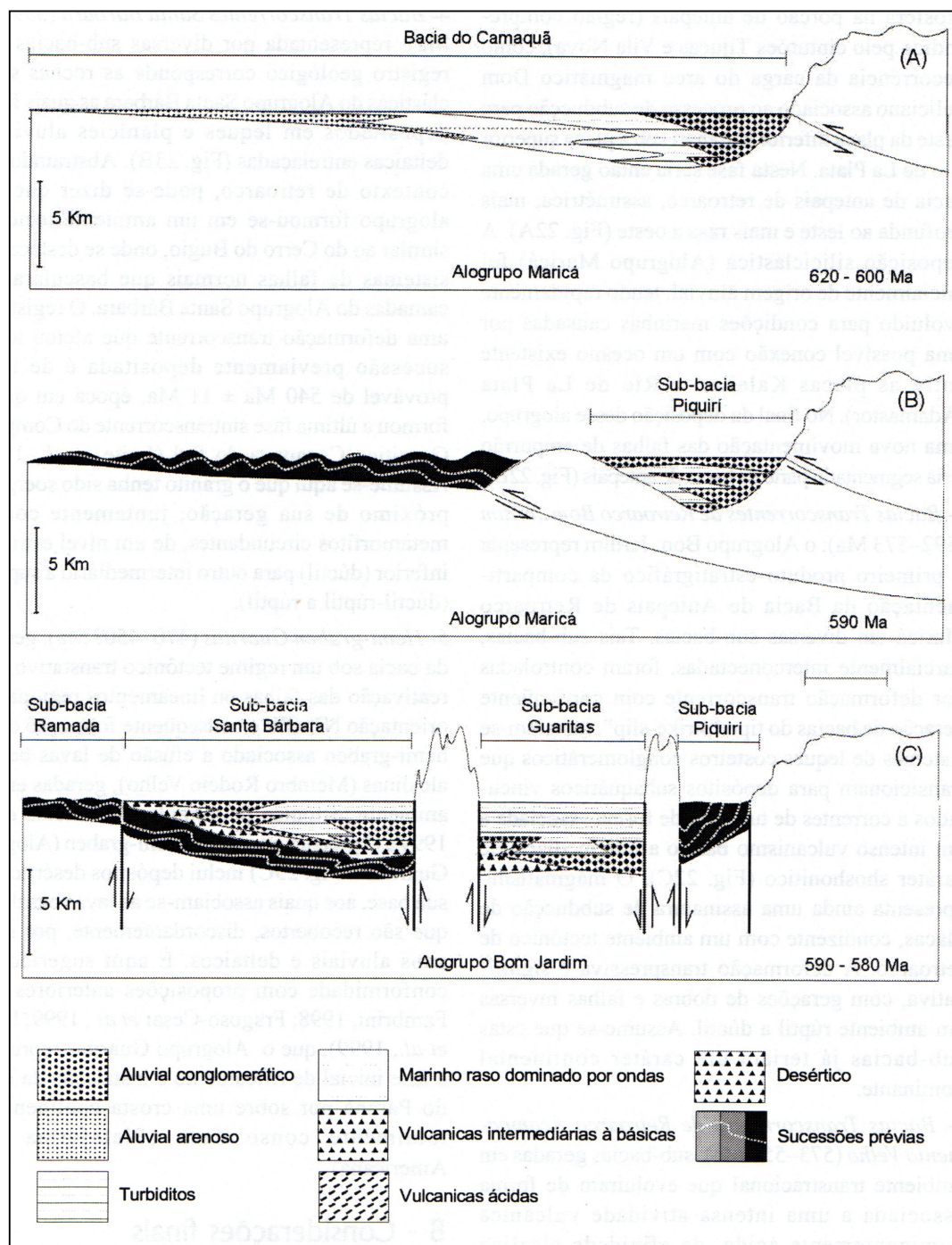


Figura 2.4. Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Camaquã parte 1 (Paim *et al.*, 2000).

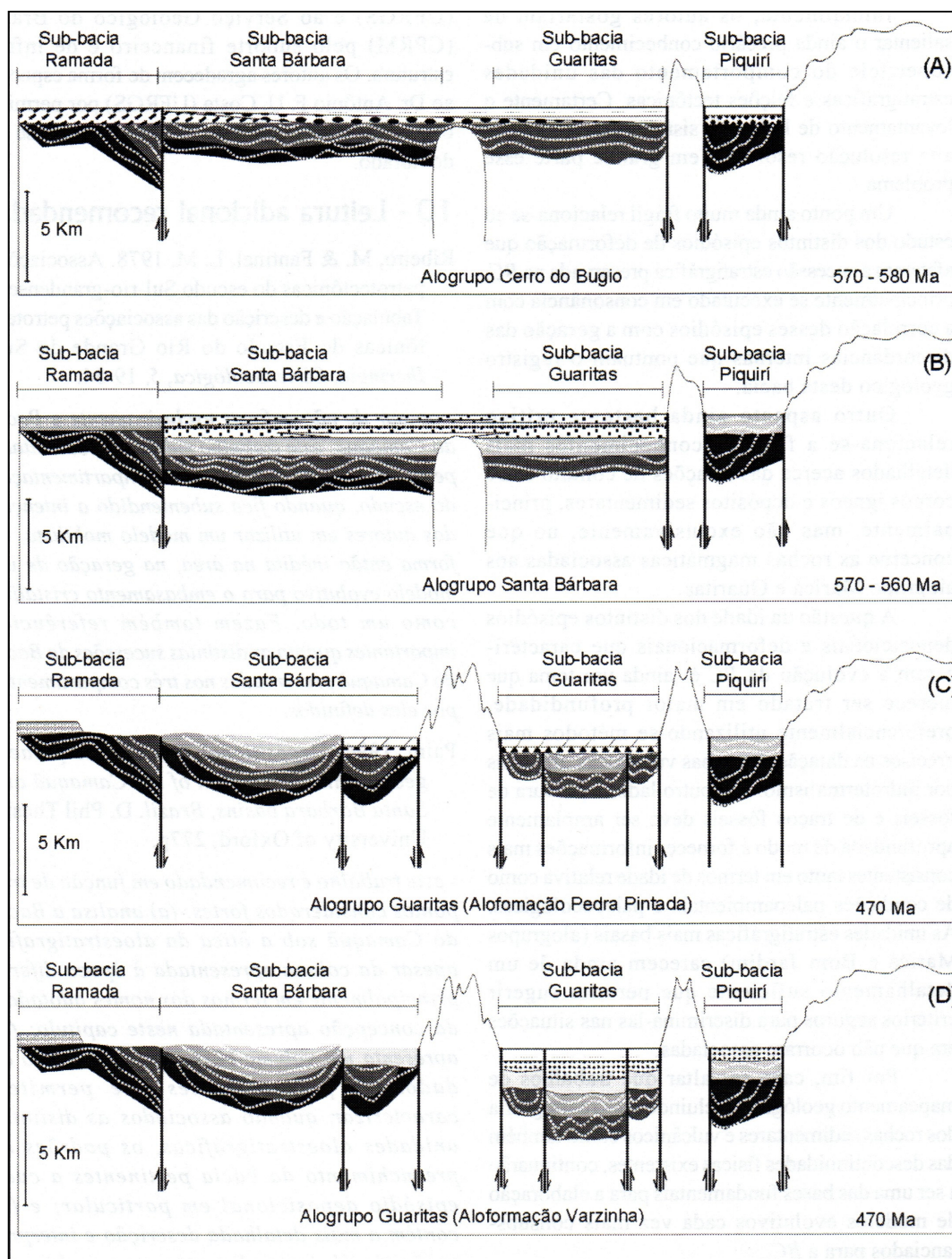


Figura 2.5. Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Camaquã parte 2 (Paim *et al.*, 2000).

2.2. ESTRATIGRAFIA

A bacia do Camaquã é caracterizada como uma bacia de grande aporte sedimentar e subsidência, com espessos pacotes sedimentares e vulcano-sedimentares intercalados por intervalos marcadamente erosionais. Os pacotes sedimentares, predominantemente siliciclásticos, encontram-se intercalados por grandes pacotes vulcânicos, que estão presentes principalmente na base das unidades de maior hierarquia. A bacia é fortemente afetada por eventos deformacionais geradores de um padrão de preenchimento complexo.

Esta bacia foi estudada ao longo de muitos anos, gerando uma variedade de denominações e classificações da área (Tabela 2.1). Desde os primeiros estudos de Carvalho (1932), que a dividia em Série Camaquã e Erupções de Andesitos e Tufos Vulcânicos, até os últimos trabalhos, que por meio da estratigrafia de seqüências a subdividiram em várias pequenas bacias estruturalmente distintas (Paim *et al.*, 2000; Chemale Jr., 2000). A subdivisão que foi aplicada neste trabalho foi a de Paim *et al.*, 2000 (Figura 2.6).

Estudos detalhados de petrografia, geoquímica e geologia isotópica das unidades vulcânicas encontram-se em Lima *et al.* (1995), Lima (2002) e Almeida *et al.* (2005).

| Carvalho (1932) | Fragoso-César et al. (1985) | Leites et al. (1990) | Beckel (1990) | Paim et al. (2000) | |
|--|----------------------------------|---|---|-----------------------|------------------------|
| | | | | Alogrupo | Aloforma ção |
| Série Camaquã | Formação Guaritas | Sequência Vulcano- Sedimentar IV | Formação Santa Bárbara | Guaritas | Valsinha |
| | | | | | Pedra Pintada |
| Erupções de Andesitos e Tufos Vulcânicos | Formação Acampamento Velho | Sequência Vulcanogêni ca III | Formação Crespo | Santa Bárbara | Pedra do Segredo |
| | | | | | Serra dos Lanceiros |
| | Formação Maricá | Sequência Vulcano Sedimentar II | Formação Maricá Formação Arroio dos Nobres | Alosupergrupo Camaquã | Bom Jardim |
| | | | | | Maricá |
| | | Sequência Vulcano Sedimentar I | | | |

Tabela 2.1. Comparação entre várias colunas estratigráficas proposta para a Bacia do Camaquã.

(Modificado de Paim *et al.*, 2000).

2.2.1. ALOGRUPPO MARICÁ:

O Alogrupo Marica é caracterizado como a base da Bacia do Camaquã e possui idade estimada entre 620 e 592Ma. Seu limite inferior está em contato com as rochas do embasamento, ígneas e metamórficas, e tem seu limite superior marcado pelo contato em discordância com o Alogrupo Bom Jardim. Possui cerca de 400m de espessura

(Caravaca, 1998) e delgados níveis vulcânicos de composição cálcico-alcalina que estão presentes na base desta unidade. Na sua porção basal apresenta um sistema aluvial que, parte progrediu para um sistema marinho raso com fácies de tempestitos e turbiditos, e parte interdigitou-se com turbiditos e posteriormente com tempestitos. De acordo com Caravaca (1998), ocorreram quatro eventos deposicionais associados a pulsos tectônicos que geraram os espaços deposicionais, sendo logo depois preenchidos pela sedimentação da bacia. Estruturalmente, apresenta feições tanto rúptil e dúctil-rúptil como falhas inversas de alto e baixo ângulo, falhas transcorrentes e falhas normais, e dobramentos suaves.

2.2.2. ALOGRUPO BOM JARDIM

O Alogrupo Bom Jardim teria se depositado entre 592 e 573 Ma. Composicionalmente é dividido em duas porções. Uma com espessura estimada de 2km, predominantemente de depósitos vulcânicos shonshoníticos relacionados à aquiescência do processo de subducção das placas. Na outra porção, onde predominam os conglomerados aluviais e depósitos arenosos e lamosos associados a sistemas deltáicos. Este alogrupo é caracterizada por falhas inversas de baixo a alto ângulo, falhas transcorrentes e normais, e dobras abertas geradas em ambiente rúptil e dúctil-rúptil.

2.2.3. ALOGRUPO CERRO DO BUGIO

O Alogrupos Cerro do Bugio foi depositado entre 573 e 559Ma. Está limitado por duas discordâncias angulares em seu contato com os alogrupos Bom Jardim e Santa Bárbara. Tem aproximadamente 500m de espessura. Na base é composto por rochas de origem vulcânicas alcalinas, que caracterizaram um ambiente tectônico extensional pós-orogênico, e no topo conglomerados aluviais e ritmitos arenopelíticos e pelitos, representando sistemas aluviais. Este alogrupos com dobras abertas foi afetado por falhas inversas de alto ângulo, falhas normais e transcorrentes geradas em um ambiente rúptil e dúctil-ruptil.

2.2.4. ALOGRUPO SANTA BARBARA

A deposição do Alogrupos Santa Bárbara Sua ocorreu entre 590 e 540Ma. Com aproximadamente 2km de espessura e limitado na base e no topo por discordâncias angulares com o Alogrupos Cerro do Bugio e o Alogrupos Guaritas. A parte inferior desta aloformação está relacionada a um sistema deltaico entrelaçado arenoso de caráter longitudinal e a parte superior relacionada a um sistema deltaico entrelaçado arenoconglomerático de caráter transversal, compreendendo dois conjuntos de parasequências progradacionais em uma bacia lacustrina rasa com estreita ligação com o mar. Ocorre uma pequena presença de traços fósseis. Este alogrupos está basculado a até 90° pela movimentação de falhas normais e direcionais. Apresenta dobras abertas, sendo afetada por falhas inversas de alto ângulo, falhas transcorrentes e normais.

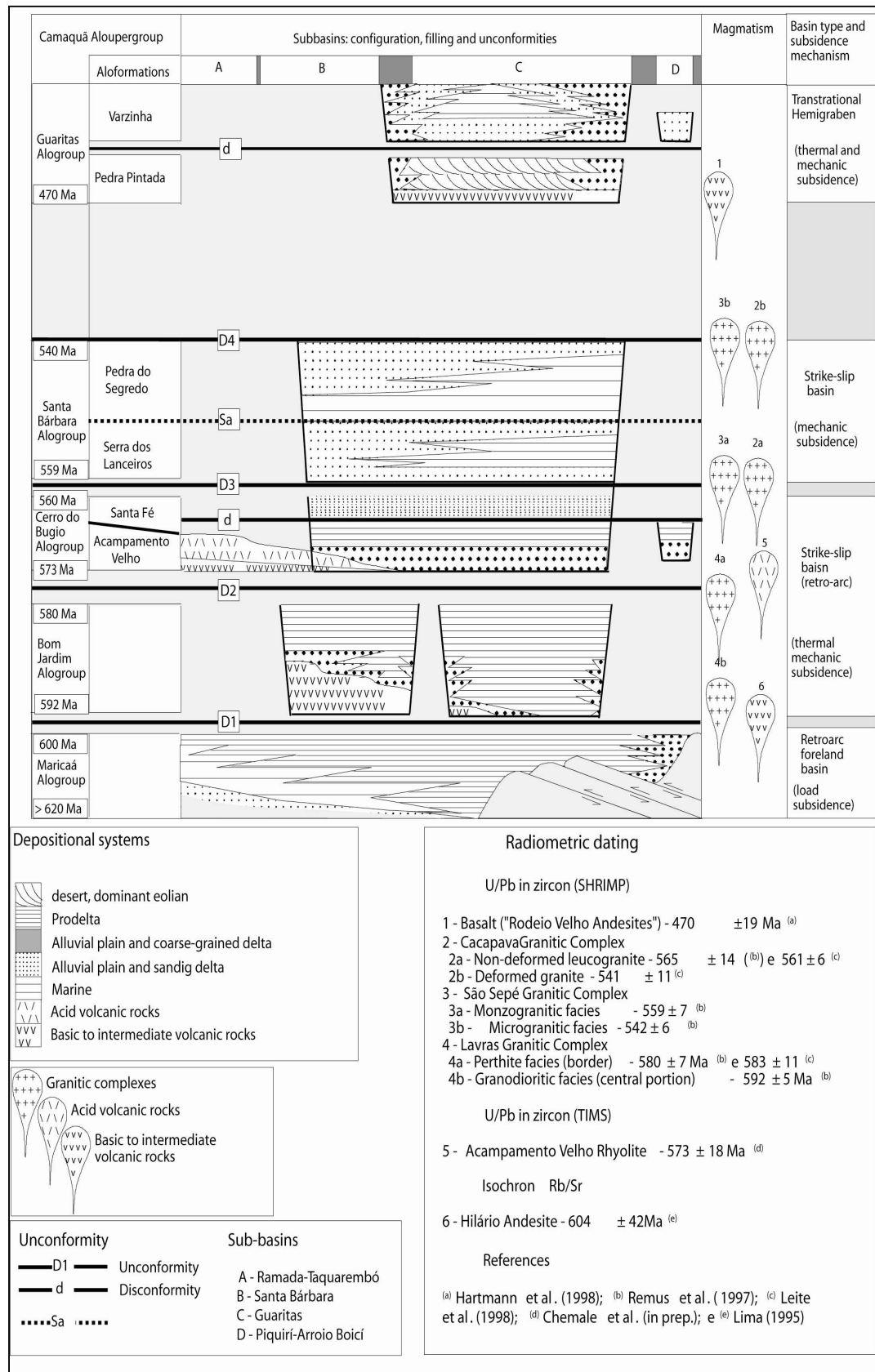


Figura 2.6. Coluna estratigráfica da Bacia do Camaquã de Paim *et al.* (2000).

2.2.5. ALOGRUPO GUARITAS

O Alogrupo Guaritas representa o último estágio deposicional da Bacia do Camaquã, tendo iniciado a sua deposição entorno de 470Ma. Sua espessura é de aproximadamente 800m e está em discordância angular com os outros alogrupos e está dividida em duas aloformações delimitadas por uma discordância erosiva. A face inferior é formada por rochas vulcânicas de composição básica a intermediária e rochas sedimentares de ambiente desértico e a porção superior por fácies aluviais e deltaicas. Este alogrupo é afetado por falhas normais e, secundariamente, por falhas transcorrentes e amplas dobras.

O mapa geológico (Figura 2.7) foi digitalizado e georeferenciado para correlação com os dados do trabalho.

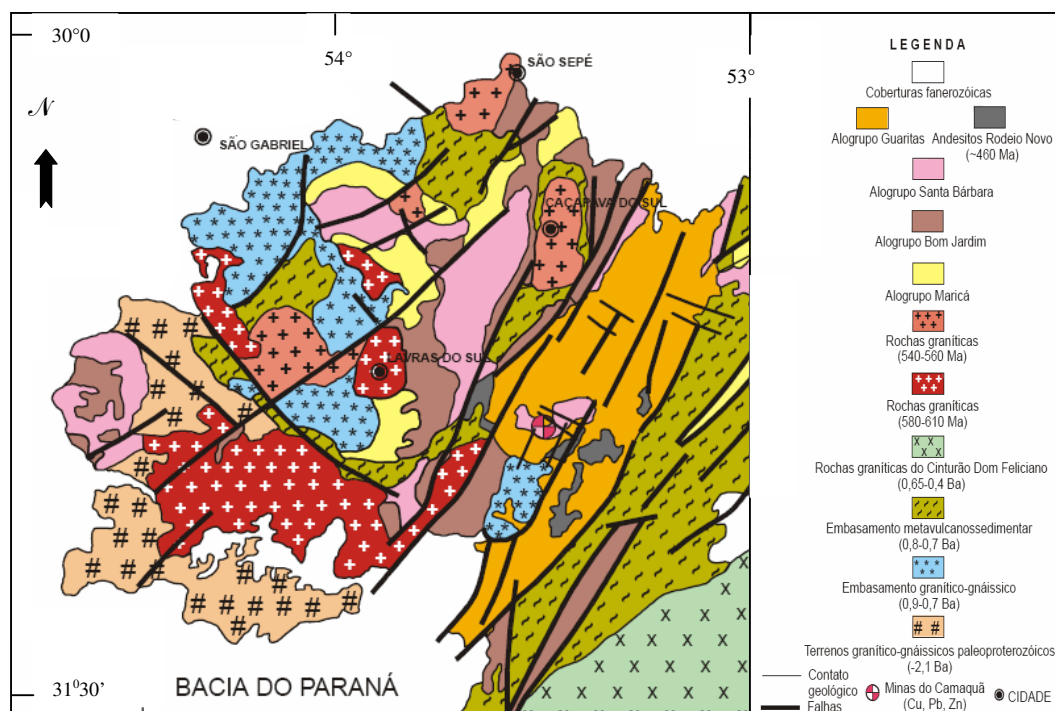


Figura 2.7. Mapa geológico da Bacia do Camaquã baseado em Paim *et. al.*, (2000).

CAPÍTULO III: SENSORIAMENTO REMOTO

3.1. INTRODUÇÃO

O processamento digital de imagens, em sensoriamento remoto, visa identificar, extrair, condensar e realçar as informações de interesse a partir dos dados que compõe a imagem. Estes dados servem de fonte para estudos e levantamentos geológicos e cartográficos, entre outros (Crosta, 1993). O sensoriamento, por si, visa fornecer as ferramentas para facilitar a identificação e extração das informações contidas nas imagens para posterior interpretação.

A imagem de satélite ajuda a quantificar, marcar e traçar as grandes estruturas da região. O trabalho com a imagem, ao destacar as grandes estruturas, amplia o potencial do entendimento, pois permite a visualização “do todo” de uma área. Deve-se ter em consideração que nesta manipulação todo o processo modifica os dados, por isto deve-se ter o cuidado necessário para que esta manipulação não gere uma interpretação errônea com alterações tendenciosas.

O sensoriamento remoto consiste, principalmente, de duas fases principais. A primeira fase consiste na aquisição das imagens brutas. Esta se dá em sobrevôos onde sensores remotos captam as ondas eletromagnéticas refletidas pelo planeta. A leitura é armazenada e passada para imagem raster. A segunda fase é a análise da informação por programas computacionais de geoprocessamento e sua preparação para a interpretação.

Neste geoprocessamento, as imagens brutas são analisadas e manipuladas gerando outras imagens com as informações específicas para serem extraídas e realçadas das imagens. Este processo é necessário, pois a imagem adquire distorções no processo de aquisição do dado, e também porque o olho humano não consegue processar e visualizar todas as informações presentes na imagem.

O objetivo de trabalhar com sensoriamento em imagens de satélite neste trabalho é:

- Vetorizar os lineamentos representativos na imagem para delimitá-los espacialmente e visualizá-los em 2D.
- Realizar a análise estatística da tendência dos lineamentos para definir seus “*trends*” principais através de cartas de isolinhas de tendência.
- Plotar os lineamentos em diagrama de rosetas para definir os *trends* principais e compará-los com as tendências encontradas estatisticamente.
- Integrar os resultados obtidos com as informações estratigráficas e geofísicas da bacia para gerar um modelo esquemático da Bacia do Camaquã.

3.2. METODOLOGIA

Para abranger toda a área em estudo foram utilizadas três imagens em formato digital (órbita/ponto) LANDSAT TM (222/081, 222/082, 223/081) com resolução espacial de 30m e resolução radiométrica de 8 bits. Destas imagens foram trabalhadas uma banda do visível, banda 3, e as bandas da região do infravermelho, bandas 4 e 7. esta composição de bandas foi utilizada pois a banda 3 é a banda do visível mais próxima do infravermelho, as bandas 4 e 7 como bandas do infravermelho, sendo a 4 a mais próxima do visível e a 7 de melhor resposta à geologia.

Inicialmente montou-se um mosaico das imagens (figura 3.1) para toda a área do projeto, e, posteriormente, foi delimitada a área alvo. Neste mosaico de imagens foi composta a RGB das bandas 3, 4 e 7. A visualização das estruturas geológicas e comparações com as bandas já trabalhadas foi obtida pelo mosaico de imagem da banda 7, em níveis de cinza.

O processo das imagens foi feito com o software RSI ENVI 4.0 da SulSoft, como uma ferramenta para manipulação de dados espectrais e na visualização e vetorização dos lineamentos das estruturas do arcabouço de bacias. Este software é destacado por sua interface amigável e sua diversidade de recursos para a manipulação das imagens.

As imagens foram processadas aplicando-se a análise dos principais componentes, que transforma linearmente os dados da imagem para maximizar sua variância em um novo sistema de coordenadas. Para isto, fez-se o cálculo estatístico de rotação e, posteriormente, aplicou-se os principais componentes na composição de bandas 3,4 e 7. Isto gerou uma imagem do Principal Componente (PC) com três bandas. A banda PC1 de composição 347 foi utilizada em escala de cinza para ressaltar as feições estruturais presentes na imagem e vetorização das estruturas (Figura 3.2).

MAPA MOSAICO BANDA 7

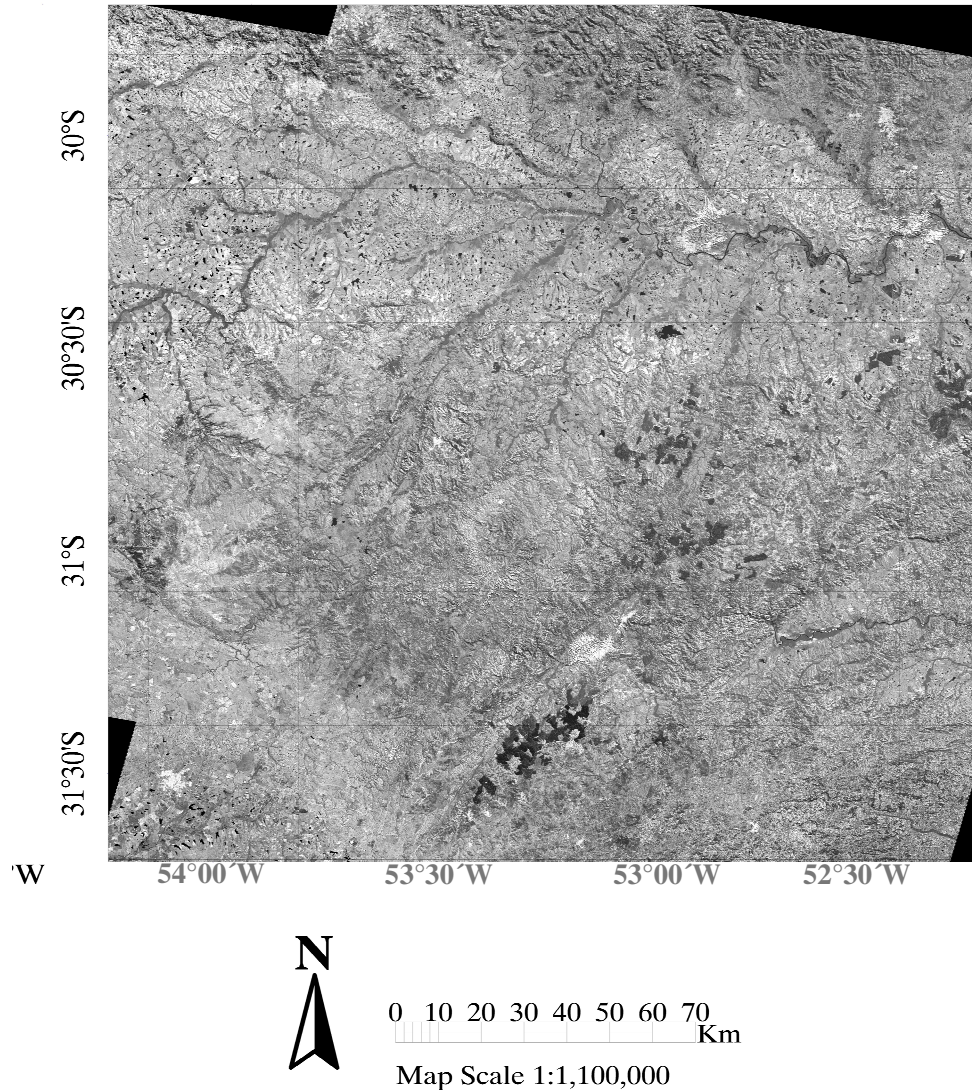


Figura 3.1. Mosaico da banda 7, em tons de cinza, das imagens (órbita /ponto) LANDSAT TM 222/081, 222/082 e 223/081 compondo a área da Bacia do Camaquã.

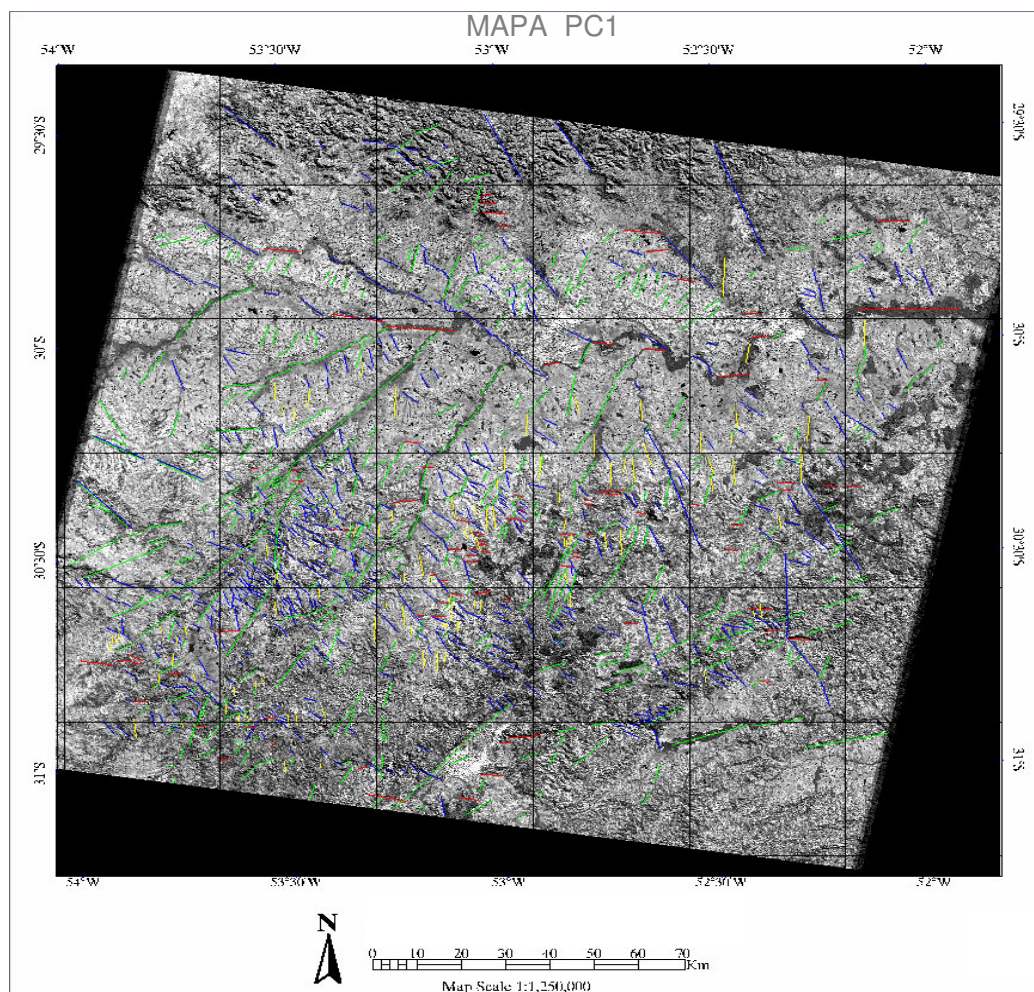


Figura 3.2. Mapa Principais Componentes 1 (PC1) em escala de cinza da imagem (órbita/ponto)
LANDSAT TM 222/081.

Para a vetorização dos lineamentos foi utilizado o conceito de lineamentos de Viera (1998) que define “...vetor de uma estrutura rúptil, o par de coordenada $a(x,y)$ e $b(x,y)$, que determinam o seguimento de reta, correspondente na imagem da carta. Desta forma, o objeto operacional é representado por um vetor.”

Devido à alta memória de processamento necessária para trabalhar uma composição de bandas num mosaico de imagens, as composições de cada imagem

foram processadas e trabalhadas separadamente. As lineações foram vetorizadas a partir de Regiões de Interesse no software Envi em arquivo *.roi*. Em toda a área demarcada de cada imagem foram traçados os lineamentos e gerados arquivos *roi`s* que foram exportados como arquivo vetorial *shapefile*.

Para a limpeza dos vetores duplicados, devido à digitalização na área de recobrimento das imagens, os arquivos foram importados para o software GPS TrackMaker. Neste programa, os vetores das três imagens foram reagrupados e as sobreposições foram “limpas” (Figura 3.3). Este programa também possibilitou a aquisição das medidas de comprimento (y) de cada lineamento e a coordenada inicial $a(x,y)$ e final $b(x,y)$ de cada lineamento para a análise estatística dos vetores.

As lineações foram plotadas em um diagrama de rosetas (StereoNet), para serem observadas as tendências principais de toda a bacia e seu embasamento (Figura 3.3). Por serem lineamentos obtidos a partir de uma imagem eles não contem o atributo “sentido”, sendo assim considerado somente o atributo “direção” de cada lineamento e o comprimento deste. Desta maneira para a leitura do azimute do lineamento foi utilizado como padrão o Norte, sendo somente direcionados os vetores nos quadrantes 1 e 4 do diagrama de rosetas no StereoNet. Os dados apresentam uma orientação preferencial no sentido NE e NNW (Figura 3.4).

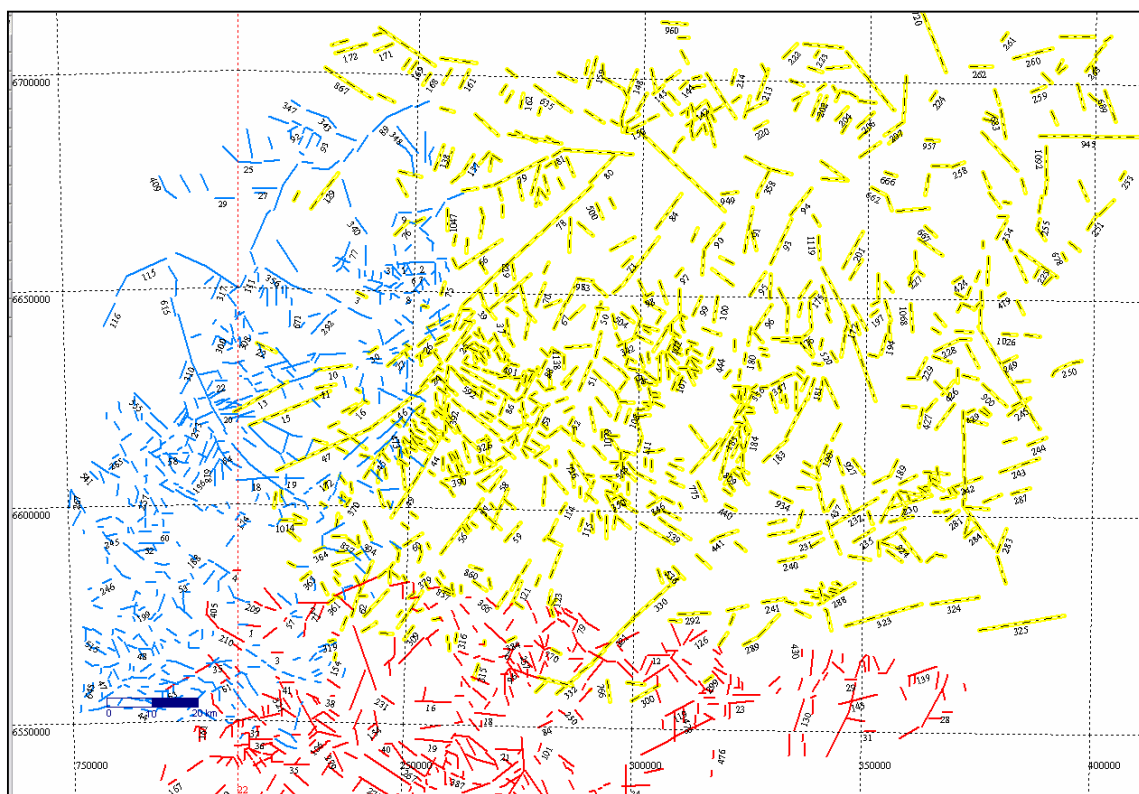


Figura 3.3 Lineamentos obtidos a partir do mosaico das imagens (cada cor indica uma imagem diferente).

A utilização do sensoriamento remoto permite uma visualização geral e pontual dos lineamentos estruturais da área. Essa visualização precisa ser quantificada para extrair de forma detalhada e confiável uma maior quantidade de atributos. Para isto foi feita uma análise estatística dos dados.

Na análise estatística dos lineamentos foi adotado o ponto de vista cartesiano, onde um vetor é um segmento de reta orientado em um plano inclinado, ou seja, nele estão contidos os atributos coordenadas inicial e final do segmento de reta, amplitude e inclinação (azimute).

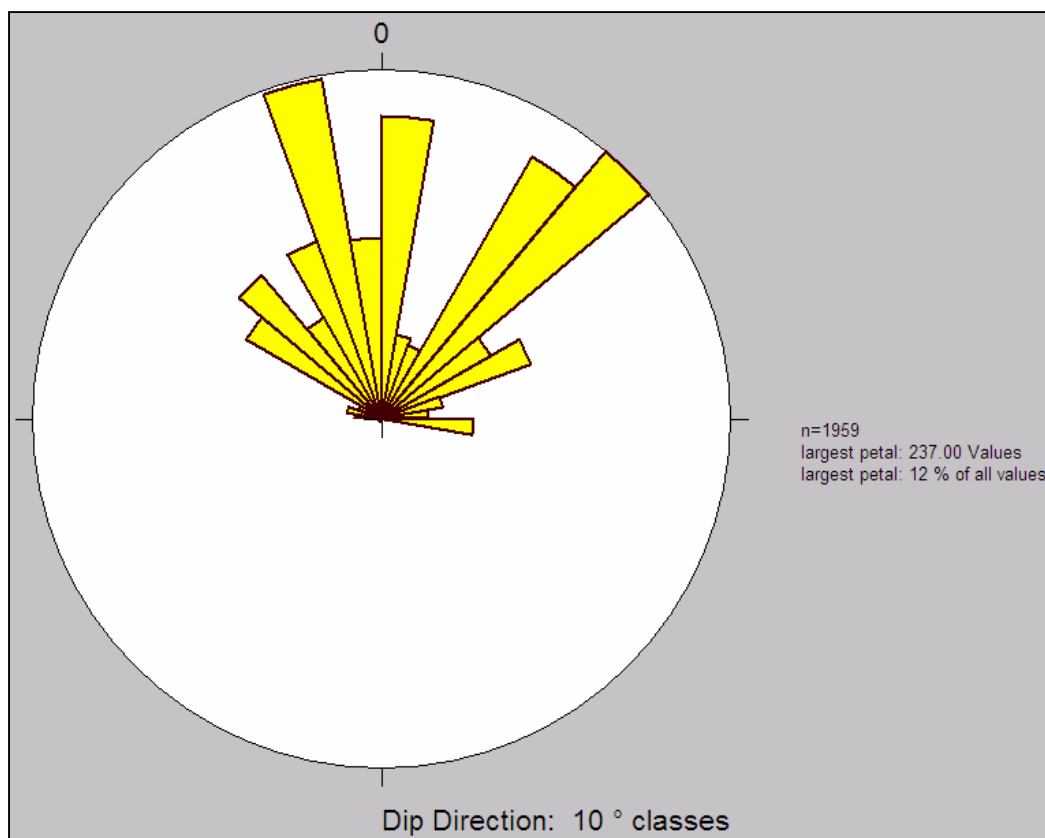


Figura 3.4. Estereograma geral dos lineamentos da área.

A análise estatística de tendência dos lineamentos foi realizada a partir do mapa gerado de estruturas de lineamentos no GPS TrackMaker (figura 3.3), o qual foi subdividido. A região de interesse foi dividida em 25 áreas quadradas, menores de 35 km de lado. Cada região foi novamente subdividida em quatro subáreas quadradas de 17,5 km de lado, no total foram demarcadas 100 áreas. De cada área foi extraído o comprimento total dos lineamentos, o posicionamento de cada quadrícula e foi calculado o somatório dos comprimentos de todos os lineamentos de cada quadrícula. Estes dados foram transferidos para uma tabela e foram utilizados para gerar o mapa de superfície de tendência (Figura 3.5 a) e o mapa de isolinhas de tendência dos lineamentos. (Figura 3.5 b).

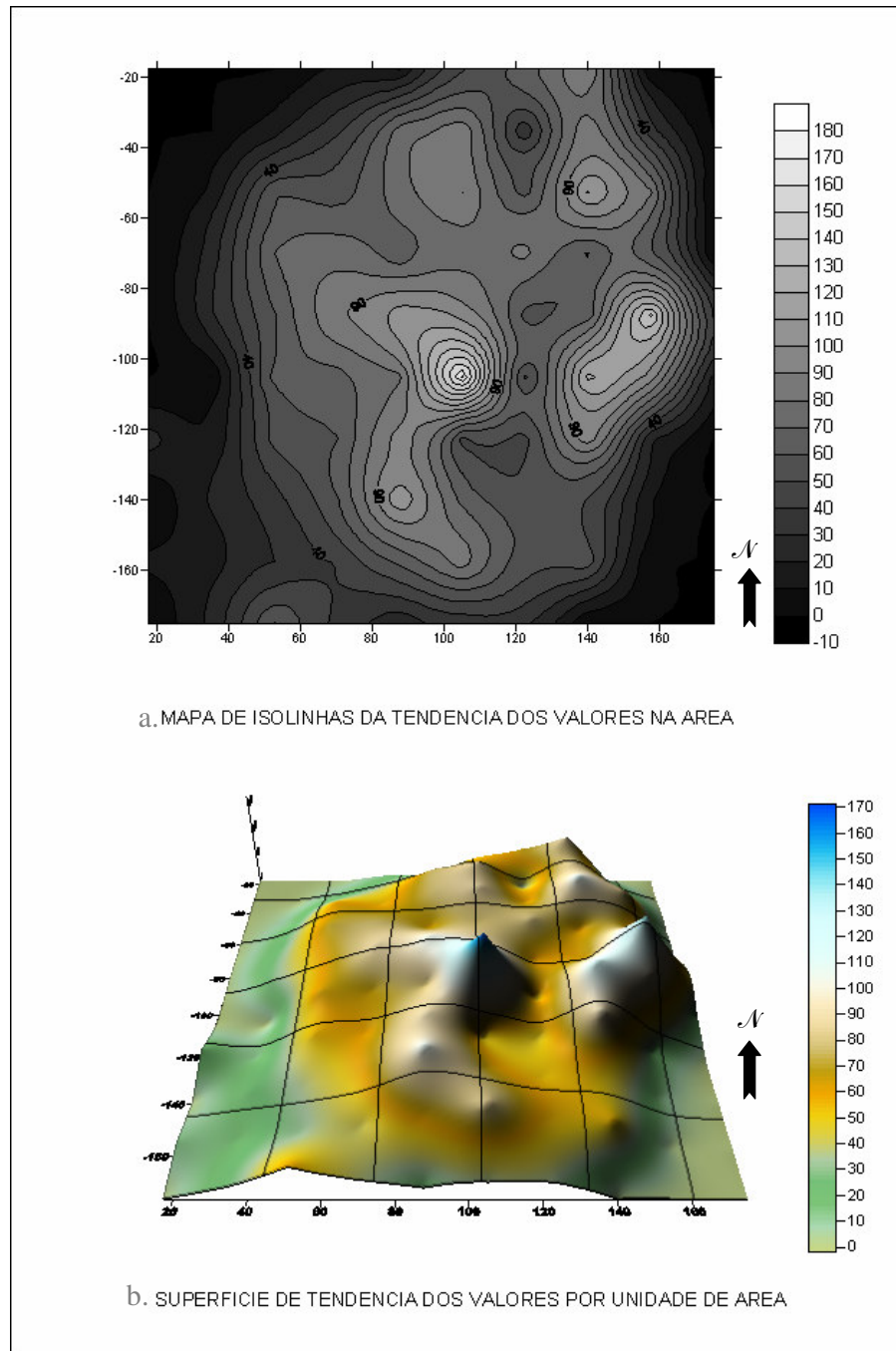


Figura 3.5. a. Mapa de contorno estatístico dos lineamentos; b. Superfície de tendência de lineamentos da área.

Esta série de dados permitiu uma análise mais detalhada dos lineamentos de cada área (Figuras 3.6 e 3.7) e a confecção de fluxogramas de relação entre o comprimento dos lineamentos, quantificação destes e a relação das lineações com o comprimento e o azimute (Viera, 1998).

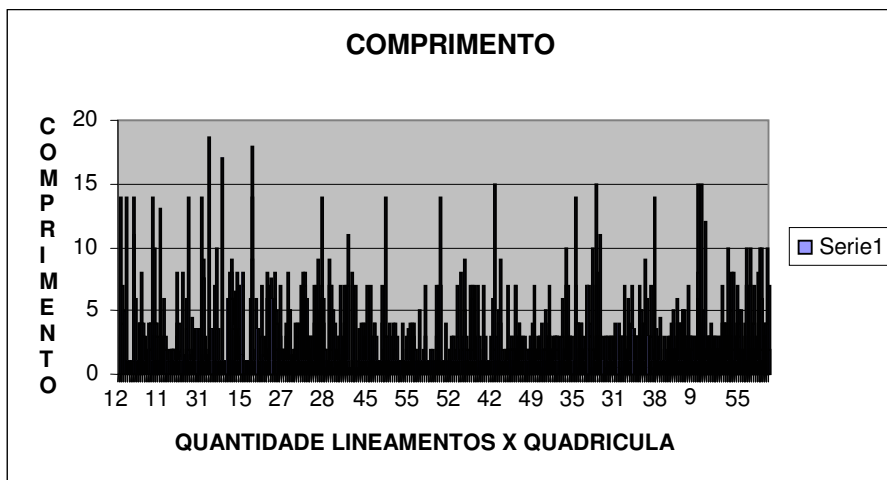


Figura 3.6. Relação dos lineamentos e seu comprimento com o número de dados segundo a posição.

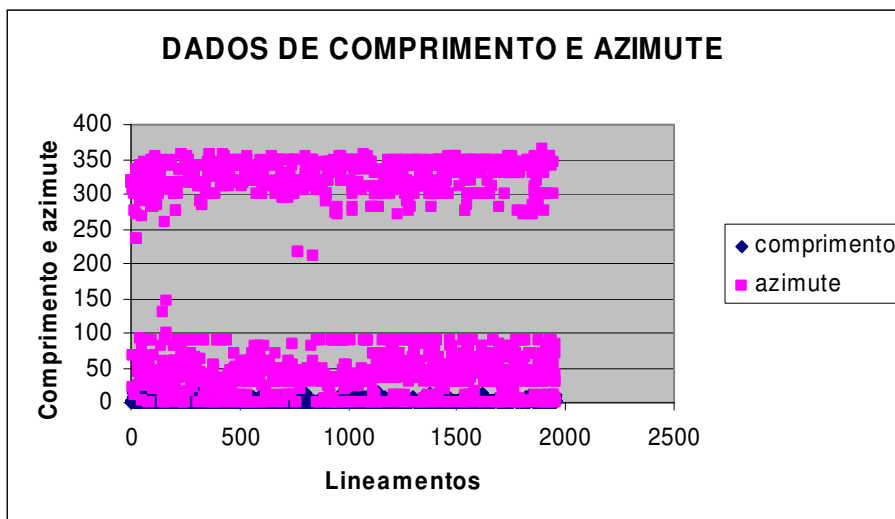


Figura 3.7. Relação dos lineamentos e seu comprimento e azimute.

Para a análise e integração dos dados, demarcaram-se 1959 lineamentos (Figura 3.3), dos quais foram consideradas as seguintes características: comprimento, azimute, continuidade e o posicionamento geográfico dos pontos segundo as coordenadas (NW, SW, NE, SE). Todos os lineamentos foram levados a diagramas de rosas, estabelecendo os domínios estruturais da bacia (Figura 3.8). Estes dados servem para a interpretação estrutural da bacia e integração com os dados adquiridos em geofísica (Capítulo IV).

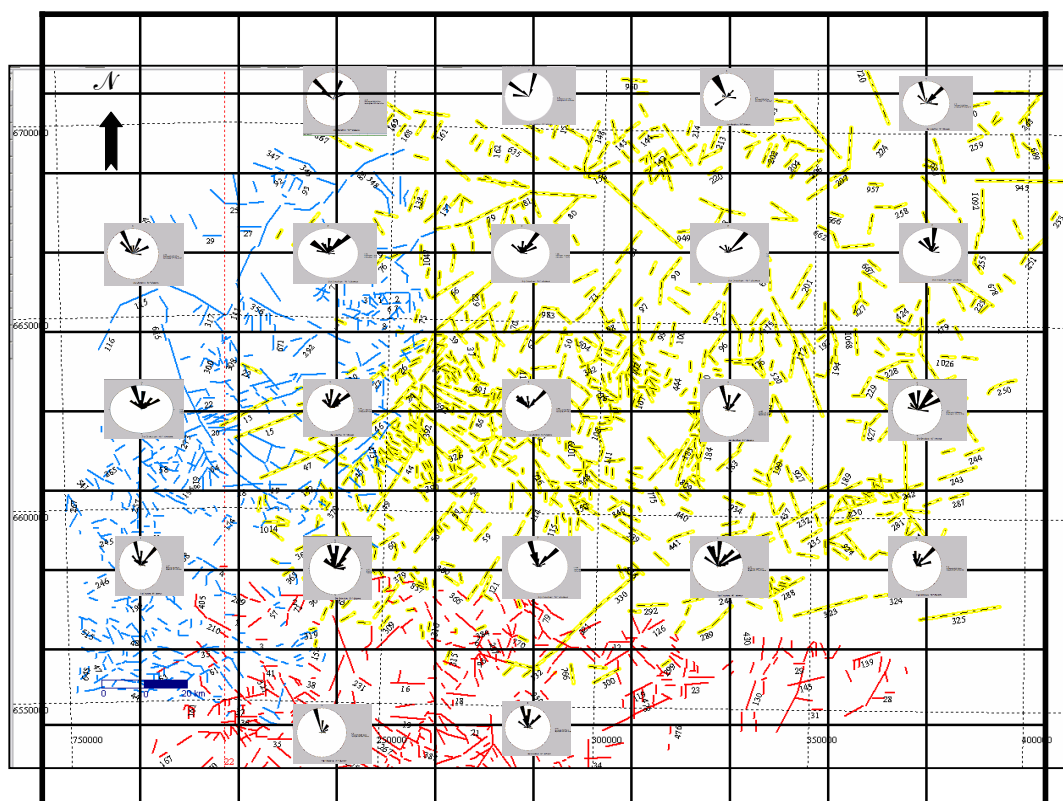


Figura 3.8. Mapa de posicionamento das famílias de lineamentos dominantes.

3.3. INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO

A integração e correlação de dados foram feitas a partir de diferentes métodos. A geologia da Bacia do Camaquã foi definida e integrada aos domínios geofísicos e estruturais, desta maneira o modelo estrutural e evolutivo da bacia pode ser analisado e avaliado.

Utilizando o modelo de Costa (1997) foram plotados os lineamentos magnéticos e estruturais do Escudo Sul-rio-grandense sobre os mapas e imagens. Esta sobreposição foi elaborada para a comparação entre as estruturas relatadas na bibliografia e as estruturas observadas nos mapas gerados.

Com a observação do mapa de densidade de lineamentos (Figura 3.9), as linhas roxas indicam as principais áreas e direções de concentração de lineamentos. Nota-se que no Domínio Magnético Central, entre a Sutura de Caçapava e a Sutura de Porto Alegre, as principais concentrações de densidade dos lineamentos estão paralelas e com direção NE, marcando principalmente a zona de sutura da Dorsal de Canguçu. No Domínio Magnético Oeste os principais *trends* de concentrações de lineamentos estão alinhados paralelos ao Lineamento de Ibaré e à Anomalia Gravimétrica de São Gabriel, formando vários altos de concentrações paralelos que marcam os alinhamentos estruturais gravimétricos com direcional para NW. Na figura estão marcadas as concentrações de lineamentos nas áreas sobrepostas a Anomalia Gravimétrica Central, Anomalia Gravimétrica da Dorsal de canguçu e os alinhamentos gravimétricos estruturais (NW) associados à Anomalia Gravimétrica Central.

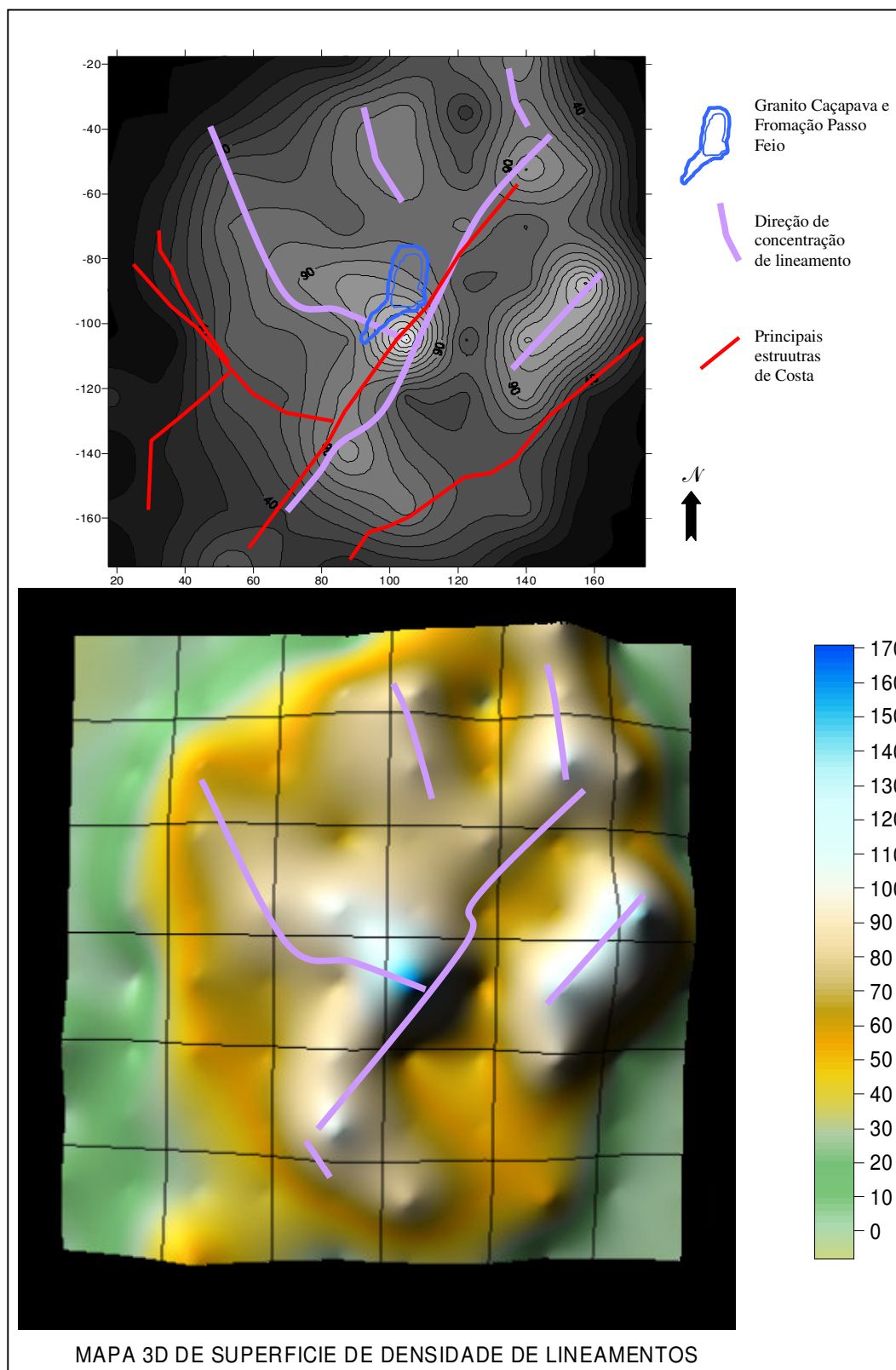


Figura 3.9. Mapas de densidade de lineamentos com as direcionais de concentração dos lineamentos correlacionadas as principais estruturas de Costa *et al.* (1997).

Os principais domínios estruturais foram estabelecidos a partir dos valores de lineamentos adquiridos em sensoriamento remoto (Figura 3.10). Isto possibilitou a visualização da compartimentação da bacia, a relação desta com a encaixante e a evolução tectônica.

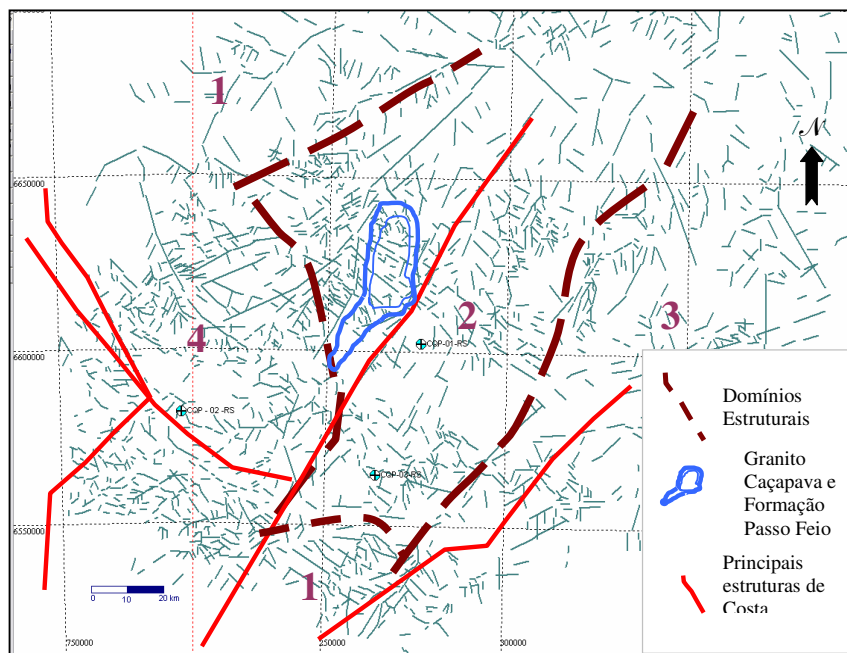


Figura 3.10 Principais áreas de *trends* delimitados a partir dos lineamentos e correlacionados as principais estruturas de Costa *et al.* (1997).

Os blocos crustais do Escudo Sul-rio-grandense são definidos por importantes estruturas da Orogenia Brasileira, como a Dorsal de Canguçu e a Sutura de Ibaré (Fernandes *et al.*, 1992; Chemale Jr., 2000). Associadas a estas zonas de suturas são reconhecidas anomalias magnéticas e gravimétricas (Costa, 1997). Estas estruturas foram ativadas durante todo o Fanerozóico (Borba *et al.*, 2002), cujas estruturas NW-striking foram ativas desde o Cretáceo deformando também os depósitos do Triássico.

A falha de Ibaré é reconhecida como a estrutura do embasamento paralela à estrutura do Cinturão Damara-Kaoko-Dom Feliciano, que representa as estruturas *rifte*

do Neoproterozóico (Zerfass *et al.*, 2005). A influência da tectônica que afetou os terrenos Pré-Cambrianos é ressaltada como uma série de lineamentos dominantes (NNE e NW). Durante a extensão no Triássico na América do Sul, um sistema de falha anastomosada de direção N20°E-S20°W desenvolveu-se das falhas extensionais (Zerfass *et al.*, 2005).

Durante a orogênese Brasileira/Pan-Africana, que ocorreu entre 675 e 480 Ma. (Porada 1979, Miller 1983), desenvolve-se o cinturão Dom Feliciano, em decorrência ao fechamento do oceano Adamastor e a colisão continental dos continentes Kalahari e Rio de La Plata (Porada, 1979; Fernandes *et al.*, 1992; Chemale Jr., 2000).

No sensoriamento remoto observa-se que os lineamentos não correspondem a uma reta contínua, eles são obtidos a partir de uma série de lineamentos menores, dos quais se obtêm os domínios. Com isto, permite-se estabelecer pelo menos quatro domínios estruturais. O domínio 1 com os *trends* de lineamentos de direção preferencial noroeste (NW) que aparecem preferencialmente norte-noroeste e sudoeste da região estudada, são as áreas onde aflora a Bacia do Paraná. Na parte central, domínio 2, região da Bacia do Camaquã, nota-se uma direção preferencial para nordeste, marcado pela presença de lineamentos escalonados em *echelon*, e um domínio menor para noroeste. Na porção leste, domínio 3, não ocorre uma direção preferencial de lineamentos, contudo aparece fortemente marcada a direcional norte. Nesta área aflora o escudo. No quadrante 4 não ocorre um domínio preferencial, tendo os dois principais *trends* concomitantes marcando as estruturas do embasamento onde aflora o escudo, e também a influência da Falha de Ibaré com estruturas NW e a Sutura de Caçapava sobre os Lineamentos NE .

CAPITULO IV: GEOFÍSICA

4.1. INTRODUÇÃO

Os métodos geofísicos para a exploração são divididos em potenciais e sísmicos. Os métodos potenciais medem variações na gravidade e nos campos magnéticos para predizer a espessura das camadas geológicas da subsuperfície.

Desde o princípio da exploração geofísica por hidrocarbonetos em 1920, os métodos que usam magnetismo, gravidade e os princípios sísmicos são a base para praticamente todo o trabalho geofísico até hoje. Muitos outros métodos têm sido propostos, mas nenhum tem chegado a ser usado tão extensamente no campo como os três métodos principais (Dobrin & Savit, 1988).

Com os métodos geofísicos podem ser investigadas zonas sem acesso algum, pelos quais se pode obter um perfil do subsolo. A informação assim obtida pode ser usada para estudos geológicos, sismológicos ou para exploração.

4.2. GEOFÍSICA DE POÇO

4.2.1. INTRODUÇÃO

A descrição das rochas enquanto seu tipo, origem e ambiente deposicional é geralmente chamada de descrição de fácies. Para determinar as fácies através do registro de poços devemos ter um preciso conhecimento sobre as rochas. Através da descrição do registro dos perfis de poço podemos obter indícios da rocha em subsuperfície, potenciais reservatórios, sua qualidade e extensão lateral.

As curvas dos registros elétricos, por exemplo, Potencial Espontâneo (SP) e Raio Gama (GR) podem ser facilmente interpretadas em seqüências convencionais. Muitas das análises de registros podem ser baseados na sua interpretação e comparação, a partir de modelos representativos. Os métodos incluem análise da forma da curva, definição da estratigrafia e litologia, seguidos de um perfil interpretativo final.

Dentro deste trabalho serão detalhados três poços na Bacia do Camaquã (Figura 4.1 e 4.2), sendo interpretados os registros de GR, Resistividade (R), SP e descrição litológica. Como estes poços não se encontram em formato digital foi necessária a digitalização destes dados para sua integração com os outros métodos.

Para a integração com os dados de gravimetria também serão analisadas as variações de densidade das amostras em relação às profundidades retiradas dos poços CQP-01-RS e CQP-02-RS da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

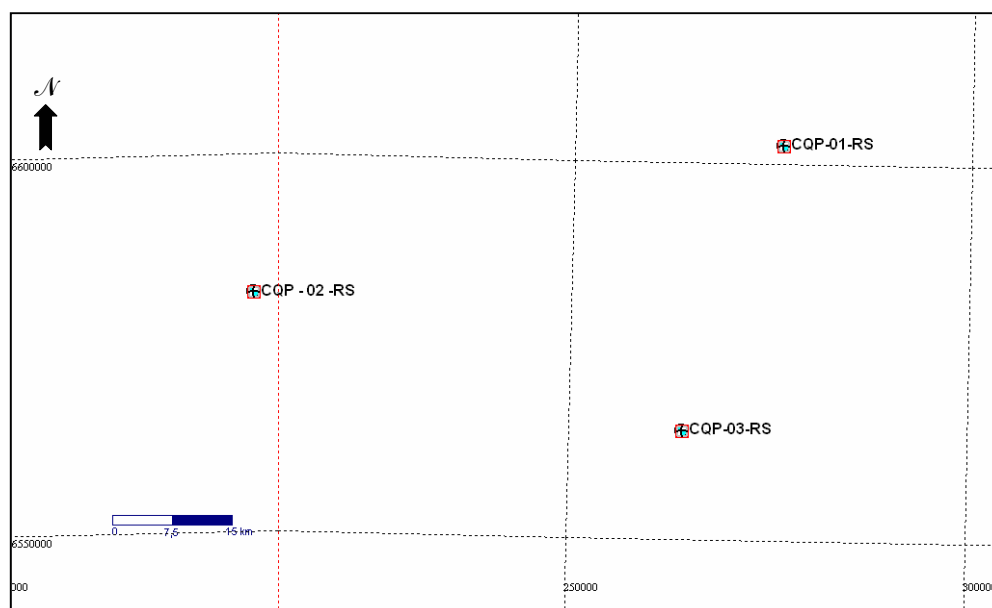


Figura 4.1: Localização dos poços da CPRM.

4.2.2. METODOLOGIA

A estratigrafia de seqüências é uma ferramenta utilizada para descrever o ambiente deposicional e para a reconstrução paleogeográfica da área em estudo (Crain, 2003). A estratigrafia é baseada na descrição de associações de fácies.

A análise e a interpretação de perfis de poços são muito utilizadas devido às suas capacidades de detecção e resolução em profundidade, gerando uma série de dados que não podem ser visualizados ou adquiridos por outro método, com este alcance.

A interpretação de perfis de poços inclui os seguintes critérios:

- interpretação baseada na evidência do poço;
- não se tem uma solução única;
- a interpretação se baseia também na comparação com outros métodos ou evidências;

- características comuns nas curvas servem como padrões estratigráficos.

A análise de cada um dos perfis dos poços continha uma suíte de curvas com diversas litofácies. Na análise preliminar se procurou relacionar a assinatura de cada uma das curvas com padrões definidos. Em seguida foram geradas secções estratigráficas com o intuito de correlacionar diferentes corpos.

Os métodos geofísicos de perfilagem de poço requerem que os dados analisados sejam manipulados e editados para que possam ser calibrados, para isto é necessário que estes dados estejam em formato digital.

Utilizou-se para a digitalização e visualização dos poços a ferramenta MatLab, onde foi desenhado um algoritmo para edição, visualização e correlação. Este processo se divide em etapas de digitalização e vetorização para a representação de cada um dos perfis. O perfil do poço foi editado e digitalizado como se fosse um registro Ascii para sua interpretação e simulação dos dados, sendo produzido uma tabela no software Excel. Posteriormente os dados foram exportados ao software Matlab para simular um sinal (tipo LAS) com os diferentes registros do poço (GR, SP, ρ e R), sendo assim editados para sua interpretação. A resolução dada pode ser definida pelo intervalo na seqüência de pontos no perfil, neste caso, as leituras foram a cada 10m, devido à profundidade. Os valores correspondentes às curvas dos diferentes registros foram graficados num mesmo *display* (Figura 4.3, 4.4 e 4.5).

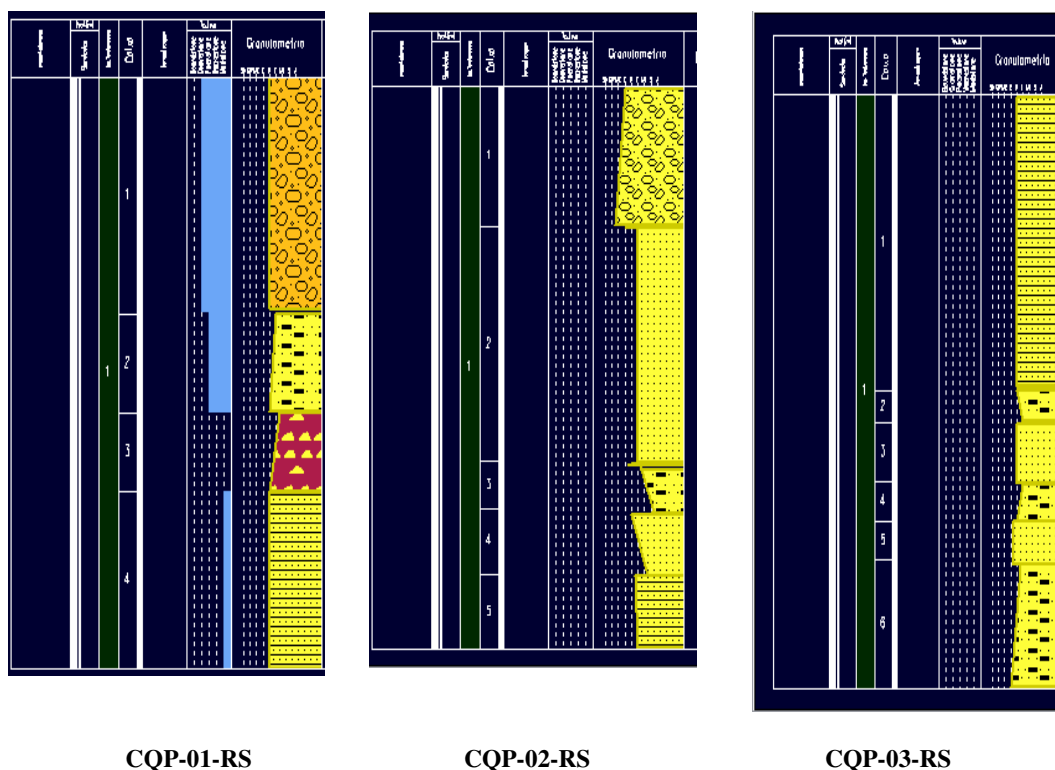


Figura 4.2. Descrição da litologia dada para cada um dos furos: CQP-01-RS (esquerda), CQP-02-RS (meio) e CQP-03-RS (direita).

4.2.2.1. Densidade das rochas

No estudo de modelagem gravimétrica foram utilizadas medidas de densidade da rocha encaixante e dos sedimentos Eopaleozoicos do trabalho Costa *et al.* (1996), cujos valores referentes à densidade da encaixante estão agrupados na Tabela 4.1.

Para os sedimentos do Eo-Paleozoicos da bacia, foi feita a medição da densidade em relação à profundidade para o poço CQP-01-RS e CQP-02-RS (Tabela 4.2).

| Unidade | Numero de Amostras | Densidade (kg/m³) |
|--|---------------------------|-------------------------------------|
| <i>Sul da bacia:</i> | | |
| <i>Gnaisses e anfibolitos pré-cambrianos</i> | 8 | 2.740 |
| <i>Oeste da bacia</i> | | |
| <i>Cinturão metavulcano-sedimentar (Complexo Passo Feio)</i> | 4 | 2.760 |
| <i>Sequência Vulcano-sedimentar (Bom Jardim) *</i> | 6 | 2.700 |
| <i>Leste da bacia</i> | | |
| <i>Gnaisse Encantadas</i> | 12 | 2.680 |

Tabela 4.1. Densidades das rochas do embasamento

(* eo-paleozóicas com vulcânicas andesíticas - Andesito Hilário -dominantes).

| Unidade | Número de amostras | Densidade (g/cm³) |
|------------------------------------|-------------------------------|---|
| <i>Fonte PLGB/CPRM</i> | | |
| <i>Maricá</i> | 11 | 2.600 |
| <i>Acampamento Velho</i> | 04 | 2.530 |
| <i>Santa Bárbara/Guaritas</i> | 06 | 2.570 |
| <i>Furos de Sondagem **</i> | | |
| <i>CPQ-01</i> | 19 | 2.506 |
| <i>CPQ-02</i> | 21 | 2.615 |

Tabela 4.2. Densidades dos sedimentos eo-paleozóicos (** Bom Jardim com predomínio de sedimentos :
 conglomerados, arenitos conglomeráticos, etc; junto à Mina do Camaquã).

Observa-se, com o gráfico de densidade em função da profundidade, que a densidade no furo CPQ-01-RS aumenta com a profundidade. Esta variação é função de $d = 0,36 \times \text{prof} + 2,22$, já no furo CPQ-02-RS os valores são dados em função $d = 0,01 \times \text{prof} + 2,45$ (Figura 4.3).

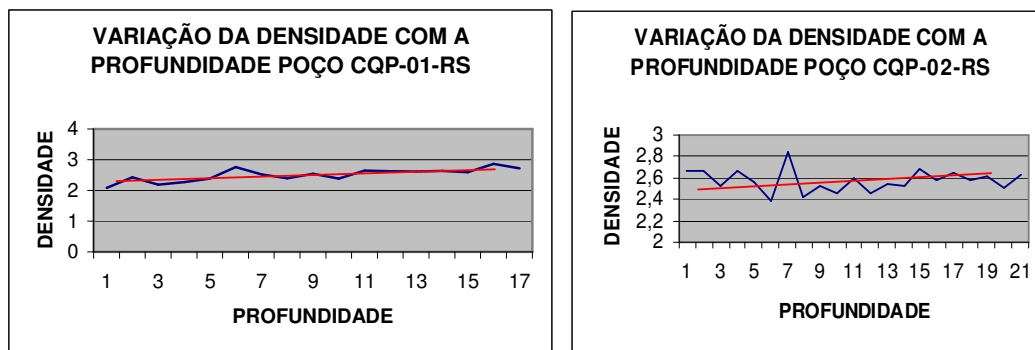


Figura 4.3. Variação de densidade com a profundidade para os poços CQP-01-RS e CQP-02-RS.

4.2.2.2. Digitalização e edição dos registros de poço

As curvas de potencial espontâneo, raio gama, resistividade, registro de densidade e gradiente de densidade dos poços CQP-01-RS, CQP-02-RS e CQP-03-RS, foram digitalizadas e editadas para sua respectiva visualização e correlação (Figura 4.4 - 4.6).

Mediante a assinatura dos registros pode-se estabelecer uma descrição geral das fácies, segundo o grau de deformação. Esta assembléia pode ser interpretada como uma seqüência deposicional e classificada como Seqüência Depositional (SD) ou Seqüência Deformacional (SF).

As curvas digitalizadas de cada poço correspondem aos registros RG (Vermelho), SP (azul), Resistividade (verde), densidade e gradiente de densidade (Pretos). Diferentes assinaturas estabelecem características para cada *log*. Assinaturas granocrescentes (*fining upward*) demarcam limites abruptos e transicionais, acirradas ou em forma de

sino (*bell shaped*), são típicas de ambientes dominados por areias em unidades transgressivas (*RG log*). No caso do registro SP a forma acirrada, algo cilíndrica, pode associar-se a limites abruptos na camada superior e inferior e a forma cilíndrica acirrada a areias de canal ou de turbiditos (Crain, 2003).

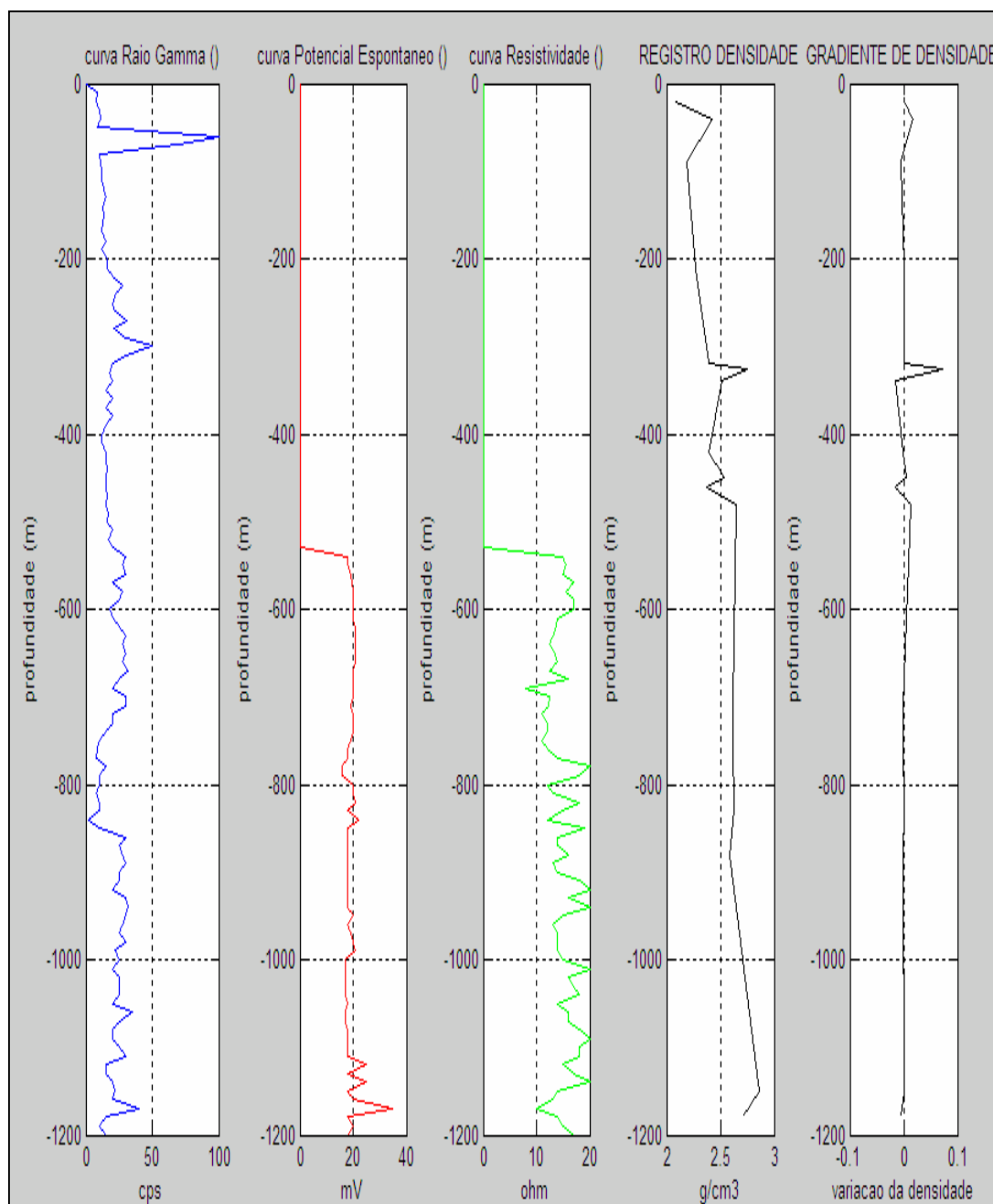


Figura 4.4. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção CQP-01-RS.

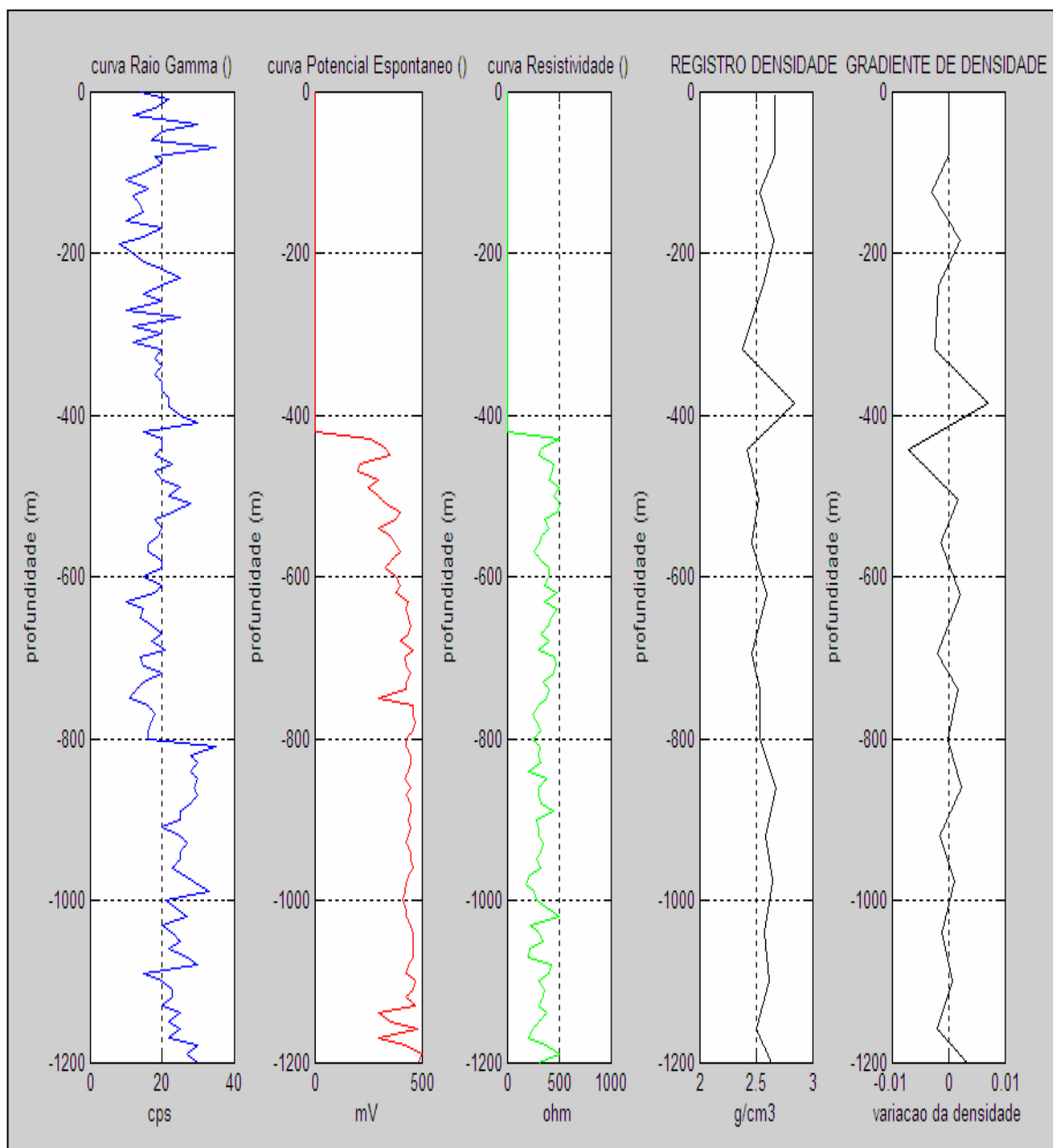


Figura 4.5. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção CQP-02-RS.

No processo de interpretação, primeiro foram marcados os eventos mais relevantes e analisadas as diferentes curvas obtidas do registro de poço junto com a densidade.

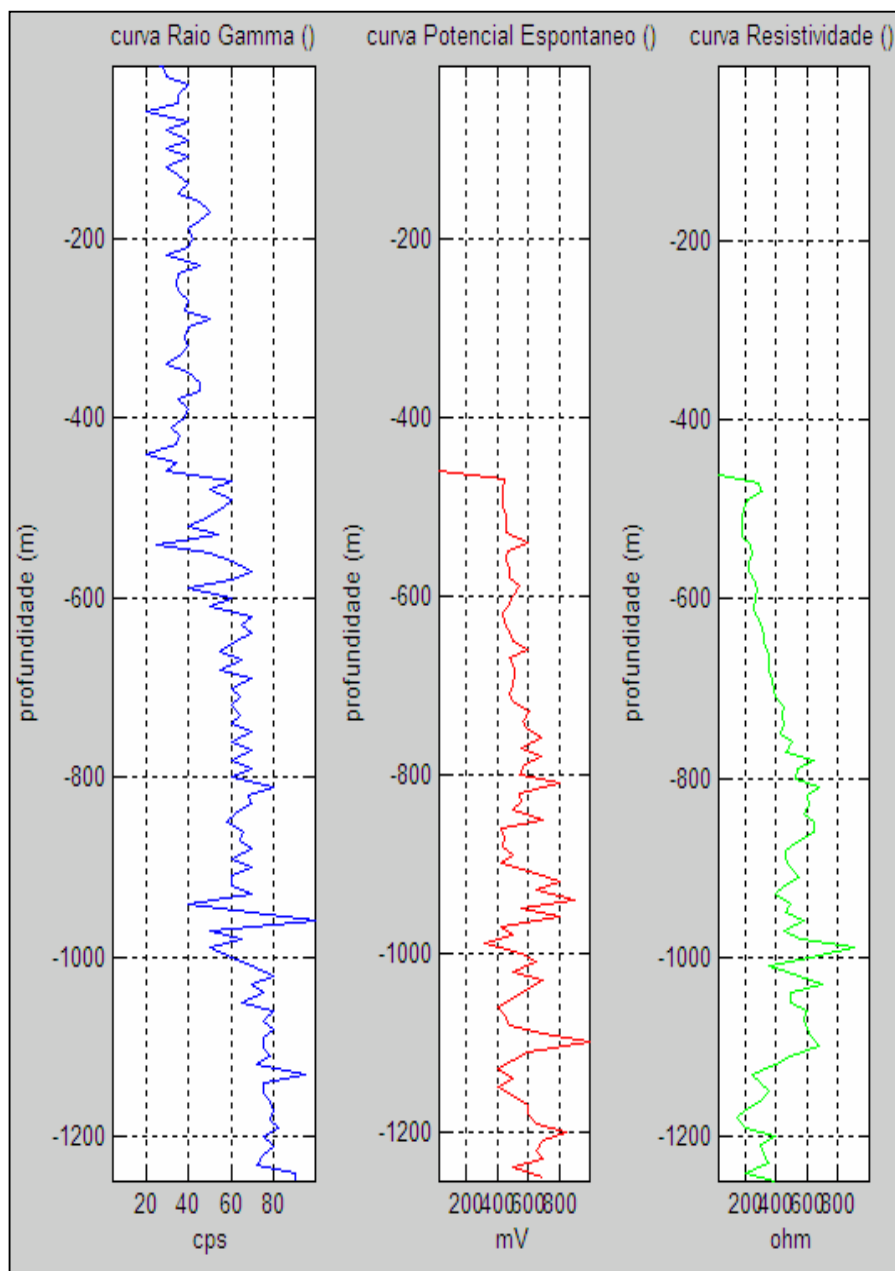


Figura 4.6. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção CQP-03-RS.

4.2.2.3. Descrição dos poços

Interpretaram-se os perfis dos poços CQP-01-RS, CQP-02-RS e CQP-03-RS (Figura 4.7), para verificar a forma e a espessura das camadas da bacia. Os poços variavam quanto sua profundidade, os dois primeiros com 1200m e o terceiro com 1250m.

Com a descrição obtida dos poços e a interpretação litoestratigráfica pode-se descrever as seguintes fácies:

Para o poço CQP-01-RS, quatro fácies litoestratigráficas:

-Fácies A3: Arenito bordo, micáceo com tamanho de grão médio-grosso a conglomerático, com seixos graníticos e quartzítico. Matriz arenítica ou cimento calcáreo.

-Fácies F2: Descrição da fácies A2 com a presença de fraturas preenchidas por CaCO_3 .

-Fácies C1: Conglomerados cinza-esverdeado com seixos graníticos, quartzíticos e gnáissicos, apresentando matriz arenítica.

-Fácies V1: Fácies Vulcano-sedimentar, para a base do intervalo, freqüentemente brechado e fraturado, estruturas deformacionais tipo espelhos de falha.

-Fácies S1: Níveis siltito-argilosos, com intercalações de eventos conglomeráticos.

Para o poço CQP-02-RS, cinco fácies litoestratigráficas:

-Fácies S1: Níveis siltito-argilosos, com intercalações de eventos conglomeráticos.

-Fácies A1: Arenitos cinza-esverdeado, micáceo com tamanho médio-fino, levemente conglomerático, presença de carbonatos em vênulas e como cimento.

-Fácies F1: Corresponde a descrição da Fácies A1, com presença de estruturas deformacionais brechas de falha, fraturas preenchidas com carbonatos.

-Fácies A2: Arenitos cinza-esverdeado, micáceo com tamanho médio-grosso, a conglomerático, presença de seixos graníticos e sedimentares. Apresenta matriz arenítica ou cimento calcáreo.

-Fácies C1: Conglomerados com seixos graníticos, quartzíticos e gnáissicos, apresentando matriz arenítica.

Para o poço CQP-03-RS, quatro fácies litoestratigráficas:

-Fácies A1: Arenitos cinza-claro quartzo feldspático micáceo, tamanho de grão médio-fino, e laminação plano paralela, ondulada e convoluta. Presença de cimento carbonático.

-Fácies F1: Corresponde a descrição da Fácies A1, com presença de estruturas deformacionais pseudobrechas de falha, fraturas preenchidas com CaCO_3 .

-Fácies F2: Corresponde a descrição da Fácies C1. Arenitos cinza-esverdeado, tamanho fino a muito fino, feldspático presença de níveis conglomeráticos, presença de seixos graníticos. Com presença de estruturas deformacionais pseudobrechas de falha, fraturas preenchidas com CaCO_3 .

-Fácies S1: Níveis siltito-arenosos, com intercalações de níveis arenosos.

4.2.3. INTERPRETAÇÃO E CORRELAÇÃO DE POÇOS

Devido ao distanciamento e posicionamento dos poços em distintas sub-bacias, se optou por uma interpretação separada (Figura 4.7). Os poços não apresentam uma correspondência cronoestratigráfica que permita correlacioná-los, desta forma, optou-se pela classificação de seqüências deformacionais na correlação dos poços.

O poço CQP-01-RS, localizado ao leste da área de estudo, foi dividido em quatro seqüências, e é diferenciado por duas superfícies de descontinuidade que marcam episódios de ambiente tectono-sedimentar e vulcano-sedimentar sobrepostos. No topo do perfil, entre 0-550m de profundidade, tem somente o perfil de raio gama com valores positivos de 25 a 30 cpi, que corresponde a fácies A2. A parte superior, de acordo com a descrição da CPRM, permite diferenciar acima da descontinuidade uma série de sedimentos afetados por fluxos de lavas andesíticas que correspondem à fácies F2, os quais podem ser descritos como seqüências deposicionais do Membro Rodeio Velho da Formação Guaritas. Sotoposta a seqüência deformacional com fácies F2 e V1 pertencentes à Formação Bom Jardim. Nas curvas de raio gama, SP e Resistividade, permitem definir padrões de *up coarsening*, entre os intervalos 550 e 700m, indo para *up fining* no intervalo seguinte. O limite discordante pode ser marcado em 800m, pelo deslocamento dos registros lateralmente. A Formação Bom Jardim se manifesta abaixo da descontinuidade, com um padrão grão decrescente desde os 850 até 700m. A partir dos 850m até 1200m se tem um padrão acirrado que corresponderia a intercalações de areia com material mais fino (seqüência 2 de Bom Jardim). Este apresenta as fácies A1, A2, F1, F2 e V1, onde as associações de fácies correspondem às seqüências deposicionais S1 (A1 e S1) e SD1 (V1 e F1) da Formação Bom Jardim. Acima do Limite de seqüências se têm as correspondentes associações de fácies deposicional S1 (A1, A2, C1) e deformacional SD1 (F1, F2, V1), que corresponderiam ao alogruppo Guaritas.

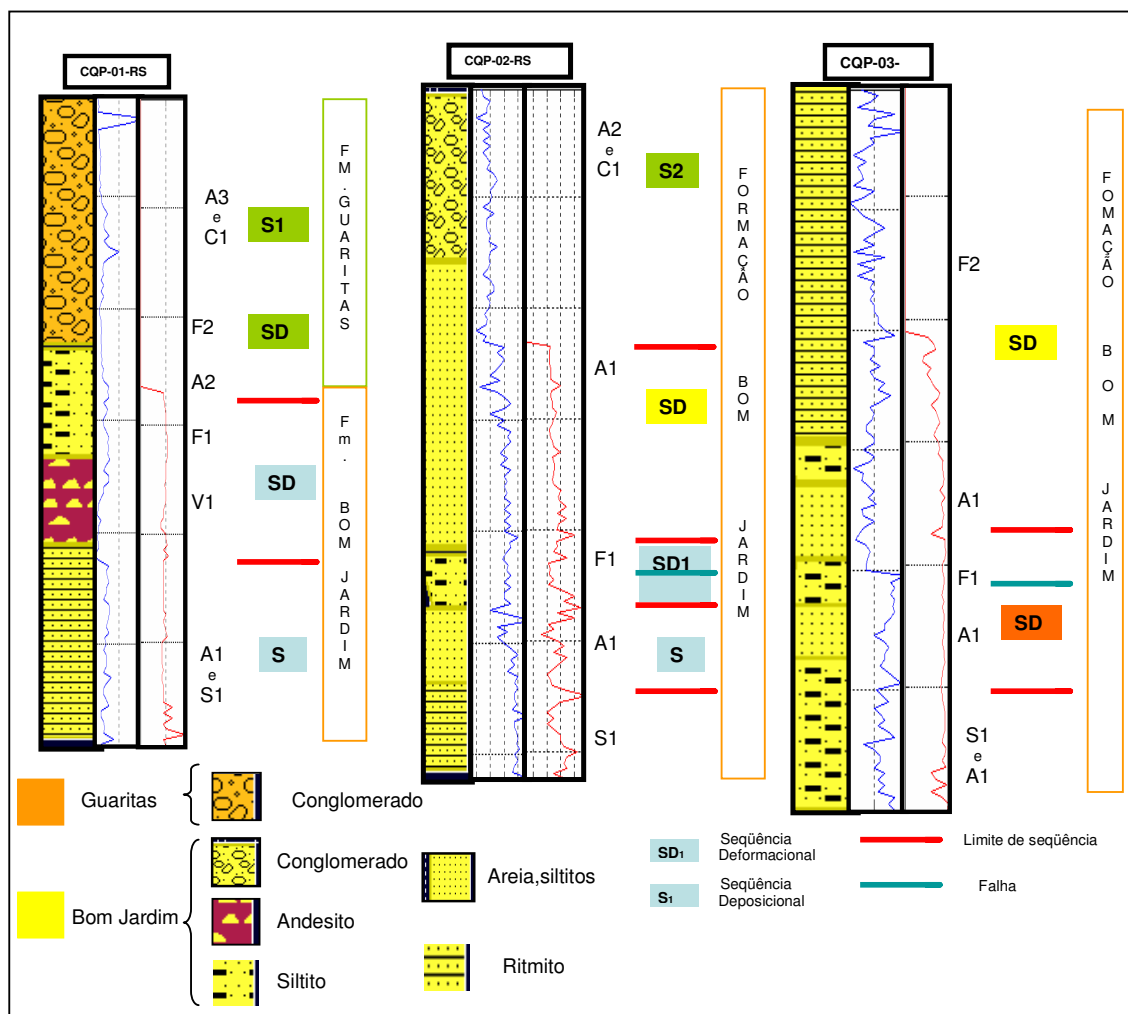


Figura 4.7. Correlação dos Poços CQP-01-RS, CQP-02-RS e CQP-03-RS.

O poço CQP-02 RS, localizado ao oeste, é caracterizado por seqüências deformacionais (SD e SD1) e deposicionais (S2) pertencentes ao Alogrupo Bom Jardim, onde podem ser observadas geometrias que vão desde formas acirradas contínuas até formas *upward fining*. No intervalo inicial do registro (0-420m), somente tem à presença do registro de Raio Gama. Segundo o comportamento irregular e acirrado dos valores positivos na curva, foi caracterizada a seqüência de acordo com a descrição de fácies, no intervalo até 850m de profundidade. As curvas conjuntas de SP e Resistividade foram corridas a partir dos 420m. As fácies conglomeráticas (C1, A2)

aparecem no intervalo superior e intermediário (55m-150m e 170m-300m). A curva do *log* aos 800m apresenta um evento marcante onde o GR e SP, defletem formando um limite abrupto, caracterizado pela presença de uma seqüência deformacional (brechas, planos de fricção, estruturas deformacionais), correspondente à resposta associada a eventos tectônicos.

O poço CQP-03-RS, localizado ao leste da área de estudo, tem profundidade de 1250m. O registro RG tem uma variação escalonada com três intervalos dominantes, mais caracterizado por valores altos. No primeiro intervalo até 450m de profundidade variando de 25 até 40cps. No segundo intervalo (600m-950m) os valores pulam á 60 cps, apresentando uma grande deflexão nos 950m de profundidade dos registros GR e SP. O intervalo inferior é o que tem maior variação no registro, aparecendo uma série de contrastes com valores variando nos diferentes registros de poço. Observam-se geometrias que vão desde formas acirradas contínuas até formas *upward fining*. Segundo a descrição lito-estratigráfica têm-se as fácies A1, S1, F1, F2 (Formação Bom Jardim), correspondendo a associações de fácies de tipo deformacional (SD1 e SD2).

4.3. GRAVIMETRIA

4.3.1. INTRODUÇÃO

A exploração gravimétrica consiste na utilização do campo potencial gravimétrico da Terra, como fonte de sinal natural o qual se dá através da aquisição de dados no gravímetro. Baseia-se fundamentalmente em adquirir os dados no campo (armazenar e transportar os dados como arranjos matriciais digitais em meios magnéticos), e o processamento (correções, filtros) que leva, de maneira seqüencial, a um produto final “imagem do subsolo” o qual é utilizado como uma ferramenta adicional para a interpretação (Dias *et al.*, 2000).

O método gravimétrico tem como princípio utilizar a variação da massa específica ou da gravidade das rochas para localizar suas interfaces. Isto é possível devido às variações das propriedades físicas que ocorre entre diferentes materiais.

Das várias utilizações que a gravimetria permite podemos listar principalmente:

- caracterizar a morfologia do embasamento (estruturas);
- detectar a presença de subsidência e eustasia;
- mapear a geologia regional;
- detectar o excesso de massa (Maciços Sulfurosos) e a falta de massa (carvão, depósitos de sal); etc.

4.3.2. METODOLOGIA

A teoria da gravimetria desenvolveu-se baseada na lei da gravitação universal de Newton. Nesta, a aceleração da gravidade (g) é a constante $9,8 \text{ m/s}^2$. Esta aceleração é devido à força de atração gravitatória que a Terra exerce sobre um corpo menos a força centrípeta causada pela rotação da Terra. A força que atua no corpo é igual ao produto de sua massa pela aceleração da gravidade (Fernandes, 1982).

A gravidade normal da terra (g_0) se refere ao elipsóide de rotação e é função da latitude (φ) e se calcula pela fórmula internacional da gravidade que foi adotada pela União de Geodésia e Geofísica em 1930:

$$g_{\text{normal}} = 978031,85 (1 + 0,005278895\text{sen}^2\varphi + 0,000023462\text{sen}^4\varphi). \quad (1)$$

Os valores de gravidade chegam ao máximo nos pólos devido à ausência da força centrípeta e ao aplainamento da Terra.

Como a Terra não é um esferóide perfeito ajustado ao nível do mar, algumas correções na gravidade observada devem ser feitas. Desta maneira calcula-se a anomalia a partir da diferença entre o valor observado e o valor previsto, baseando-se no modelo terrestre aplicado (Direen, 2001).

4.3.2.1. Correções gravimétricas

São várias as correções que devem ser feitas nos valores de gravimetria observadas em campo.

4.3.2.1.1. Correção de Ar Livre

O valor da atração de gravidade é retirado de qualquer material que está acima do nível do mar. Como se toda a referência para o cálculo estivesse ao nível do mar: $C_{AL} = - 0.3086 h$, onde h é a diferença topográfica do ponto medido em relação ao nível do mar. A unidade usada é mgal/m.

4.3.2.1.2. Correção de Bouguer

O cálculo da gravidade é baseado em um horizonte paralelo ao geóide que está a uma altitude (h) constante do nível do mar. Desta maneira, toda a atração exercida pela rocha que está acima deste horizonte deve ser retirada: $C_b = 0,04193\rho h$. Onde, h é a altura em relação ao nível do mar da cada estação e ρ é a densidade média destes estratos. A unidade usada é mgal/m.

4.3.2.1.3. Correção Topográfica ou Variação do Terreno

Esta correção leva em conta a atração que as massas acima e abaixo da estação exercem sobre a gravidade lida, devido à variação topográfica do terreno. Tendo em conta que, por exemplo, uma topografia alta ao redor do ponto lido afeta diminuindo o valor da gravidade medida, pois sua massa age ao inverso da força da gravidade.

O mapa do modelo topográfico do terreno (4.8 a e b), gerado a partir das cartas digitais na escala 1:250.000 cedidas pelo departamento de geodésia da Universidade Federa do Rio Grande do Sul, foi utilizado na redução dos dados gravimétricos.

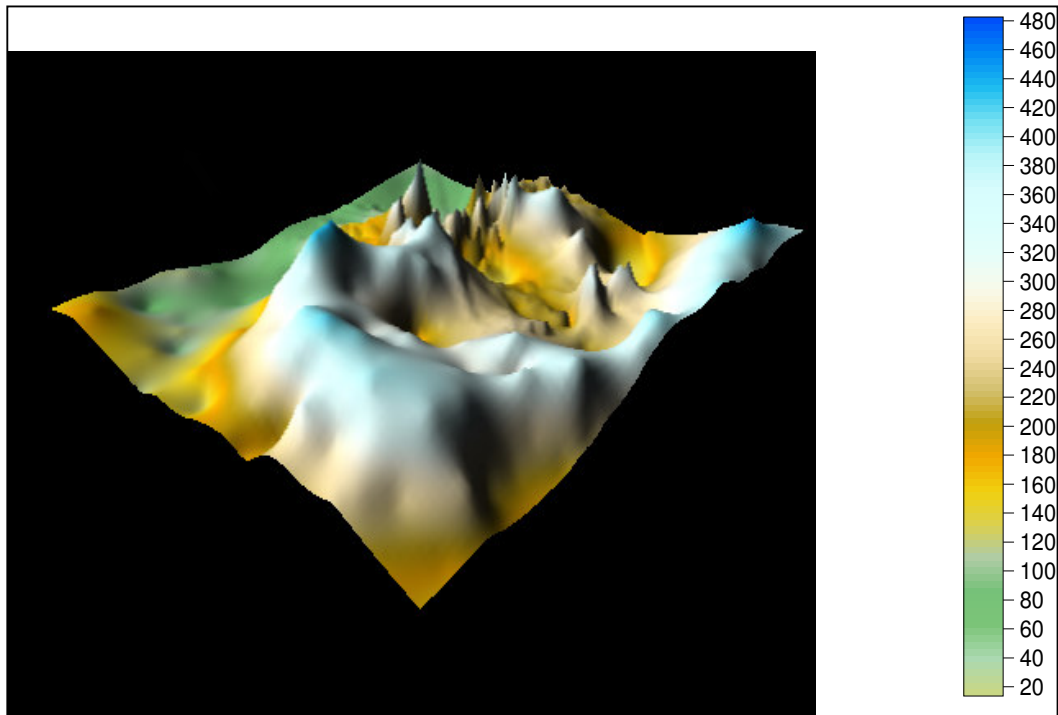
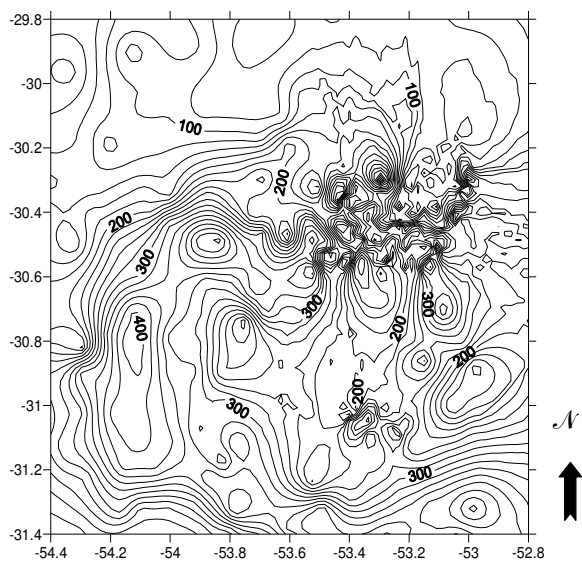


Figura a: Mapa Topográfico Digital



Mapa b: Mapa de Contorno Topográfico

Figura 4.8. a: Modelo topográfico do terreno, b: Mapa de contorno topográfico.

4.3.2.1.4. Correção de Latitude

Como o valor da gravidade diminui em relação aos pólos e a fórmula internacional de gravidade utiliza a variação normal da gravidade é necessária a correção em relação ao pólo em que a leitura foi feita. Pode-se utilizar uma pequena tabela:

| Latitude | Valor da gravidade |
|-----------------|--------------------|
| 0 ⁰ | 0 |
| 30 ⁰ | 0,70 mgal/km |
| 45 ⁰ | 0,81 mgal/km |
| 60 ⁰ | 0,71 mgal/km |
| 90 ⁰ | 0 |

Tabela 4.3. Valores da variação da gravidade em relação à latitude.

4.3.2.1.5. Correções de deriva

O mecanismo de molas do gravímetro sofre pequenas variações durante o dia devido à sua deformação elástica e ao efeito de marés. É necessária a leitura sistemática de um ponto de amarração conhecido mais de uma vez ao longo do dia. Esta correção é feita para que o grau de confiança da leitura seja de até 1cmgal.

4.3.2.2. Anomalias Gravimétricas

Feitas todas as correções pode-se calcular as anomalias como a Anomalia de Bouguer, a qual é calculada através de um somatório da Anomalia Gravitatória (AG) mais a Correção de Ar-Livre (C_{AL}) menos a Correção de Bouguer (C_B) mais a Correção Topográfica (C_{Top}), sendo que a Anomalia Gravitatória calculada a partir da diferença entre o valor da gravidade corrigida e o valor da gravidade no esferóide para latitude e a longitude da estação: Anomalia de Bouguer = $AG + C_{AL} - C_B + C_{Top}$.

4.3.2.3. Aquisição dos dados

Depois de uma visualização prévia do mapa Bouguer, da área em estudo, foi observada uma falta de informação na região da bacia entre a Br 153 e a cidade de Bagé. Devido ao pouco detalhamento dos dados existentes nesta região houve a necessidade da aquisição de novos dados para detalhar esta área. Entre os dias 06 e 08 de julho de 2005 foi realizada uma saída de campo, onde adquiriu-se uma série de dados gravimétricos. Os dados foram coletados em 52 estações, com intervalos de 2 Km entre os pontos (Figura 4.9). Para isto foi composta uma planilha onde foram marcadas as estações, valor da gravidade lida, localização, hora da tomada dos dados, altitude da estação e a geologia observada.

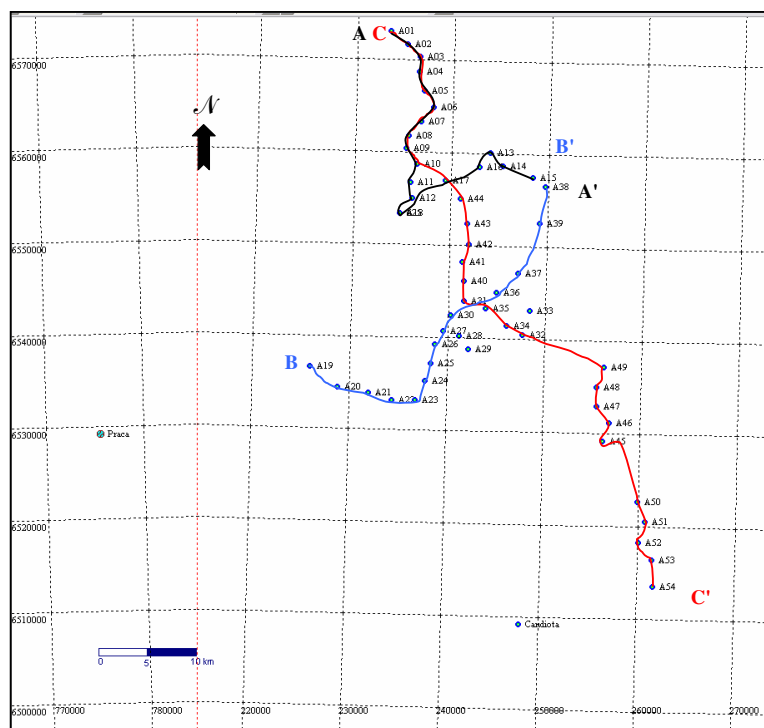


Figura 4.9. Mapa de localização dos pontos gravimétricos medidos em campo e perfis analisados (AA', BB' e CC').

Utilizou-se as duas estações bases mais próximas das estações medidas. A estação RN 141383 do Observatório Nacional, na praça de Bagé, lida nos dias 06 e 07, e a estação RN 1950H do IBGE, na entrada de Candiota, lida no dia 08. Cada estação base, ao ser utilizada, foi medida como primeiro ponto do dia e ao final deste mesmo dia para a obtenção da correção de Ar-livre .

A malha de pontos foi projetada para detalhar o contato da bacia com a rocha encaixante e melhorar a amostragem do trabalho.

Utilizou-se o gravímetro Scintrex CG3, cedido pelo departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da UFRGS.

A cada novo ponto foram feitas duas medidas gravimétricas para a obtenção da média gravimétrica de cada estação. Além disso, foi observada e registrada a geologia

de cada estação para comparação com o mapa geológico e a resposta geofísica dos dados.

Como complemento da informação gravimétrica de campo, foram utilizados dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), da Tese de doutorado de Costa (1997) e Costa *et al.* (1996), dados adquiridos com o gravímetro LaCoste & Romberg, modelo G, pertencente à Universidade do Mato Grosso, com a participação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Figura 4.10).

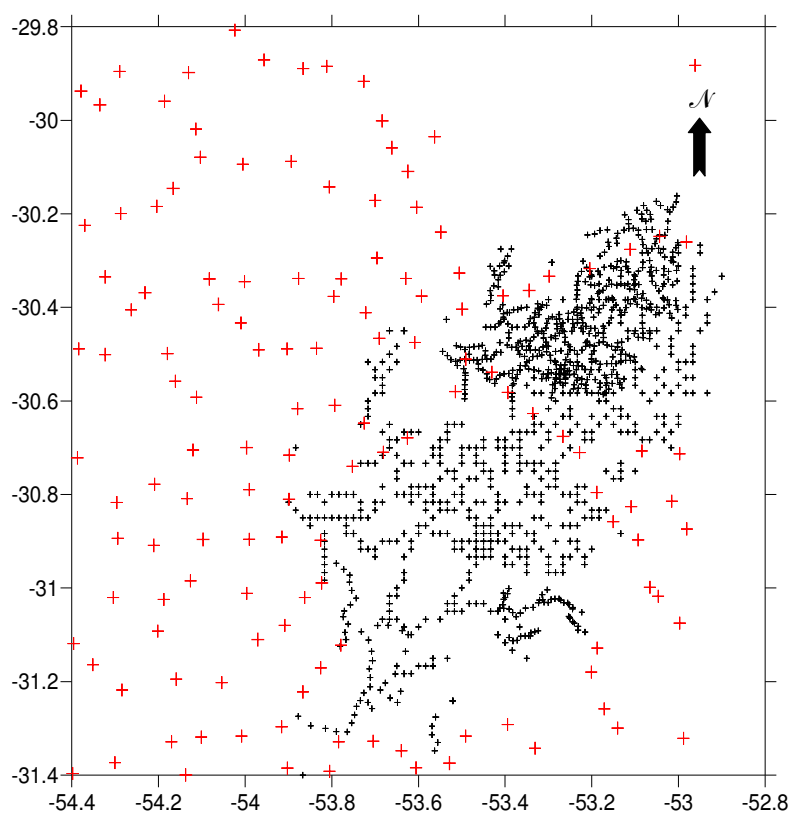


Figura 4.10. Mapa de pontos totais gravimétricos.

4.3.3. PROCESSO E INTERPRETAÇÃO

Após sua aquisição em campo os dados gravimétricos foram processados e analisados. Para o desenvolvimento e manipulação dos gráficos dos dados utilizou-se o *software* para manipulação de sinais “Matlab”, com o qual desenvolveu-se um algoritmo para a manipulação dos dados (em Anexo) e os registros de poço (SP, resistividade e Raio Gama), gráfico dos perfis gravimétricos e de poço.

Para a obtenção dos dados gravimétricos finais e geração do mapa Bouguer aplicou-se às correções de ar-livre, altitude, maré e Bouguer.

Os dados obtidos correspondem a 3 perfis e um mapa de anomalias de Bouguer, efetuados em Matlab e Surfer. Os perfis apresentam as curvas dos dados antes das correções serem aplicadas, os valores das correções (maré, ar-livre) e anomalia de bouguer (Figura 4.11 - 4.13).

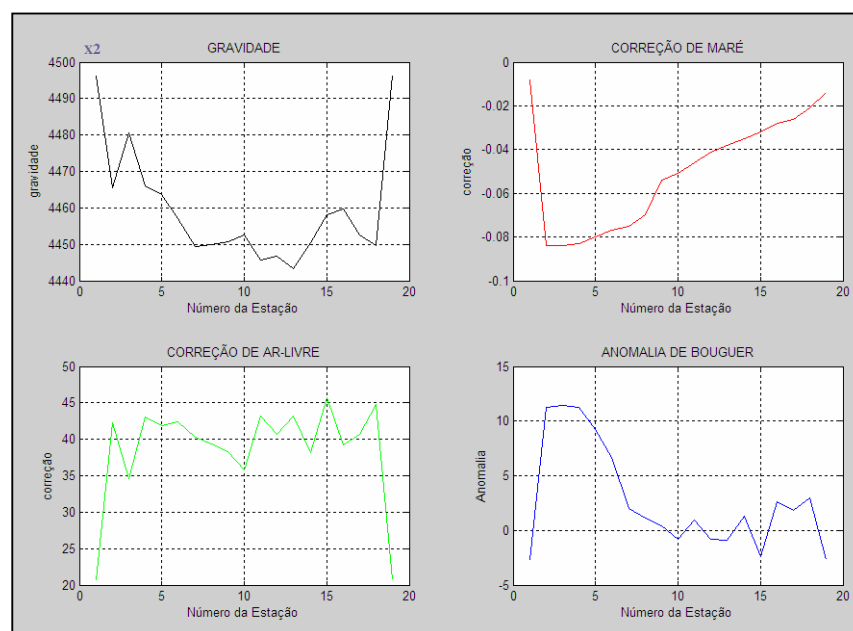


Figura 4.11. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção A-A'.

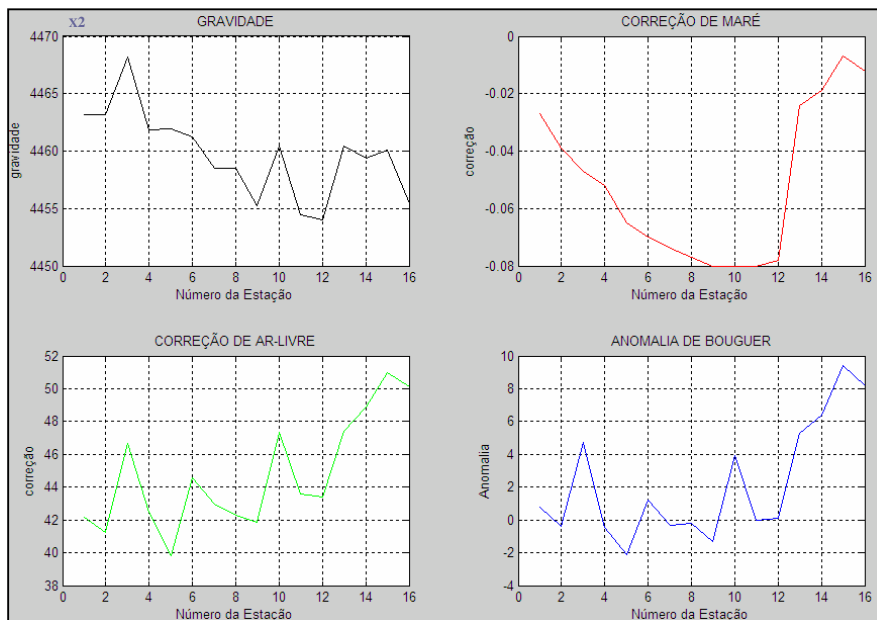


Figura 4.12 Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção B-B'.

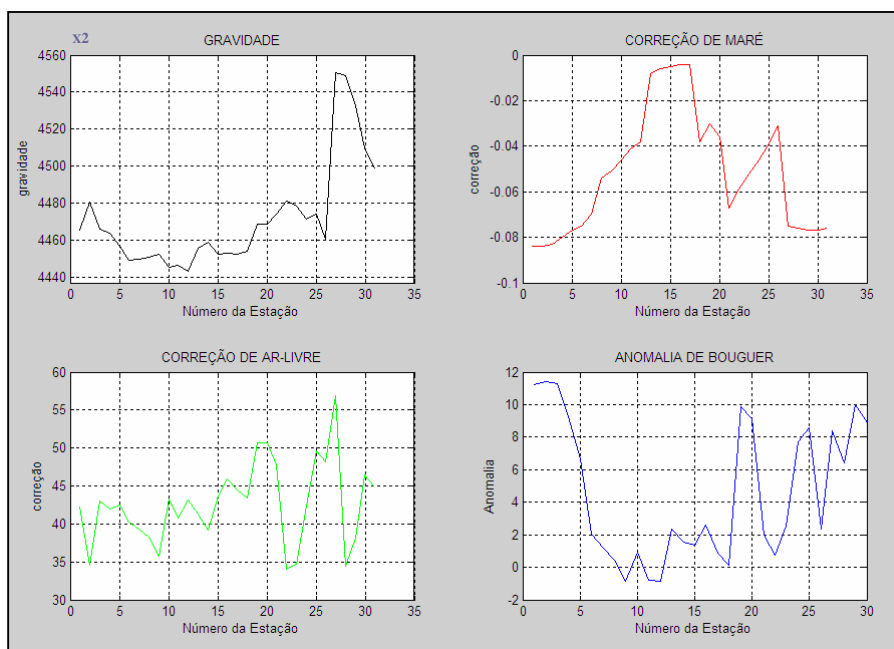


Figura 4.13. Dados de Gravidade, correções e anomalias gravimétricas: Bouguer, para a seção C-C'.

Os dados gravimétricos de campo foram corrigidos aplicando as correções para obter o mapa de anomalia de Bouguer. Com isto foram plotadas todas as informações

gravimétricas adquiridas e a base de dados anteriores, gerando um mapa total de pontos gravimétricos (Figura 4.10) e o mapa de anomalia Bouguer (figura 4.14 a e b).

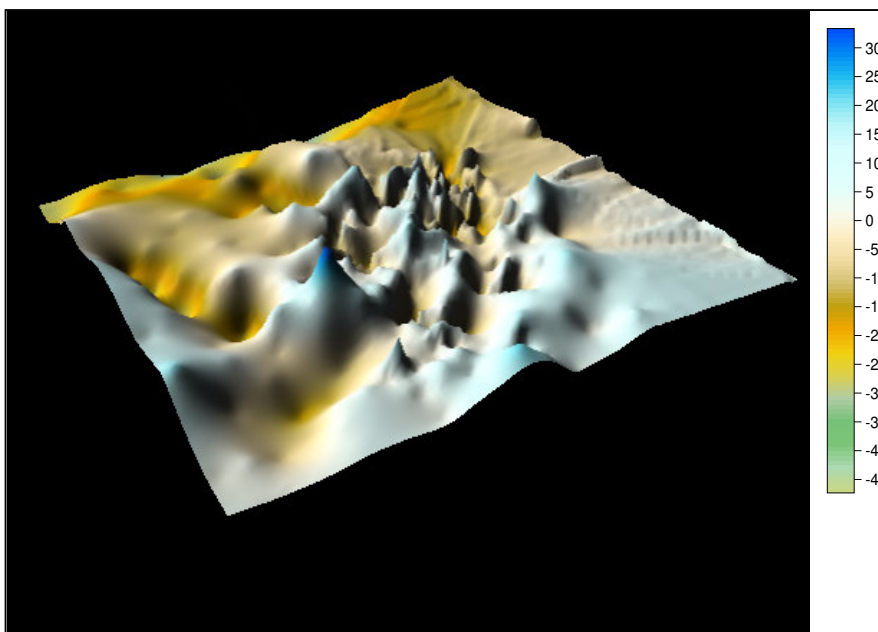


Figura a: Mapa 3D de Anomalia Bouguer

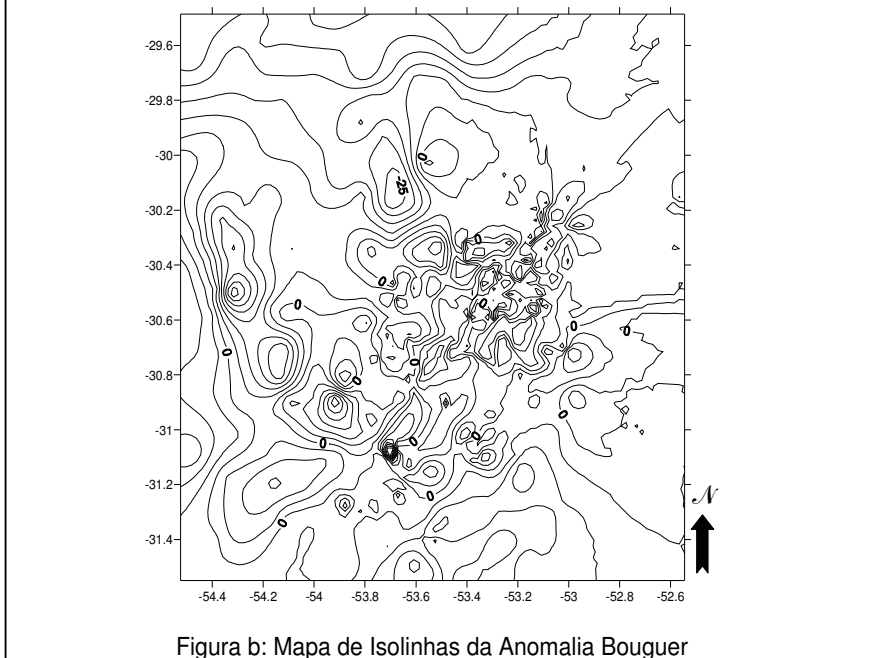


Figura b: Mapa de Isolinhas da Anomalia Bouguer

Figura 4.14. Mapas de Anomalia de Bouguer.

O perfil topográfico foi plotado sobre o mapa de Bouguer para a visualização, comparação e interpretação da forma da bacia (figura 4.15) .

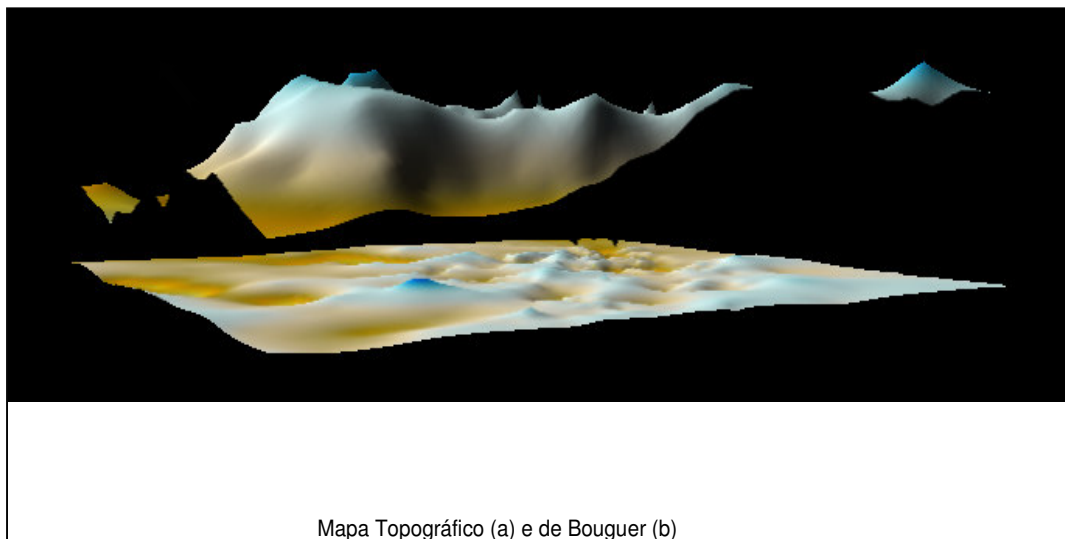


Figura 4.15. Mapa topográfico e bouguer sobrepostos.

Na área de estudo foram adquiridos três perfis (A-A', B-B' e C-C', Figura 4.9) para delimitar a relação da bacia com seu embasamento.

No perfil gravimétrico e de anomalia Bouguer, do perfil A-A' (Figura 4.11), inicia-se com um alto gravimétrico associado ao Andesito Rodeio Velho do Alogrupo Guaritas, com valores de anomalias Bouguer +12. Seguido a um baixo de valores negativos até -4, que corresponde às rochas graníticas (560-610 Ma). Os valores de anomalia variando entre +2 e +3,5 correspondem a rochas pertencentes a seqüência sedimentar do Alogrupo Bom Jardim.

O perfil B-B' (Figura 4.12) inicia-se com valores gravimétricos mais baixos comparados ao perfil anterior, variando abaixo de zero até menos dois, indicando sedimentos de outra bacia (possivelmente sedimentos Gonduânicos) (Figura 4.12). O valor de +1, para anomalia de bouguer, indica a presença das rochas sedimentares do Alogrupo Guaritas (Bacia do Camaquã). Os valores vão oscilando com pontos de

anomalias altos, sendo notórios três valores de anomalia (+5, +1 e +4) que podem ser associados a altos do embasamento.

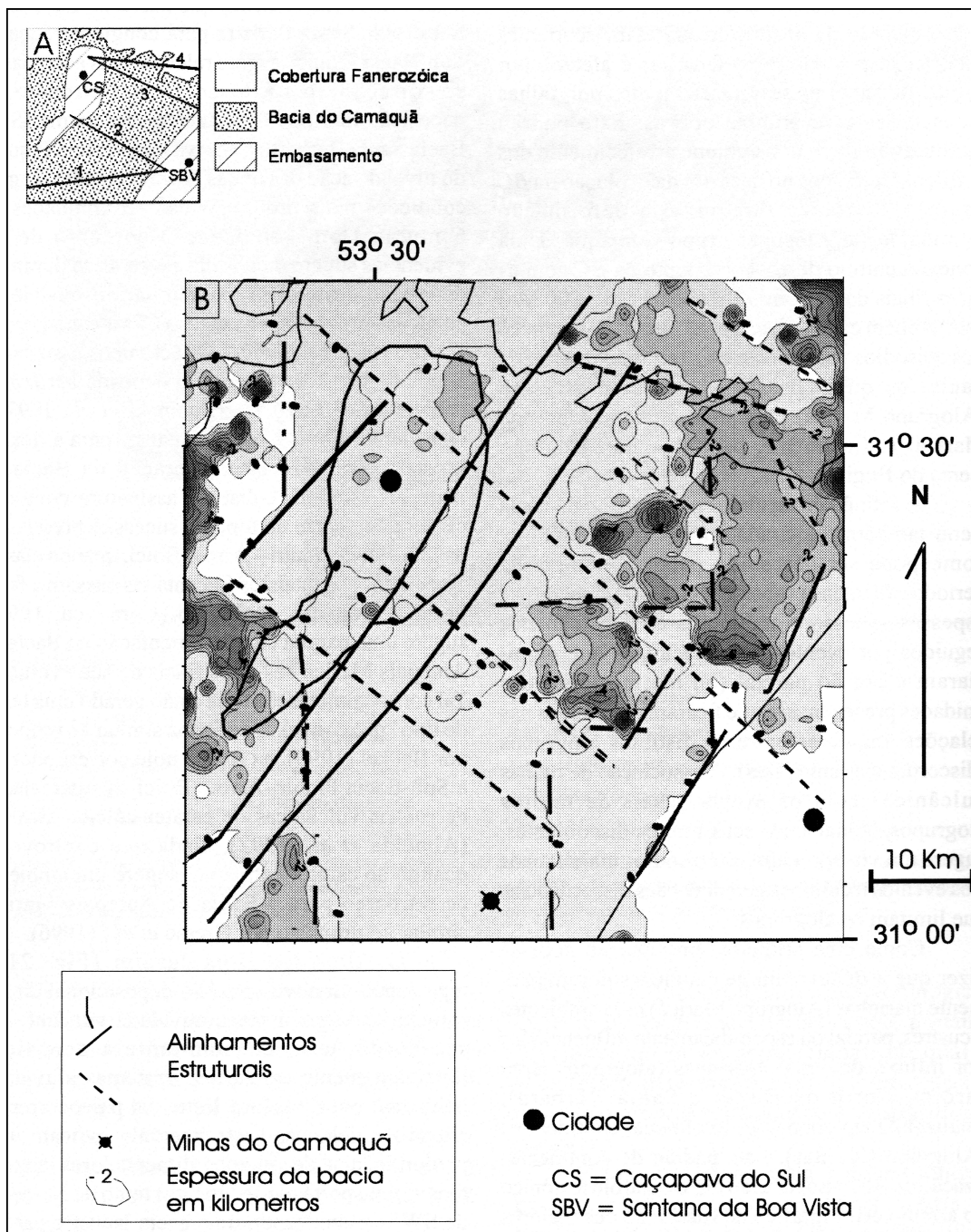


Figura 4.16 A: Localização dos perfis gravimétricos; B Mapa bouguer com as principais estruturas da área (Costa *et al.*, 1996).

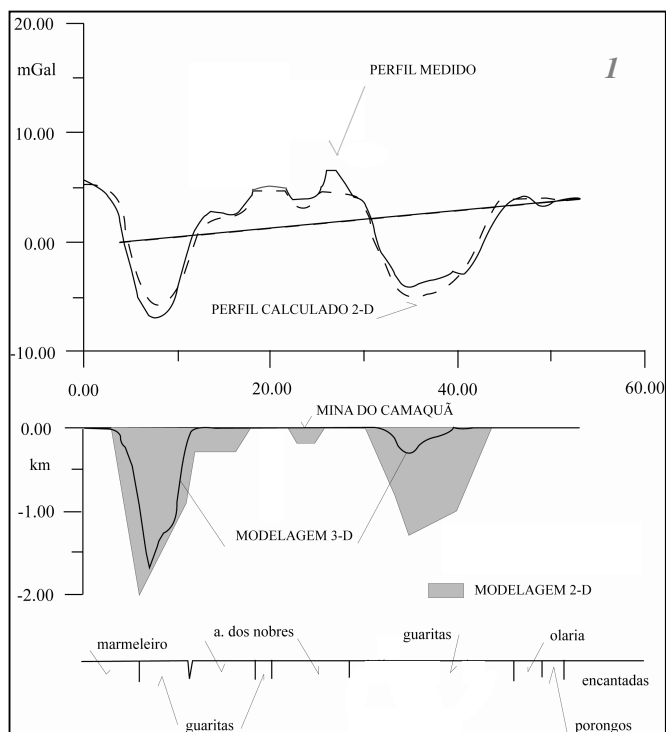


Figura 4.17. Perfil gravimétrico 1 (Costa *et al.*, 1996).

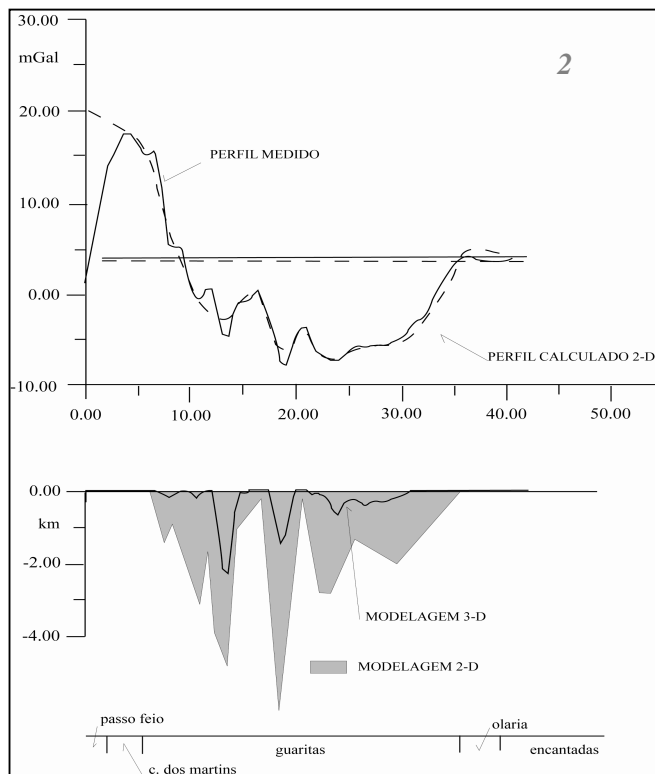


Figura 4.18. Perfil gravimétrico 2 (Costa *et al.*, 1996).

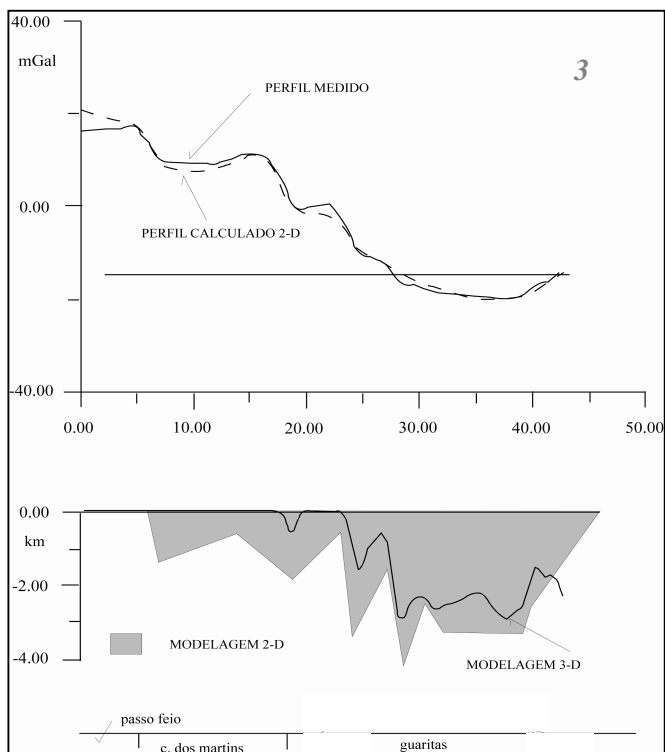


Figura 4.19. Perfil gravimétrico 3 (Costa *et al.*, 1996).

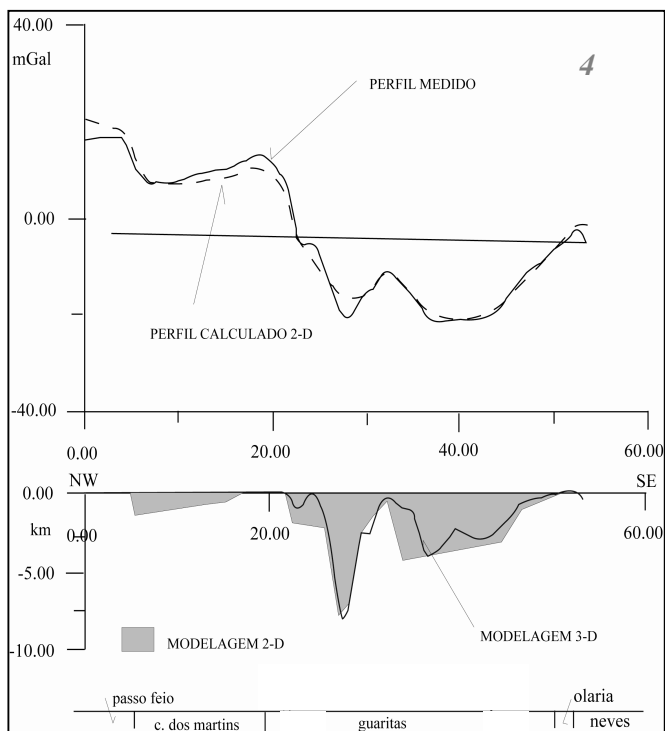


Figura 4.20. Perfil gravimétrico 4 (Costa *et al.*, 1996).

No perfil gravimétrico C-C' (Figura 4.13), as estações 1 a 10 corresponde aos 10 primeiros pontos do perfil A-A' (Figura 4.11). Entre as estações 5 e 17 os valores são menores (até -2), relacionado a rochas sedimentares (Gonduana + Bacia do Camaquã). Após a estação 17 as anomalias são maiores com altos de valor +11, marcando a borda da bacia, pode ser interpretado como altos do embasamento.

Os perfis A-A', B-B' e C-C' de caráter local foram integrados com a informação gravimétrica regional (figura 4.16) de Costa *et al.*, (1996) e suas seções (1 e 4), constituindo o complemento gravimétrico da área. Estas seções (figuras 4.17-4.20) atravessam a Bacia do Camaquã em direção WE, tendo iniciado os perfis das seções 2,3 e 4 na Formação Passo Feio (embasamento) e o perfil 1 na Formação Guaritas.

De acordo com os perfis regionais (Costa *et al.*, 1996) e com os dados de densidade gravimétrica das rochas da bacia e do embasamento pode-se estabelecer a profundidade do embasamento e dos diferentes corpos rochosos para as sub-bacias.

O perfil 1 (Figura 4.17) secciona a Bacia do Camaquã, passando em sua maior parte pela Formação Guaritas; na porção central do perfil ocorrem as rochas vulcânicas da Formação Bom Jardim. São apresentados três baixos gravimétricos e um alto gravimétrico, os baixos podem estar associados a valores de rochas mais profundas (Formação Guaritas) limitadas por rochas de menor contraste gravimétrico (vulcânicas do Bom Jardim). Ao leste os baixos gravimétricos podem ser associados às rochas sedimentares das formações Guaritas e Bom Jardim.

O perfil 2 (Figura 4.18) tem seu início e término em altos do embasamento, seccionando as unidades da Formação Guaritas. Perfaz a forma de uma bacia sedimentar com blocos escalonados. Este escalonamento pode ser devido a possíveis altos do embasamento ou rochas vulcânicas da Formação Bom Jardim, o que

condicionou a variação da espessura das camadas sedimentares no perfil de profundidade.

O perfil 3 (Figura 4.19) inicia na Formação Passo Feio, ao norte do Complexo Granítico Caçapava do Sul, e termina na área onde afloram os sedimentos da Formação Guaritas. Apresenta a forma de blocos escalonados, tendo profundidade maior na Formação Guaritas (4km).

O perfil 4 (Figura 4.20) é o perfil que apresenta o melhor ajuste entre as modelagens tridimensional e bidimensional. Contém valores gravimétricos anômalos e baixos, que representam os sedimentos mais profundos da bacia (possivelmente até - 8km). Ao Sudeste, os valores flutuam para um alto gravimétrico (-1km) que condiciona o limite entre as sub-bacias Guaritas e embasamento. Este alto pode representar intrusões de metavulcânicas.

Os mapas gravimétricos, como o de anomalia de Bouguer, com valores entre 20 e -40mgal, permitem estabelecer áreas de ocorrência de formações para as distintas sub-bacias. Valores anômalos negativos dão evidência da presença das Formações Guaritas, Santa Bárbara e do complexo granítico de Caçapava do Sul. Estes estão delimitados por um lineamento forte que pode ser tracejado com uma direção N30E. Na área encontra-se o baixo gravimétrico de Caçapava do Sul, o qual está compartimentado e deslocado ao oeste com a Bacia de Santa Bárbara.

O mapa de contorno da profundidade do embasamento da Bacia de Camaquã, integrado as estruturas regionais, delimita, dentro da área de sub-bacia Guaritas, o escalonamento dos blocos da bacia e o espessamento dos pacotes sedimentares para o nordeste, onde os valores atingem até 8km (perfil 4, figura 4.19). O hemi-graben que limita a parte NE desta bacia, foi um dos geradores desta compartimentação, integrado aos lineamentos NW ativos nesta época.

Anomalias gravimétricas circulares positivas encontradas no extremo sudoeste e o centro norte da área em estudo estão associados às rochas vulcânicas, derrames andesíticos ou o magmatismo básico da reativação Sul-Atlântica (Costa *et al.* 1996.) O setor leste é caracterizado pela presença de valores gravimétricos relativamente altos, relacionados ao Complexo Metamórfico Tijucas.

CAPÍTULO V: INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO

Os dados geológicos adquiridos e processados permitiram a integração de uma base de dados robusta, com métodos diferenciados por sua capacidade de detecção e resolução.

No mapa de densidade de lineamentos foram caracterizados por áreas de maior concentração de lineamentos, ficando evidenciado áreas junto às principais estruturas na bacia, a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, a Anomalia Gravimétrica Central e os alinhamentos gravimétricos estruturais associados à anomalia Gravimétrica Central. Foram delimitados quatro domínios estruturais na área das imagens estudadas: (i) domínio 1, com predomínio de lineamentos preferencial NW onde têm-se a presença dos sedimentos da Bacia do Paraná; (ii) domínio 2, com direção preferencial nordeste dos lineamentos, paralelos à Sutura do Caçapava; (iii) domínio 3, onde a orientação dominante dos lineamentos é segundo N, NE e NW, sendo a direção N bem evidente; (iv) domínio 4, em que as orientações NE e NW ocorrem em proporções iguais, sendo estas influenciadas pelo Lineamento de Ibaré (NW) e Lineamento de Caçapava (NE).

Os três poços analisados no presente trabalho abrangem as unidades das formações Guaritas e Bom Jardim. O poço CQP-01-RS demarcou a superfície de descontinuidade entre a Formação Guaritas (depósito aluviais) e a Formação Bom Jardim (depósitos deltáicos). Já os poços CQO-02-RS (depósitos deltaicos e aluviais do Bom Jardim) e CQP-03-RS (depósito deltaico da formação Bom Jardim) apresentam evidências da existência de eventos de tipo tectônico com deformações rúptil a dúctil-rúptil (espelhos de falha, planos de fricção, estruturas deformacionais e brechas). A descrição dos poços permitiu estabelecer diferentes fácies tectono-estratigráficas (A1, A2, C1, F1, F2, V1), no qual a associação destas fácies demarcou as seqüências stratigráficas. As seqüências foram classificadas como de tipo deposicional S1 e S2 (não afetadas pela tectônica) e seqüência deformacional SD1 (afetada pela tectônica). A

densidade das rochas retiradas dos poços demarcou um comportamento diferenciado em duas áreas da bacia. No poço CQP-01-RS, onde ocorrem as Formações Guaritas e Bom Jardim, há um aumento de densidade com a profundidade visto que há a presença de duas aloformações de idades distintas. Já no poço CQP-02-RS, onde só há litologias da Formação Bom Jardim, não há variação de densidade com a profundidade.

Na gravimetria, os perfis gravimétricos A-A' (NS), B-B' (LW) e C-C' (NS), de caráter local, seccionaram a Bacia do Camaquã na região Sul junto ao embasamento e a Bacia do Paraná. Neste é possível notar a relação de diferença de densidade entre os sedimentos Gonduânicos, de densidades muito baixas (-2), e os sedimentos da Formação Guaritas (0 e +1) da Bacia do Camaquã, com densidade um pouco mais alta. Também pode-se definir para rochas graníticas, valores anômalos mais altos de valores anômalos muito baixos (-4) para as rochas vulcânicas intermediárias granito-gnáissicas (+12) e intermediários para as sedimentares da Formação Bom Jardim (entre +2 e +3,5). Já o embasamento granito-gnáissico é marcado por altos no perfil Bouguer, com anomalias de até +12. As seções 1 a 4 de Costa *et al* (1996), orientados segundo E-W, cortam a Bacia do Camaquã, passando principalmente pela Formação Guaritas. Três destes iniciam-se na Formação Passo Feio indo até o Embasamento Leste, enquanto o outro está disposto desde a Formação Guaritas até o embasamento. Nestes perfis pode-se demarcar a área de presença das rochas sedimentares da Formação Guaritas (-5) e as vulcânicas do Bom Jardim (+4). A compartimentação da Bacia Guaritas fica evidenciada pelo aumento da espessura dos sedimentos (até 8km de espessura) na bacia, formando blocos escalonados associados à falhas normais e ao hemi-grabem gerador da Bacia Guaritas.

Estes blocos são limitados por estruturas NW, evidenciado na gravimetria como na análise de imagem.

Ainda neste perfis pode-se separar as rochas graníticas (exemplo Granito Caçapava do Sul) das rochas ígneas intermediárias (exemplo vulcânicas do Bom Jardim e Andesito do Rodeio Velho do Guaritas) cujos valores de anomalia gravimétrica giram entorno de -4 e $+12$, respectivamente.

A correlação tectono-estratigráfica regional da Bacia do Camaquã (Figura 5.1), permite identificar as principais estruturas da bacia, onde o agrupamento de estruturas e seus indicadores cinemáticos foram avaliados segundo os diferentes domínios. Dois domínios estruturais na área são delineados, com populações NW ($300^\circ - 345^\circ$) e Nordeste ($20^\circ - 48^\circ$). A bacia está associada aos episódios tectônicos tardios do Ciclo Brasileiro (NNE e NW) cujas estruturas foram reativadas até o MesoCenozóico. Com a integração de imagens de satélites digitais, LANDSAT TM, dos registros de poço e da gravimetria, pode-se determinar os lineamentos que estão associados a fraturas de tipo local e regional. Por outro lado a influência tectônica no Neoproterozóico é ressaltada por lineamentos dominantes como a Falha de Ibaré e Sutura de Caçapava, que durante a formação da Bacia do Camaquã tiveram comportamento dúctil-ruptil a rúptil. Os lineamentos NW segmentam a Bacia do Camaquã e cortam as estruturas NE, os quais estabelecem diferentes sub-bacias compartimentadas, de forma escalonada e com espessura de pacote sedimentar diferenciada. Assim, a Bacia do Camaquã é formada por faixas alongadas de blocos menores, que, segundo a gravimetria, estão compartimentados e deslocados para NE. Paralela às falhas NE, evidencia-se por meio da gravimetria, a falha mestre da Bacia Guaritas, que na porção leste está em contato com o Cinturão Tijucas, juto a qual, na porção NE da bacia, ocorre as maiores espessuras do Guaritas (depocentro) .

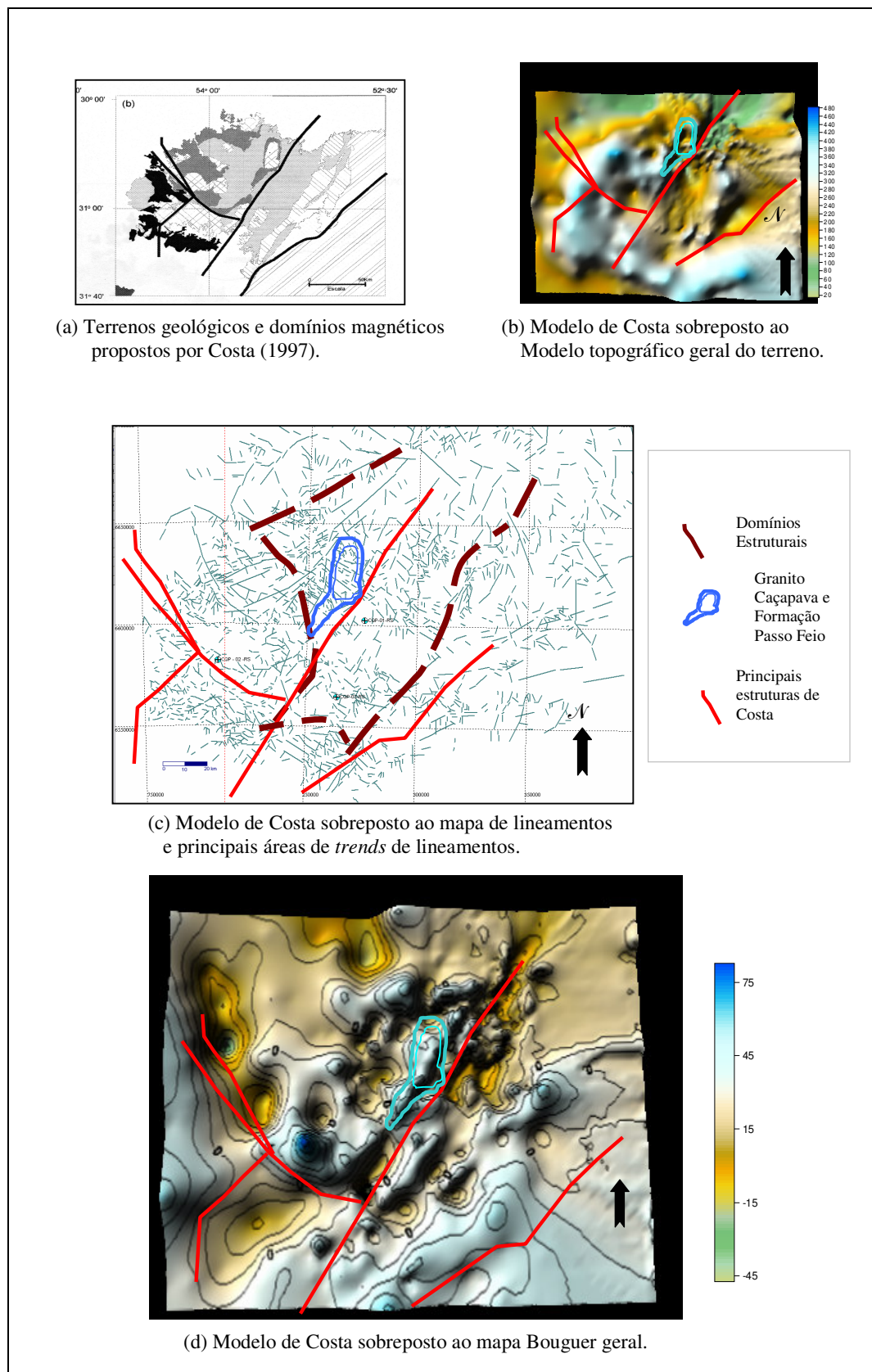


Figura 5.1. Correlação Tectono-estratigráfica geral da Bacia do Camaquã.

Localmente (Figura 5.2), baseados nos perfis e mapas gravimétricos na área da Bacia do Camapuã onde aflora a sub-bacia Guaritas, apresenta-se como vários corpos compartimentados, com característica homogeneia e profundidade que atinge 8km (perfil 4, Figura 4.19), a compartimentação se dá por “calhas” do embasamento (Costa *et al.* 1996.) ou pela presença de corpos basálticos do Bom Jardim (no furo CQP-01-RS, próximo do perfil 2, observa-se a presença de aproximadamente 200m de andesito). Na direcional WE vários altos e baixos intercalados são observados, cuja forma lembra um escalonamento por falhas normais. A sub-bacia é limitada a Leste pela falha mestre do Guaritas.

A grande anomalia negativa, que delimita a maior espessura dos pacotes sedimentares na Bacia Guaritas nos perfis 3 e 4, pode ser caracterizada como o depocentro da bacia, a época da deposição da Formação Guaritas. Tal assertiva deve-se a observação da espessura do Guaritas no poço CQP-01-RS, que tem cerca de 600m de espessura de sedimentos horizontalizados desta formação. É presumido que o restante deva ser composto por rochas do Grupo Bom Jardim e mesmo do Grupo Maricá, os quais podem estar deformados e invertidos, causando duplicação de camadas.

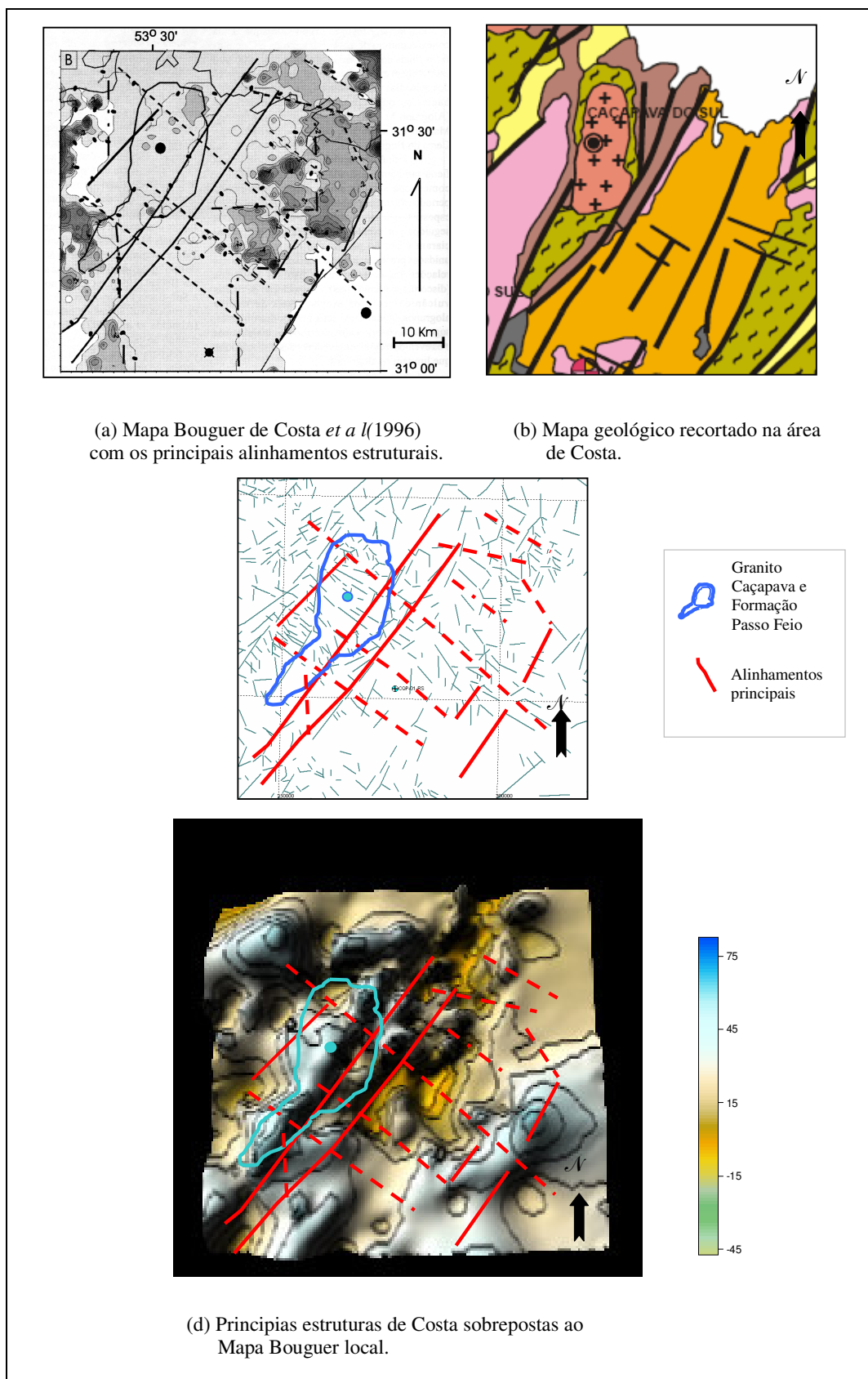


Figura 5.2. Correlação tectonoestratigráfica local da Bacia do Camaquã.

A correlação tectono-estratigráfica dos mapas gerais e locais de topografia, bouguer, geológico e os perfis de poços da Bacia do Camaquã possibilitaram a elaboração de dois perfis esquemáticos que compuseram o modelo esquemático proposto para a Bacia do Camaquã (Figura 5.3 e 5.4). Este modelo é sobreposto ao modelo topográfico do terreno, tendo como topografia do perfil as áreas de corte retiradas do modelo topográfico. A direcional do perfil foi condicionada a dois planos de reta que passam pelos poços trabalhados.

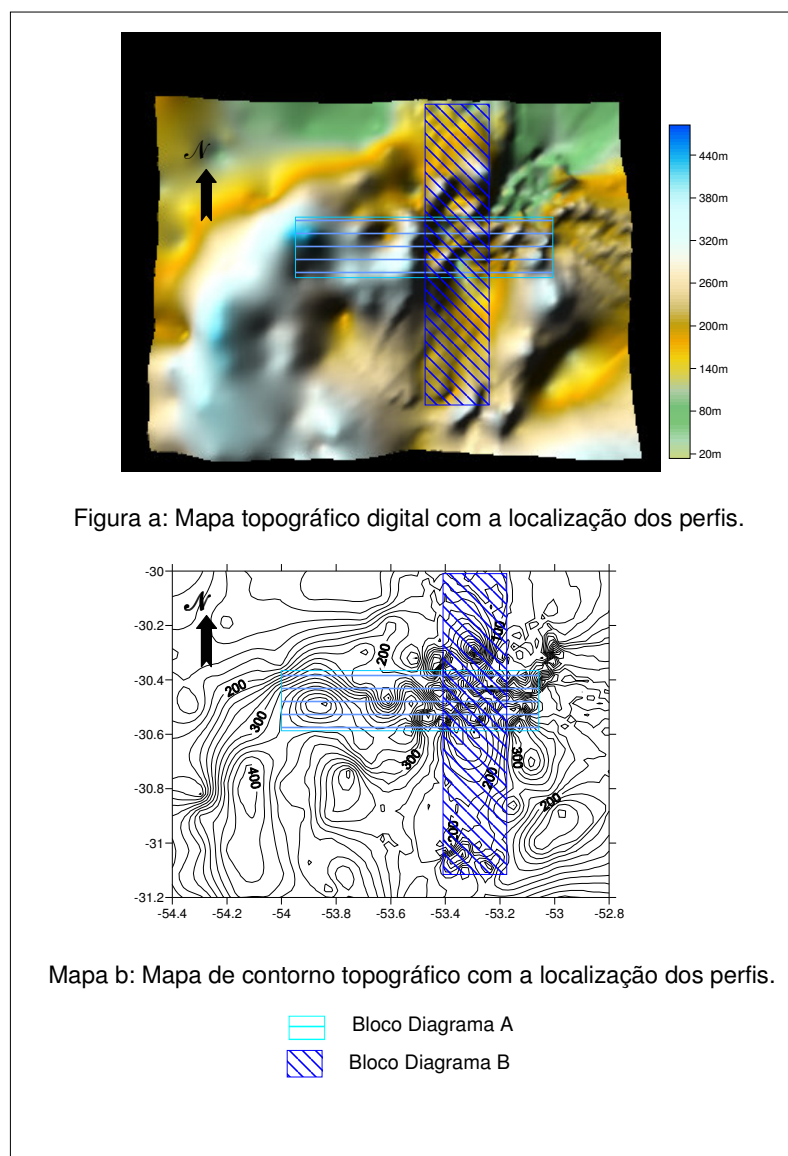


Figura 5.3. Mapa topográfico e de contorno com a localização dos blocos diagramas A e B.

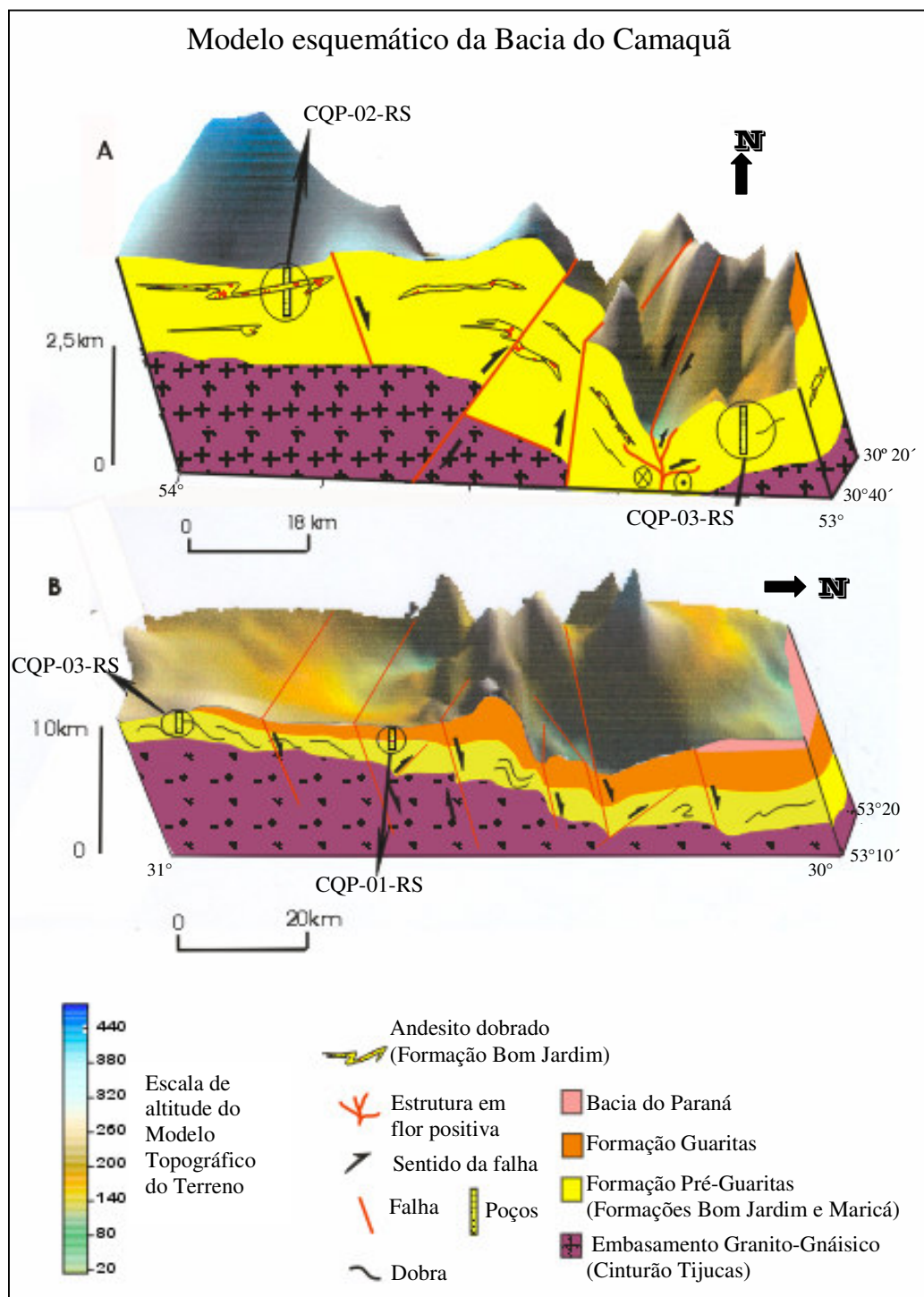


Figura 5.4. Modelo esquemático da Bacia do Camaquã sotoposta ao modelo topográfico do terreno.

Bloco diagrama A e B. A localização dos blocos diagramas encontra-se na figura 5.3.

***CAPITULO VI: CONCLUSÕES E
RECOMENDAÇÕES***

6.1. CONCLUSÕES

Em função dos dados até então obtidos pode-se concluir o seguinte:

- As principais áreas de concentração de lineamentos delimitam as regiões próximas à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, à Anomalia Gravimétrica Central e aos alinhamentos gravimétricos estruturais associados à anomalia Gravimétrica Central.

- Quatro domínios estruturais foram delimitados de acordo com a direcional preferencial dos lineamentos: (i) domínio 1 NW, (ii) domínio 2 NE, paralelos à Sutura do Caçapava; (iii) domínio 3, N, NE e NW, sendo a direção N bem evidente; (iv) domínio 4, NE e NW, com influencia do Lineamento de Ibaré (NW) e Lineamento de Caçapava (NE).

- Mediante a correlação dos poços pode ser demarcada a superfície de descontinuidade entre a Formação Guaritas (depósito aluviais) e a Formação Bom Jardim (depósitos fluvio-deltáicos), (poço CQP-01-RS), e evidenciam a existência de eventos de tipo tectônico com deformações rúptil a dúctil-rúptil (poços CQP-02-RS e CQP-03-RS).

- Estabeleceram-se diferentes fácies tectono-estratigráficas. Por meio da associação de fácies demarcou-se as seqüências stratigráficas, classificando-as em deposicionais e deformacionais.

- A densidade das rochas, de amostras dos poços, apresentou um comportamento diferenciado (linear ou não variado) entre os poços analisados, distinguindo a diferença de compactação entre as Aloformações Guaritas e Bom Jardim.

- Pelos perfis gravimétricos locais, demarcou-se a diferença de densidade entre os sedimentos Gonduânicos (-2), e os sedimentos da Bacia do Camaquã na Formação

Guaritas (0 e +1). Também puderam ser definidos os valores para as rochas graníticas (-4), rochas vulcânicas intermediárias granito-gnáissicas (+12) e sedimentares da Formação Bom Jardim (entre +2 e +3,5).

- Nos perfis regionais, seções 1 a 4 de Costa *et al* (1996), de orientação E-W podem ser demarcadas as rochas sedimentares da Formação Guaritas (-5) e as rochas vulcânicas do Bom Jardim (+4). Ainda foram separadas as rochas do Complexo Granítico Caçapava do Sul (-4) das rochas vulcânicas do Bom Jardim e Andesito do Rodeio Velho do Guaritas (até +12).

- Na correlação tectono-estratigráfica regional (Figura 5.2), com a integração de imagens de satélites digitais, LANDSAT TM, dos registros de poço e da gravimetria, pode-se concluir que a Bacia do Camaquã é formada por faixas alongadas de blocos menores os quais estão compartimentados e deslocados para NE. Na porção NE da bacia ocorrem as maiores espessuras do Guaritas, depocentro, cuja a falha mestre está a leste da bacia.

- A sub-bacia Guaritas (Figura 5.3) apresenta-se como vários corpos compartimentados, com profundidade de até 8km, sendo a compartimentação marcada por “calhas” do embasamento (Costa *et al.* 1996) ou pela presença de corpos basálticos do Alogruppo Bom Jardim. Na direcional WE vários altos e baixos intercalados são observados, cuja forma lembra um escalonamento por falhas normais.

- Uma caracterização geológica permitiu gerar um modelo preliminar da bacia, e sua compartimentação. Mediante este diagrama esquemático tridimensional (Figura 5.4), mostra-se uma serie de blocos (sub-bacias), associadas a eventos tectônicos de caráter local e regional, que evidenciam eventos tectono-estratigráficos compressivos e distensivos.

6.2. RECOMENDAÇÕES

- Realizar estudos geofísicos mais precisos, com ferramentas de melhor poder de resolução e detecção, para determinar um modelo mais exato da bacia, por exemplo, sísmica de reflexão.

- Fazer uma manipulação de dados com toda a informação gravimétrica para estabelecer um modelo tridimensional da bacia.

- Fazer um estudo com melhor resolução para a edição e interpretação de poços, através de uma maior malha de poços na área da bacia.

- Para justificar o sentido tectono-estratigráfico encontrado nos poços há a necessidade do método de reflexão (sísmica) convencional, que permite caracterizar as camadas sedimentares e correlacioná-las com as seqüências obtidas a partir dos poços. As estruturas de tipo tectônico podem ser encontradas e delimitadas a partir desta técnica, que possibilita estabelecer sua contemporaneidade.

CAPÍTULO VII: REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. **Relatório sobre Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil.** Relatório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 14091, 187 p, 1980.

ALMEIDA, D.P.M.; CONCEIÇÃO, R.V.; CHEMALE JUNIOR, F.; KOESTER, E. BORBA, A.W.; PETRY, K. Evolution of heterogeneous mantle in the Acampamento Velho and Rodeio Velho volcanic events, Camaquã Basin, southern Brazil. In: Simpósio de vulcanismo e ambientes associados. **Anais...** Rio de Janeiro. p.303-308, 2005.

BECKEL, J. 1992. Evolução geotectônica da Bacia do Camaquã, RS. In: **WORKSHOP. BACIAS MOLÁSSICAS BRASILIANAS,1**, São Leopoldo, p. 1-5.

BORBA, A.W.; MARASCHIN, A.J.; MISUZAKI, A..M.P. Stratigraphic analysis and depositional evolution of Neoproterozoic Maricá Formation (Southern Brazil): Constrains from Field Data and Sandstone Petrography. **Gondwana Research**, v.7. No.3, pp.871-886, 2004.

BORBA, A.W.; VIGNOL-LELARGE, M.L.M.; MISUZAKI, A.M.P, Uplift and denudation of the Caçapava do Sul granitoids (southern Brazil) during Paleozoic and Mesozoic constraints from apatite fission-track data. **Journal of South American Earth Sciences**. Oxford, v. 15, p 683-692. 2002.

CARAVACA, G. **Estratigrafia, Faciologia e proveniência dos Alogrupos Bom Jardim e Santa Bárbara na região de Encruzilhada do Sul, RS: Uma contribuição a análise da Bacia do Camaqua.** 1998. 274 f. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, curso de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1988.

CARVALHO, P.F. Reconhecimento geológico do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Boletim Instituto Geológico Mineiro Brasileiro.**, Rio de Janeiro., 66, 72p.,1932.

CASTILLO, L. A., MONTES, L. V., VARGAS, C. A. & DIAZ, R.. Geofísica de campo em depósito de sal: desarrollo de herramientas computacionales. (**informe**). Grupo de geofísica Universidad Nacional de Colombia. 2003.

CHEMALE JR, F. Evolução geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds). 2000, **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 13-52.

CHEMALE JR, F.; GRESSE, P.; DA SILVA, L.C.; HARTMANN, L.A.; WALRAVEN, F. 1995. Correlação geológica entre as unidades Brasilianas e Panafricanas do Sul do Brasil e África do Sul. In: SIMPOSIO. SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 6. ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, 1. Porto Alegre, 1995. **Atas...**, Porto Alegre: SBG, 1995. p.13-16.

CHEMALE, F.; HARTMANN, L.A.; BABINSKI, M.; WILDNER, W.; VAN SCHMUS, W.R. 1994. Evolução tectônica do bloco São Gabriel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 38, Balneário de Camboriú. **Anais...** Balneário de Camboriú: SBG, 1994, v.1, p.232-233.

CORDANI, U.G.; BRITO NEVES; B.B., FUCK, R.A.; PORTO, R., FILHO, A.T.; CUNHA, F.M.B. 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Série Ciência-Técnica-Petróleo. Rio de Janeiro, 1984, (PETROBRÁS/CENPES/SINTEP), n.15, p 70.

COSTA, A.F.U. **Teste e Modelagem Geofísica da Estruturação das associações litotectônicas pré-cambrianas no escudo Sul-Rio-Grandense.** 1997. V. I-II. Tese (Doutorado)-Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

COSTA, A.F.; CHEMALE JR., F.; MAGRO, F.H.S.; DIAS, N. L, Modelagem gravimétrica da Bacia do Camaquã. Projeto Bacias Molássicas Brasilianas. **Relatório de projeto CNPQ/CPRM**, 1996

COSTA, A.F.U.; FERNANDES, L.A.D.; SHUKOWSKY, W.; NARDI, L.V.S.M.; BITENCOURT, M.F. Teste dos Modelos Tectônicos e de Posicionamento do Complexo Granítico de Caçapava do Sul a través de Estudos de Modelagem Gravimétrico 3D. **Revista Brasileira de Geofísica.**, v 13, n. 2, p. 91-101, 1995.

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Exemplos de Geofísica em Levantamentos Geológicos. **Geofísica em Levantamentos Geológicos no Brasil.** 1994,165p.

CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Passo do Salsinho. Folha SH.22-Y-A-I-4, Estado do Rio Grande do Sul, Brasília, 1995. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** 339p. 1995.

CRAIN, E.R. **Petrophysical Handbook Stratigraphic Analysis part 1** - Depositional Environment, Alberta, Canadá, 2003. Cap. XIII.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoramento Remoto**. Ed. Rev. – Campinas, SP: IG/ UNICAMP, 1993. 170 p.

DIAS, M.S.; BRAGA, F.S.L. Uso do campo Potencial na Exploração dos Recursos Minerais Marinhos. **Brazilian Journal of Geophysics**, v.18 n.3, 2000.

DIREEN N.G. Application of terrain corrections in Australia. Tasmania. **AGSO**. Tasmania University, p. 1-9, 2001.

DOBRIN M.; SAVIT., C. H. **Introduction to Geophysical Prospecting**. New York: McGraw Hill, Fourth ed. 1988.

DOS SANTOS, A.R. O sensoramento Remoto e a Estrutura Ruptil: exemplos de Aplicações em estudos tectônicos. Instituto de Pesquisas Espaciais. INPE. São José dos Campos –SP. **Relatório Interno**, 1985.

FERNANDES, C. E. De M. **Fundamentos de Prospecção Geofísica**. Rio de Janeiro, 1982. 189 p.

FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: A reappraisal. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 5, n. 1, p. 77-96, 1992.

FRAGOSO CESAR, A.R.S. 1990. Tectônica de Placas no Bloco São Gabriel, (RS). Em base dos dados geológicos, geocronológicos e geoquímicos. In: Workshop Geoquímica Isotópica, Geocronologia e Litoquímica das regiões Sul e Sudeste do Brasil, São Paulo. Bol. Res..., SBGq - IG/USP.

FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; FACCINI, U.F.; PAIM, P.S.G.; LAVINA, E.L.; ALTAMIRO, J.R.F. Revisão na estratigrafia das molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul. In: SIMPOSIO SUL-BRASILEIRO GEOLOGIA. 1985. Porto Alegre, v. 2, **Anais...** p. 477-491.

FRAGOSO CESAR, A.R.S.; WERNICK, E.; SOLIANI JR., E. - a - Associações Petrotectônicas do Cinturão Dom Feliciano (SE da Plataforma Sul-Americana). In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA., 32, Salvador, SBG. **Anais...**, v.1, p. 1-12, 1982.

LEITE, J.A.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; CHEMALE JR.; REMUS, M.V.D. SHRIMP U/Pb zircon geochronology of Neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in southernmost Brazil. *International. Geological Review*, v.40, p. 699-705, 1998.

LEITES, S.R.; LOPES, R.C.; WILDNER, W.; PORCHER, C.A.; SANDER, A. 1990. Divisão Litofaciológica da Bacia do Camaquã na Folha Passo do Salsinho, Caçapava do Sul-RS, e sua Interpretação Paleoambiental. In: CONGRESO BRASILEIRO GEOLOGIA., 1990. Caçapava, **Anais...**Caçapava: 1990. v. 36, n. 1, p. 300-302.

LIMA, E.F.; WILDNER, W.; LOPES, R. da C.; SANDER A.; SOMMER, C.A. Vulcanismo Neoproterozóico associado as Bacias do Camaquã e Santa Bárbara - RS: **Uma revisão**. In: SIMPOSIO SUL-BRASILEIRO GEOLOGIA, 6º ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, 1995., 1. Porto Alegre, p.197-191.

LIMA, EVANDRO FERNANDES DE, 2002. Principais registros vulcânicos da Bacia do Camaquã, RS. Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados. **Boletim de resumos e roteiro de excursões**. Belém, PA. p. 7.

MADRUCCI, V.; ARAUJO, C.C.; TAIOLI, F. Sensoramento Remoto, Aerogeofísica e Geoprocessamento aplicados ao estudo de Aquifero fraturado em terreno Cristalino, leste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33. p.43-52. 2003.

MENEGAT, R. ; FERNANDES, L. A. D. . A reappraisal of the nature and age of the late-orogenic basins of the neoproterozoic Dom Feliciano Belt in southern Brazil. In: 11 Congreso Latinoamericano de Geología, 2001, Montevideo, Uruguai. **Abstract**, 2001. v. 1. p. 22.

PAIM, P.S.G.; CHEMALE JR., F.; LOPES, R.C. Bacia do Camaquã. In: Holz, M. ; De Ros, L.F. (Eds), **Geología do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 231-274. 2000.

PORADA, H. The Damara-Ribeira orogen of the Pan-Africa-Braziliano Cycle in Namibia (Southwest Africa) and Brazil as interpreted in terms of continental collision. **Tectonophysics**, v. 57, p. 237-265, 1979.

SHERIFF R. E.; GELDART L. P. **Exploración Sismológica**: Procesamiento e interpretación de datos, Vol. II, Editorial: Noriega Editores, 1991.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J. 1974. Avaliação Preliminar da Evolução Geotectônica das Bacias Intracratônicas Brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, v.4, p. 61-83.

SOLIANI JR., E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem tectônica.** 1986. 425 p. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.

SOLIANI JR., E.; KAWASHITA, K.; BAITELLI, R. A Geologia Isotópica do escudo Sul-Rio-grandense. Parte I: métodos Isotópicos e valor interpretativo. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds), **Geología do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 161-174.

SOLIANI JR., E.; KOESTER, E.; FERNANDES, L.A.D. A Geologia Isotópica do escudo Sul-rio-grandense. Parte II: os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds), **Geología do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 175-224.

TESSARI, R.I.; PICADA, R.S. 1966. Geologia da Quadrícula de Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. In: Boletim DNPM/DFPM, **Boletim.** Rio de Janeiro, 124, 124 p.

TOMMASI, A.; FERNANDES, L.A.D. 1990. O ciclo brasileiro na porção sudeste da Plataforma Sul-americana: um novo modelo. In: CONG. URUG. GEOL., 1. Montevideo, 1990. **Anais...**Montevideo. v.1, p.107-114.

TOMMASI, A.; FERNANDES, L.A.D. 1991. Caracterização de um regime tangencial na porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense. In: SIMP.NAC.EST.TECT., 4. Rio Claro, 1991. **Boletim de Resumos...**Rio Claro, SBG, p.128-131.

VIEIRA, M.N. **Vetorização e análise de tendências de cartas de lineamentos geológicos.** 1998. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1998

WALKER, R.G., JAMES, N.P. 1992. **Facies Models:** response to sea level change. St. John's : Geological Association of Canada. 509 p.

WILDNER, W.; LIMA, E.F.; CAMOZZATO, E.; LOPES, R.C. 1997. Vulcanismo Neoproterozóico-Cambriano no Rio Grande do Sul: Estratigrafia e aspectos texturais. **A Terra em Revista**, N.3, p.19-27.

WHITE, I.C. 1908. Relatório sobre as Coal Measures e Rochas Associadas ao Sul do Brasil. **Relatório Final da Comissão dos Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**, Parte 1, Rio de Janeiro, p. 1-300.

ZERFASS., H.; CHEMALE., F.; LAVINA., E. Tectonic Control of the Triassic Santa Maria Supersequence of the Paraná Basin, Southernmost Brazil, and its Correlation to the Waterberg Basin, Namibia. **Gondwana Research**, Japan, v.8, n. 2, p. 163-176. 2005.

ANEXO

ALGORÍTMO IMPLEMENTADO.

Para a análise dos dados gravimétricos se efetuou a correção a partir de um algoritmo desenhado com os conceitos básicos da gravimetria (Castillo *et al.*, 2003). Este possibilitou obter a aproximação dos dados com uma boa correção, para que fossem graficados e visualizados.

Na sequência são descritos o algoritmo desenvolvido e a técnica para determinar as correções gravimétricas e obter as anomalias respectivas.

Obtenção dos Valores de Gravidade Absoluta nos Pontos de medida de Gravidade Relativa.

Primeiro foi feito a amarração das estações base (Bagé e Candiota) com o valor de gravidade absoluta da estação pertencente á rede gravimétrica.

O método aplicado foi o de mínimos quadrados onde foi necessário planejar os ciclos de medida e suas correspondentes equações. O resultado foi:

$$\text{Bagé} = 9.773086996666668e+005 \text{ mgal}$$

$$\text{Candiota} = 9.772131783030303e+005 \text{ mgal}$$

O programa desenhado em Matlab para obter os valores anteriores é **“dadosestacoes.m”**. Seu conteúdo é:

```
%circuito de estações trajeto Bagé - Candiota.  
  
%cate é o valor da gravidade absoluta que se encontra em Bagé.  
cate=;  
  
a(1)=cate-();b(1,:)= [1 0];  
  
a(2)=;b(2,:)= [1 -1];  
  
a(3)=cate+-;b(3,:)= [0 1];
```

```
a(4)=cate-+;b(4,:)=[0 1];
a(5)= - ;b(5,:)=[-1 1];
a(6)=cate+-;b(6,:)=[1 0];
m=inv(b'*b)*b'*a';
BM21=m(1);Boc=m(2);
%circuito de estações do trajeto.
clear a b m
a(1)=BM21-+;b(1,:)=[1 0];
a(2)= -;b(2,:)=[1 -1];
a(3)= -+BM21;b(3,:)=[0 1];
a(4)= -+BM21;b(4,:)=[0 1];
a(5)= -;b(5,:)=[-1 1];
a(6)= -+BM21;b(6,:)=[1 0];
m=inv(b'*b)*b'*a';
DO6=m(1);BM27=m(2);
%circuito de estações BM27, BM43 Y BM01.
clear a b m
a(1)=BM27- - ;b(1,:)=[1 0];
a(2)= - ;b(2,:)=[1 -1];
a(3)= -;b(3,:)=[-1 1];
a(4)= - ;b(4,:)=[1 -1];
a(5)= - ;b(5,:)=[-1 1];
a(6)= - ;b(6,:)=[1 -1];
a(7)= - +BM27;b(7,:)=[0 1];
m=inv(b'*b)*b'*a';
BM43=m(1);BM01=m(2);
```

Correções por deriva instrumental e maré.

A deriva instrumental foi aplicada a valores medidos da gravidade relativa. Ao obter a curva real em campo, foi estimado o valor teórico cujo valor máximo foi de 0.003 mgal.

Os valores de maré foram obtidos com o uso do programa “MAREAS.BAT”, na qual é necessário colocar os valores de coordenadas geodésicas, data, hora e decimal inicial. MAREAS.BAT obtém um arquivo de dados os quais posteriormente, em Matlab, se interpolam com respeito á hora de medida em cada ponto.

Distribuição do erro de altitude.

A diferença de valores dados na estação base inicial e na estação base final, é repartida em função do tempo para os pontos de medida, inerente ao ciclo marcado pelas estações base.

A integração das correções do numeral 4.3.2.1, desenhou-se com o programa “**calgobser.m**”. Esse programa calcula os valores de gravidade os quais se somaram ou subtraíram as correções por ar livre, Bougue, latitude, e o valor de gravidade teórica.

```
%FUNÇÃO PARA OBTER OS VALORES DE GRAVIDADE CORRIGINDO DE DERIVA,  
MARÉ E BASES.  
  
%Dobs= dados observados.  
  
%Horas= tempo da medida.  
  
%dIns= deriva instrumental, se introduz um mínimo e máximo Ex:  
[0.001 0.005].  
  
%Marea= vetor calculado da maré ocorrida no dia de tomada de  
dados.  
  
%ctegrav= constante gravimétrica do instrumento.
```

%gravestação é o valor da gravidade absoluta da estação inicial e final previamente calculadas.

```
function
[gobs,Horas]=calgobs2(Dobs,Horas,dIns,Marea,ctegrav,gravestacion);

%Passa o tempo de medida a um formato decimal.
for i=1:length(Horas);

    Horas1(i)=Horas(i)-fix(Horas(i));

    Horas1(i)=Horas1(i)/0.6;

    Horas(i)=fix(Horas(i))+Horas1(i);

end

%Calculo da maré ocorrida nos tempos específicos de tomada de
dados
HorasMarea=[    ];

Mareax=interp1(HorasMarea,Marea,Horas);

%abrange linearmente o range da deriva instrumental a cada ponto
dInstru=dIns(1):(dIns(2)-dIns(1))/(length(Dobs)-1):dIns(2);

%Calcula a multiplicação dos dados pela cota do gravímetro e
sobrando os desvios.

%por maré e deriva instrumental.
for i=1:length(Dobs)

    Med1(i)=(ctegrav*Dobs(i))-dInstru(i)-Mareax(i);

end

Med1t=(Med1(length(Med1))-Med1(1))+(gravestacion(1)-
gravestacion(2));

%Distribuição em função do tempo à soma total da anterior
operação.

%cerrel(1)=0;
for i=1:length(Med1);

    cierrel(i)=((Horas(i)-Horas(1))*Med1t)/(Horas(length(Horas))-
Horas(1));

end
```

```
%cerre2(1)=0;
for i=1:length(cierrel);
    cierre2(i)=Med1(i)-cierrel(i);
end
cierre3(1)=0;
for i=2:length(cierrel);
    cierre3(i)=cierre2(i)-cierre2(i-1);
end

%Obtenção da gravidade observada.
gobs(1)=gravestacion(1);
for i=2:length(Med1);
    gobs(i)=gobs(i-1)+cierre3(i);
end
```

Correções por Ar livre, Bouguer, latitude e gravidade teórica

Os cálculos das correções e a gravidade teórica se realizarão mediante o uso das equações consignadas no marco teórico. O programa função que reúne este procedimento se chama “gravcorrec.m”. Seu conteúdo é:

```
%CÁLCULO DA GRAVIDADE TEÓRICA E CORREÇÕES AR LIVRE, BOUGUER E
LATITUDE.
% g=978031.85(1+0.0053024*sin(latitud)^2-0.0000059*sin(latitud)^2)
function [gt,Clat,Cal,CB]=gravcorrec(latitud,altitud,densidad);
%Converter latitude em graus a radianos;
for i=1:length(latitud);
    latitudx(i)=latitud(i)*pi/180;
end
for i=1:length(latitudx);
```

```
gt(i)=978049*(1+0.0052884*((sin(latitudx(i)))^2)-  
0.0000059*((sin(latitudx(i)))^2));  
end  
for i=1:length(latitudx);  
    Clat(i)=0.0008108*sin(2*latitudx(i));  
end  
for i=1:length(latitudx);  
    Cal(i)=0.3086*altitud(i);  
end  
for i=1:length(latitudx);  
    CB(i)=0.04192*altitud(i)*densidad;  
end
```