

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ISSACAR BARROSO**

**ESTUDO GRAVIMÉTRICO NA DELIMITAÇÃO DO ARCABOUÇO GEOLÓGICO-  
ESTRUTURAL DO DEPÓSITO POLIMÉTALICO SANTA MARIA-RS.**

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2018**

**ISSACAR BARROSO**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2018**

ISSACAR BARROSO

**ESTUDO GRAVIMÉTRICO NA DELIMITAÇÃO DO ARCABOUÇO GEOLÓGICO-  
ESTRUTURAL DO DEPÓSITO POLIMÉTALICO SANTA MARIA-RS.**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como requisito  
parcial para obtenção do Título de Bacharel em  
Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13/12/2018

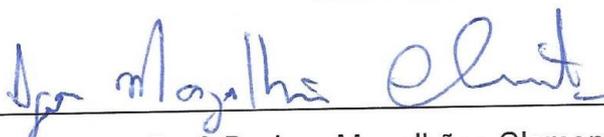
Banca examinadora:



Prof. Dr. Maximilian Fries

Orientador

UNIPAMPA



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

UNIPAMPA



Geólogo Ram Horizonte Seixas Betancourt

Nexa Resources

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus que proveu durante toda a graduação os caminhos necessários para esta conquista mesmo quando muitas das vezes a esperança faltou a sua provisão esteve presente.

A minha família pelo apoio incondicional mesmo a distância sempre se fez presente e são protagonistas desta história com doses abundantes de amor, compreensão, incentivo, dedicação, companheirismo. Aos meus pais Ribamar e Nerilda, minha irmã Andiará, ao meu cunhado Thiago. Aos tios e tias, primos, aos meus avós que não puderam presenciar este momento, mas seus ensinamentos são guardados até com imensa saudade.

Agradeço também a Juliana por sempre me apoiar, nos momentos onde faltava forças com incentivo palavras de ânimo e companheirismo.

Ao meu orientador Maximilian Fries um agradecimento especial por sempre acreditar no trabalho, pela paciência nas correções. Obrigado pelos conselho e ajuda durante a graduação, ao longo da trajetória acadêmica deixou de ocupar apenas o lugar de mestre se tornando amigo, compartilhando dos momentos bons e ruins. Os resultados deste trabalho estão diretamente ligados à sua dedicação na orientação. Também ao Laboratório de Geofísica Aplicada pela viabilidade técnica do trabalho.

A república/família Geoloki, obrigado pela parceria das madrugadas acordadas, pelo chimarrão e o churrasco. Aos amigos/irmãos William (Vilian), Renê (rôia), André (pipoca) Gabriel (biel), Jean (bixo) que nunca deixaram de acreditar que essa trajetória seria possível, as experiências vividas nesta república durante os anos de faculdade nunca se apagarão da memória.

Aos amigos de faculdade Saulo, Hernanes, Roni, Jorge, Ana Tavares, Pedro, Camila, Gilberto, Ladislau, Tati, Marly, Juno, Guilherme, que durante a caminhada sempre estiveram ao lado seja nas madrugadas de estudos ou nos momentos de festa. Aos demais que ainda não tenha mencionado, faltariam linhas para descrever todos de todos.

A equipe da Nexa Resources obrigado pelo apoio na execução do trabalho e o crescimento profissional durante o período de estágio, participando ativamente na formação profissional e pessoal. Um agradecimento aos profissionais que durante este período fizeram parte da equipe do Projeto Caçapava do Sul: Samuel, Ram, Tereza, Rafael, Ana Caroline, Lisandro, Cícero, Nataly, Viviane, Totinha, Mano, Nego,

Valdir, Beto, Murilo, Micuim, Reginaldo, Elvis, Ângelo, Luana entre outros. Obrigado pelos ensinamentos, o bom ambiente de trabalho e pela amizade ao longo dos anos.

Aos professores Cristiane Heredia, Ângela Hartmann, Márcio Martins agradeço a oportunidade de trabalhos e projetos, a vivência acadêmica foi muito além de decorar formulas e capítulos de livros. Um cientista se faz com ações inovadoras e que elas possam sair apenas dos limites da universidade. Por fim agradeço aos demais professores e técnicos e outros funcionários que trabalham dia após dia incansavelmente na construção e desenvolvimento da UNIPAMPA.

“É perigoso sair porta afora, Frodo....você pisa na estrada, e, se não controlar seus pés, não há como saber até onde você pode ser levado”.

**J.R.R. Tolkien (O Senhor dos Anéis)**

## RESUMO

A região das Minas do Camaquã é historicamente conhecida por possuir mineralizações em diversos ciclos de mineração desde o final do século XIX. A caracterização geológica estrutural é geralmente realizada em superfície tendo-se carência de dados de subsuperfície. Estes geralmente são realizados por meio de sondagens na fase exploratórias que, no entanto, são onerosas e demandam tempo para análise, descrição e caracterização final. A aplicação da geofísica consiste em uma abordagem indireta e não invasiva. Além disso oferece subsídios quanto as estruturas, variações de densidade e contatos litológicos tanto em superfície como em níveis profundos. O presente trata-se de aquisição gravimétrica terrestre de detalhe em uma área localizada a sudoeste da Bacia Sedimentar do Camaquã. O local é representado por litologias sedimentares e vulcano sedimentares, havendo ainda presença de vulcanismo e plutonismo associado. A partir de perfis geofísicos e litológicos seccionando as principais estruturas e litologias, foi possível a interpretação dos dados e caracterização da assinatura geofísica gravimétrica das rochas e discontinuidades (falhas, fraturas e corpos intrusivos). A análise do dado gravimétrico oferece também, o reconhecimento e interpretação das litologias a partir da integração aos dados de testemunho de sondagem possibilitando a aferição e ressaltando a confiabilidade do processamento gravimétrico.

Palavras-Chave: Bacia do Camaquã, Gravimetria, Técnicas de processamento.

## **ABSTRACT**

The Camaquã Mine region has historically been known to have mineralization in several mining cycles since the late nineteenth century. Structural geological characterization is usually carried out on the surface with a lack of subsurface data. These are usually carried out by means of exploratory phase surveys which, however, are costly and require time for analysis, description and final characterization. The application of geophysics is an indirect and non-invasive approach. In addition, it provides subsidies on structures, density variations and lithological contacts on both surface and deep levels. The present is about terrestrial gravimetric acquisition of detail in an area located southwest of the Camaquã Sedimentary Basin. The site is represented by sedimentary and volcanic sedimentary lithologies, and there is also volcanism and associated plutonism. It was possible to interpret the data and characterize the gravimetric geophysical signature of the rocks and discontinuities (faults, fractures and intrusive bodies) from the geophysical and lithological profiles by sectioning the main structures and lithologies. The analysis of the gravimetric data also offers the recognition and interpretation of the lithologies from the integration to the data of probe testimony allowing the calibration and emphasizing the reliability of the gravimetric processing

Keywords: Camaquã Basin, Gravimetry, Processing techniques.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO ÁREA DE ESTUDO. ....	19
FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA POSIÇÃO DO GEÓIDE E DO ESFEROIDE EM RELAÇÃO À SUPERFÍCIE TERRESTRE. ....	23
FIGURA 3. VARIAÇÃO DA GRAVIDADE DEVIDA ÀS ATRAÇÕES DO SOL E DA LUA EM BELÉM, PARÁ, BRASIL (COORDENADAS 1° 30' SUL – 48° 30' OESTE; ALTITUDE = 4 M)..	27
FIGURA 4. EFEITO TOPOGRÁFICO NA REDUÇÃO GRAVIMÉTRICA. ....	29
FIGURA 5. MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO ESCUDO SUL-RIO-GRANDENSE (ERSG).	32
FIGURA 6. PRINCIPAIS PROPOSTAS ESTRATIGRÁFICAS PARA AS COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANO-SEDIMENTARES DA PORÇÕES CENTRO-SUL DO RIO GRANDE DO SUL. ....	33
FIGURA 7. MAPA GEOLÓGICO BACIA DO CAMAQUÃ E ÁREA DE ESTUDO (RETÂNGULO VERMELHO).....	36
FIGURA 8. COLUNA ESTRATIGRÁFICA DAS ROCHAS NA REGIÃO DAS MINAS DO CAMAQUÃ SIMPLIFICADA.....	38
FIGURA 9. GRÁFICOS DE DENSIDADE DAS LITOLOGIAS PRESENTES NA ÁREA DE ESTUDO...	39
FIGURA 10. MAPA GEOLÓGICO/ESTRUTURAL SIMPLIFICADO DA ÁREA DE ESTUDO. ....	40
FIGURA 11. CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA ENTRE UNIDADES LITOLÓGICAS DEFINIDAS POR FAMBRINI (2003) E ADOTADAS POR NEXA RESOURCES.....	41
FIGURA 12. FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES REALIZADAS. ....	42
FIGURA 13. MEDIDAS COM O GRAVÍMETRO NA ESTAÇÃO GRAVIMÉTRICA BASE - CAMPUS UNIPAMPA CAÇAPAVA DO SUL.....	44
FIGURA 14. MEDIDAS COM O GRAVÍMETRO PARA IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO GRAVIMÉTRICA ESC01, MINAS DO CAMAQUÃ: A) LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO; B) NIVELAMENTO GRAVÍMETRO; C) AFERIÇÃO ALTURA DA MEDIÇÃO.....	45
FIGURA 15. BASE TOPOGRÁFICA DE REFERÊNCIA NA MEDIÇÃO PLANIALTIMÉTRICA: A) LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO, B) IDENTIFICAÇÃO ESTAÇÃO GRAVIMÉTRICA, C) ESTAÇÃO GPS BASE LOCALIZADA EM MARCO TOPOGRÁFICO. .....	47
FIGURA 16. LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS OBTIDAS NO LEVANTAMENTO..	49
FIGURA 17. DELIMITAÇÃO DA ÁREA COM AS INFORMAÇÕES DE A) MAPA GEOLÓGICO; B) MODELO DE ELEVAÇÃO NUMÉRICA; C) MAPA DE LINEAMENTOS	

ESTRUTURAIS; D) MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL INTEGRADO AO MODELO DIGITAL DE TERRENO. ....	52
FIGURA 18. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 1.....	58
FIGURA 19. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 2.....	59
FIGURA 20. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 3.....	60
FIGURA 21. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 4.....	61
FIGURA 22. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 5.....	62
FIGURA 23. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 6.....	63
FIGURA 24. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 7.....	64
FIGURA 25. PERFIL GEOFÍSICO E GEOLÓGICO - LINHA 8.....	65
FIGURA 26. MAPA DOS VALORES DA ANOMALIA <i>BOUGUER</i> . ....	66
FIGURA 27. MAPA DE RESÍDUOS DOS VALORES DA ANOMALIA <i>BOUGUER</i> SUBMETIDOS A UMA SUPERFÍCIE POLINOMIAL (TENDÊNCIA DE GRAU 5).....	67
FIGURA 28. MAPA DE CONTINUAÇÃO PARA CIMA (50 METROS) DOS VALORES DA ANOMALIA <i>BOUGUER</i> . ....	68
FIGURA 29. MAPA DE INTEGRAÇÃO GEOFÍSICO/GEOLÓGICO. A) MAPA DE ANOMALIA RESIDUAL <i>BOUGUER</i> ; B) MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS; C) INTEGRAÇÃO DE MAPA DE ANOMALIA RESIDUAL <i>BOUGUER</i> , MAPA LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E TOPOGRAFIA DE DETALHE. ....	70
FIGURA 30. MAPA DOS VALORES DE ANOMALIA <i>BOUGUER</i> . A) DOMÍNIOS GRAVIMÉTRICOS DOS VALORES DE ANOMALIA <i>BOUGUER</i> . B) INTEGRAÇÃO VALORES DE ANOMALIA <i>BOUGUER</i> E TOPOGRAFIA. ....	71
FIGURA 31. MAPA DOS VALORES DE ANOMALIA <i>CONTINUAÇÃO PARA CIMA (50 METROS)</i> . A) DOMÍNIOS GRAVIMÉTRICOS DOS VALORES <i>CONTINUAÇÃO PARA CIMA</i> (50 METROS). B) INTEGRAÇÃO VALORES DE <i>CONTINUAÇÃO PARA CIMA</i> (50 METROS) E TOPOGRAFIA. ....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DENSIDADE DE ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS. ....	24
TABELA 2. DENSIDADE DE SEDIMENTOS E ROCHAS SEDIMENTARES.....	25
TABELA 3. LOCALIZAÇÃO BASE GRAVIMÉTRICA CAMPUS CAÇAPAVA DO SUL, DATUM WGS84. ....	44
TABELA 4. LOCALIZAÇÃO BASE GRAVIMÉTRICA CAMPUS ESC01, MINAS DO CAMAQUÃ, DATUM WGS84.....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ESRG - Escudo Sul-rio-grandense

BC - Bacia do Camaquã.

CBC - Companhia Brasileira do Cobre

SIG - Sistema de Informações Geográficas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
2.1 GERAIS	17
2.2 ESPECÍFICOS	17
<b>3. JUSTIFICATIVA</b>	<b>18</b>
<b>4. AREA DE ESTUDO</b>	<b>19</b>
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>20</b>
5.1 GRAVIMETRIA – FUNDAMENTOS TEÓRICOS	21
5.1.1 LEI GRAVITAÇÃO UNIVERSAL	21
5.1.2 ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE	22
5.1.3 POTENCIAL GRAVITACIONAL	22
5.1.4 DENSIDADE DAS ROCHAS	23
5.1.5 CONTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS PARA O VALOR DA GRAVIDADE	25
5.2 GRAVIMETRIA – REDUÇÃO DOS VALORES DA GRAVIDADE	25
5.2.1 CORREÇÃO DE LATITUDE	26
5.2.2 CORREÇÃO DE MARÉ	26
5.2.3 ALTURA DO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO	27
5.2.4 CORREÇÃO DE ELEVAÇÃO (AR-LIVRE)	28
5.2.5 CORREÇÃO BOUGUER	28
5.2.6 CORREÇÃO TOPOGRÁFICA	28
5.2.7 DERIVA (DRIFT) INSTRUMENTAL	29
5.3 ANOMALIA BOUGUER	30
<b>6. CONTEXTO GEOLOGICO DA ÁREA</b>	<b>31</b>
6.1 GEOLOGIA REGIONAL	31
6.2 GEOLOGIA LOCAL DA ÁREA	37
<b>7. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>42</b>
7.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	43
7.2 TRANSPOSIÇÃO BASE GRAVIMÉTRICA	43
7.2.1 CÁLCULOS E REDUÇÃO DOS DADOS	45
7.3 AQUISIÇÃO GRAVIMÉTRICA NA ÁREA – PRINCIPAIS ETAPAS ADOTADAS	46
7.3.1 PLANIALTIMETRIA	46

<b>7.4 AQUISIÇÃO GRAVIMÉTRICA</b>	<b>48</b>
<b>7.5 REDUÇÃO DOS DADOS</b>	<b>50</b>
<b>7.6 MAPAS GRAVIMÉTRICOS</b>	<b>50</b>
<b>8. RESULTADOS</b>	<b>51</b>
<b>8.1 LITOLOGIAS, ESTRUTURAS E TOPOGRAFIA</b>	<b>51</b>
<b>8.2 PERFIS GRAVIMÉTRICOS</b>	<b>53</b>
<b>8.3 MAPAS GRAVIMÉTRICOS</b>	<b>66</b>
<b>9. INTEGRAÇÃO DOS DADOS, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO</b>	<b>69</b>
<b>10. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da revolução industrial e da estruturação de sociedades urbanas e industriais, a exploração dos recursos minerais atingiu amplas dimensões e significativo valor econômico, ocasionando a institucionalização de centros de pesquisa e de formação profissional, bem como de investimentos de capitais em empreendimentos de mineração. A elaboração de uma base de conhecimentos era necessária à implantação de uma atividade de extração e beneficiamento.

Segundo Ronchi e Lobato (2000) além do conhecimento eram fundamentais as técnicas disponíveis, tanto no que se refere à extração, desmonte da rocha propriamente dita, como no beneficiamento, de onde resultava o minério relativamente purificado. A mineração configurou-se, portanto, como um ramo industrial de grande dinamismo e expressão, onde a incorporação de conhecimentos e inovações tecnológicas apresentam-se como características fundamentais

O desenvolvimento do distrito de Minas do Camaquã está tradicionalmente ligado ao aproveitamento de bens naturais, sendo um dos pioneiros atividades minerárias no Rio Grande do Sul e na exploração de cobre do Brasil.

Seus primeiros indícios datam de 1865 quando o Sr. João Dias encontrou próximo a sede de sua propriedade ocorrências de malaquita. No período de 1875 a 1885 foi explorado por ingleses, entre 1889 e 1898 explorado por Alemães. Em 1900 foi constituída *Societe Anonyme das Mines de Cuivre Du Camaquam* que produziu principalmente cobre e ouro até 1909 em intervalos não contínuos.

Segundo Brito (2010) em 1942 foi criada a estatal Companhia Brasileira do Cobre (CBC) que passando por diversas fases e modelo de exploração entre minas subterrânea e a céu aberto produziu minério de cobre e realizou pesquisa mineral em toda região. Data-se desta época as primeiras descobertas do depósito Santa Maria. Em torno de 1988 a CBC foi privatizada e as atividades de extração de cobre findaram em 1996.

Segundo Fambrini (2003) inserida na janela estrutural Bom Jardim encontra-se a sequência siliciclástica do Grupo Santa Bárbara; uma intercalação de arenitos, conglomerados e pelitos.

Conforme Kearey; Brooks; Hill, (2009) geofísica é a ciência que aplica os princípios da física ao estudo da Terra. A investigação geofísica de seu interior envolve realizar medidas em sua superfície ou próximo a ela, medidas estas que são

influenciadas pela distribuição interna das propriedades físicas da Terra. As análises dessas medidas podem revelar como as propriedades físicas do interior da Terra variam vertical e lateralmente

Os levantamentos geofísicos mesmo que com condicionantes a sua interpretação, proporcionam um meio relativamente rápido e barato de se obter informações distribuídas em subsuperfície.

O conhecimento da litosfera é fundamental para a compreensão dos processos tectônicos que condicionaram a formação e evolução das grandes massas continentais. Entretanto, a maioria das informações sobre a evolução tectônica das províncias estruturais brasileiras tem sido obtida a partir dos estudos das rochas expostas na superfície.

Segundo Oliveira; Endo; Blitzkow, (2012) grande parte dos pesquisadores já possuem uma clara percepção da importância do emprego de dados geofísicos para a compreensão dos processos de evolução litosférica e sua movimentação produzindo fissão e colisão continental, deformação, granito-gênese, metamorfismo e formação dos depósitos minerais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Gerais

Contribuir ao conhecimento geológico das unidades litológicas em região próxima ao Depósito Santa Maria, Minas do Camaquã compreender geometria e articulação dos corpos em superfície e subsuperfície por meio da gravimetria terrestre em escala de detalhe.

### 2.2 Específicos

Para se atingir o objetivo geral será necessário:

- i) Determinar os limites litológicos das unidades geológicas em níveis profundos e em superfície;
- ii) Detectar possíveis intrusões ígneas no contexto da bacia sedimentar do Camaquã;
- iii) Determinar estruturas/descontinuidades em níveis profundo e em superfície;
- iv) Refinar mapa geológico da área.

### 3. JUSTIFICATIVA

Os estudos na área compreendem mapeamentos geológicos na escala de 1:10.000 e carecem de um conhecimento acerca dos limites litológicos e estruturais em níveis profundos. A geofísica, como método não invasivo e indireto, por meio da gravimetria permite detectar e aferir discontinuidades e heterogeneidades no meio (rochas presentes).

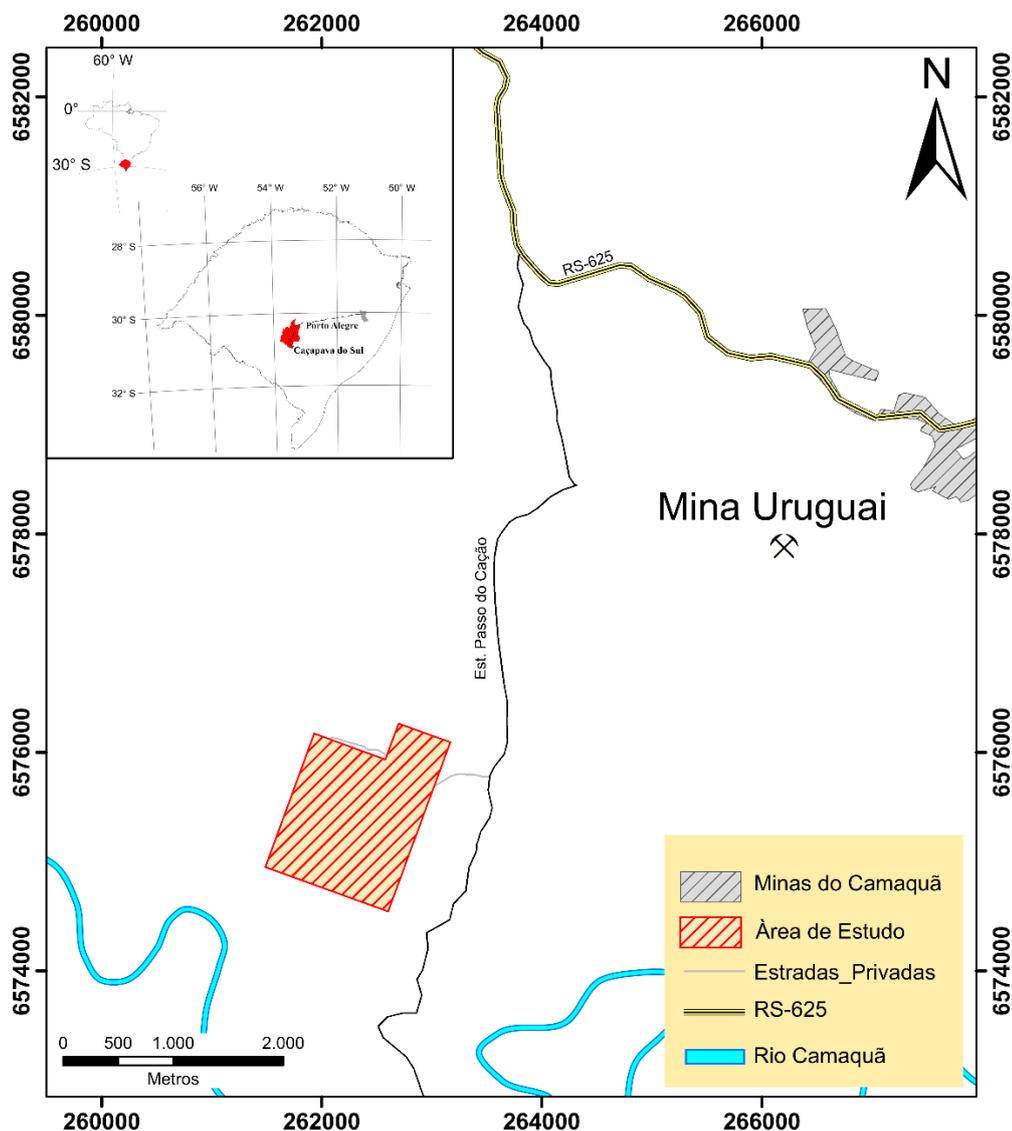
Devido à escassez de estudos gravimétricos de detalhe na região, o presente trabalho contribuirá na evolução de conhecimento geológico e estrutural, fornecendo subsídios na elaboração de teorias e hipóteses dos eventos geológicos e estruturais relacionados a bacia sedimentar do Camaquã.

Os estudos gravimétricos auxiliam, também, no entendimento das relações de contato em subsuperfície das rochas sedimentares associadas a bacia do Camaquã, sua relação estratigráfica entre vulcanismo e plutonismos associados na sua gênese e eventos posteriores a sua formação

#### 4. AREA DE ESTUDO

A área estudada localiza-se na porção centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, inserida na Bacia Sedimentar do Camaquã. A partir da capital Porto Alegre em direção a leste, os acessos são realizados por meio da BR-290 até o entroncamento com a BR-153 e seguindo até o entroncamento RS-625 até o distrito de Minas do Camaquã – Caçapava do Sul, totalizando um percurso entorno de 300 quilômetros entre a capital do estado Porto Alegre e o distrito de estudo (Figura 1). A área de estudo abrange aproximadamente 1,7 Km<sup>2</sup> e localiza-se no contexto geológico local da formação Santa Barbara.

Figura 1. Mapa de localização área de estudo.



Fonte: Autor 2018

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerando a proposta deste estudo a geofísica apresenta importância na delimitação de elementos crustais existentes no território brasileiro, em vista da comum ausência de elementos geológicos em subsuperfície.

De acordo com Lesquer et al. (1981), Haralyi; Hasui, (1982), Ussami (1999), Hasui; Haralyi; Costa, (1993), Malagutti *et al.* (1996) e Molina e Ussami (1999) partir da década de 1980 os métodos geofísicos têm sido utilizados para a modelagem crustal, com o emprego inicial de levantamentos gravimétricos, que continuaram a ser utilizados nos anos 1990. Os trabalhos citados são dirigidos à obtenção de modelos geológicos- geofísicos de escala ampla, com foco na estruturação regional dos terrenos.

A partir dos anos 2000 observa-se que o foco dos trabalhos se direciona para elementos locais e questionamentos mais específicos como em Slavec; Mantovani; Shukowsky, (2004), Mantovani; Brito (2005) e Mantovani *et al.* (2005), onde a gravimetria contribuiu na compreensão da geometria tanto do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, como do Cráton do Paranapanema.

Estudos integrados com dados magnéticos, gravimétricos de satélite e também avaliações geotermiais por: Alexandrino; Hamza (2008), Oliveira; Endo; Blitzkow, (2012), Marangoni; Mantovani, (2013), Guimarães; Hamza, (2013), contribuem em questões como o fluxo geotérmico na região e a distribuição de corpos alcalinos no entorno da Bacia Sedimentar do Paraná.

Um caso aplicado a modelagem geológica/estrutural em que Castro; Ferreira (2007), delimitaram a continuidade da região central do Arco de Ponta Grossa em direção a plataforma continental, modelo o qual permite entender os movimentos verticais opostos dos blocos do embasamento sob os sedimentos da planície costeira paranaense. Finalmente, a utilização de métodos de investigação geofísica em correspondência a dados diretos, permitiu conceber um modelo geofísico/geológico, com base na modelagem/inversão simultânea de dados gravimétricos e magnéticos, supostamente representativo da topografia do embasamento e das decorrentes espessuras da cobertura sedimentar da porção continental do Gráben de Paranaguá.

Em estudo realizado por Alagia (2015) é possível observar a efetividade de levantamentos gravimétricos na delimitação de corpos em subsuperfície, fornecendo um resultado satisfatório na determinação de contrastes litológicos/estruturais em

diferentes níveis de profundidade e suas continuidades laterais. Em relação a interpretação dos dados obtidos evidencia a importância em considerar as peculiaridades de cada área de estudo como: correções a serem aplicadas; grandes gradientes de declive e precisão em dados de topografia coletados.

Estudos realizados por Fries et al. (2018) demonstram a efetividade da gravimetria quando relacionados a estruturas geológicas e padrões geomorfológicos. A articulação do alto estrutural (Domo Pitanga) inserido na Bacia Sedimentar do Paraná e inter-relação as estruturas presentes na base da crosta continental (elevação do moho).

## 5.1 Gravimetria – Fundamentos teóricos

Segundo Luiz; Lúcia (1995) todas as massas estão sob o efeito da atração mútua, regido pela lei de Newton da gravitação as mudanças laterais na densidade da Terra produzem variações locais no valor do campo gravitacional terrestre, apesar de serem muito pequenas, podem ser detectadas.

Ainda de acordo com Luiz; Lúcia (1995) a gravimetria está voltada para o estudo destas perturbações locais do campo gravitacional terrestre, sendo elas geradas pela heterogeneidade da densidade das massas presentes no subsolo.

### 5.1.1 Lei gravitação universal

A força de gravitação é expressa pela lei de Newton. A força entre duas partículas de massa  $m_1$  e  $m_2$  é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância  $r$  entre os seus centros de massa segundo Telford et al., (1990) como demonstrado (Equação 1).

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Onde:

$F$  = Força

$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$  (Constante Gravitacional Universal)

$r_1$  = vetor unitário da distância entre  $m_1$  e  $m_2$

### 5.1.2 Aceleração da Gravidade

Considerando a Terra com massa  $M$  e raio  $r$ , uma massa  $m_2$ , que pode ser o elemento sensor de um gravímetro na superfície, está submetida a aceleração gravitacional conforme Sheriff (1989) conforme a (Equação 2).

$$g = \frac{M}{r^2} \quad (2)$$

Entretanto devido a distribuição heterogênea de densidade no interior da terra, como podemos observar nas Tabela 1 e Tabela 2, é mais conveniente dividi-las em elementos infinitesimais ( $dM$ ) e soma o efeito de cada um Telford et al., (1990) utilizando assim a (Equação 3).

$$g = G \int \frac{dM}{r^2} \quad (3)$$

### 5.1.3 Potencial gravitacional

O campo gravitacional terrestre possui uma energia potencial, esta nomeada potencial gravitacional. Enquanto a aceleração gravitacional trata-se de uma grandeza vetorial, possuindo uma magnitude, direção e sentido (vertical para baixo) a energia potencial gravitacional  $U$  é uma grandeza escalar segundo Lowrie (2007), conforme (Equação 4).

$$U = - \frac{GM}{r} \quad (4)$$

Onde:

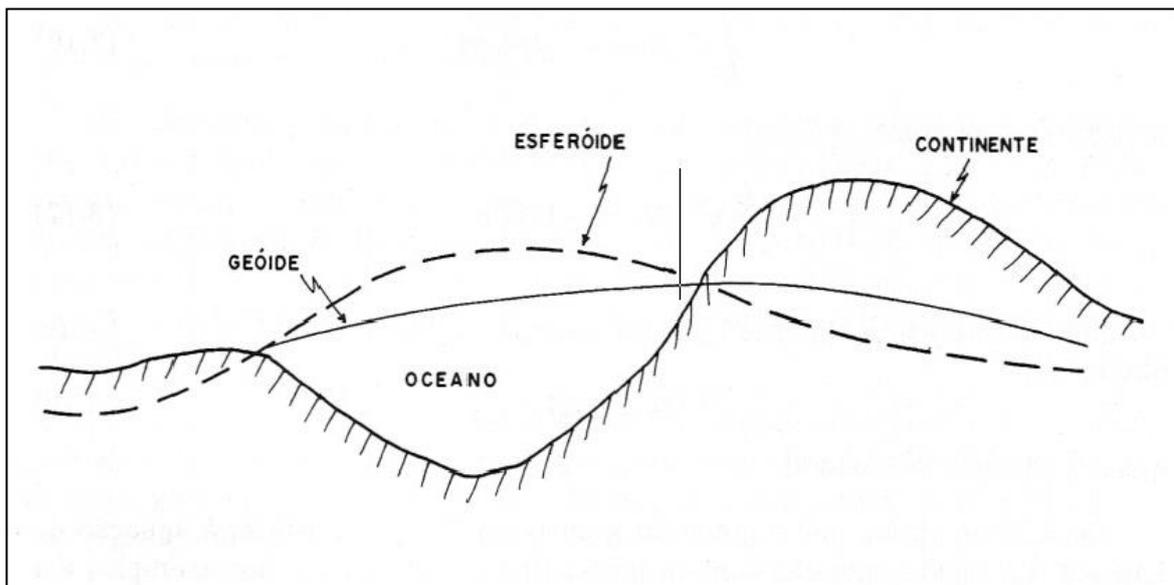
$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$  (Constante Gravitacional Universal)

$M$  = Massa do Corpo

$r$  = distância entre os corpos

A partir do potencial gravitacional é possível delimitar as linhas gravitacionais equipotenciais, possibilitando o delineamento do geóide, utilizado na geodésia e na gravimetria de acordo com Luiz; Lúcia (1995) conforme podemos observar a superfície geoidal na Figura 2.

Figura 2. Representação esquemática da posição do geóide e do esferóide em relação à superfície terrestre.



Fonte: Luiz; Lúcia (1995)

#### 5.1.4 Densidade das Rochas

As anomalias de gravidade detectadas nos levantamentos para prospecção segundo Luiz; Lúcia. (1995) estão relacionadas às variações laterais da densidade dentro do ambiente geológico.

Por sua vez apenas o conhecimento dos valores de densidade não permite que se identifique rochas e minerais em um depósito, pois os mesmos são compostos por uma faixa de variação nesses valores conforme observado na Tabela 1 e Tabela 2.

As rochas ígneas possuem maior valor de densidade quando comparadas as sedimentares. Os processos metamórficos que envolvem redução de volume, recristalização e formação de novos minerais proporcionam o aumento da densidade Luiz; Lúcia (1995).

Tabela 1. Densidade de Rochas Ígneas e Metamórficas.

	<b>Rochas</b>	<b>Variação da Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade Média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Ígneas</b>	Obsidiana	2.20 a 2.40	2.30
	Riolito	2.35 a 2.70	2.52
	Dacito	2.35 a 2.80	2.58
	Andesito	2.40 a 2.80	2.61
	Granito	2.50 a 2.81	2.64
	Granodiorito	2.67 a 2.79	2.73
	Sienito	2.60 a 2.95	2.77
	Diorito	2.72 a 2.99	2.85
	Lavas	2.80 a 3.00	2.90
	Diabásio	2.50 a 3.20	2.91
	Norito	2.70 a 3.24	2.92
	Basalto	2.70 a 3.30	2.99
	Gabro	2.70 a 3.50	3.03
	Peridotito	2.78 a 3.37	3.15
	Piroxenito	2.93 a 3.34	3.17
	Acidas	2.30 a 3.11	2.61
	Básicas	2.09 a 3.17	2.79
<b>Metamórficas</b>	Quartzitos	2.50 a 2.70	2.60
	Xisto	2.39 a 2.90	2.64
	Granulito	2.52 a 2.73	2.65
	Filito	2.68 a 2.80	2.74
	Mármore	2.60 a 2.90	2.75
	Ardósia	2.70 a 2.90	2.79
	Gnaisse	2.59 a 3.00	2.80
	Anfibolito	2.90 a 3.04	2.96

Fonte: Luiz; Lúcia (1995)

A densidade das rochas sedimentares é função não só da composição mineralógica, como também, da porosidade e do grau de compactação de acordo com Luiz; Lúcia (1995). Outros fatores também contribuir na variação densidade destas rochas como presença de: água, ar ou hidrocarbonetos nos poros.

Tabela 2. Densidade de Sedimentos e Rochas Sedimentares.

Litologia	Variação da Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Densidade Média (g/cm <sup>3</sup> )	
	poros com fluido	poros sem fluido	poros com fluido	poros sem fluido
Solo	1.20 a 2.40	1.00 a 2.00	1.92	1.46
Aluvião	1.96 a 2,00	1.50 a 1.60	1.98	1.54
Areia	1.70 a 2.30	1.40 a 1.80	2.00	1.60
Cascalho	1.70 a 2.40	1.40 a 2.20	2.00	1.95
Argila	1.63 a 2.60	1.30 a 2.40	2.21	1.70
Arenito	1.61 a 2.76	1.60 a 2.68	2.35	2.24
Folhelho	1.77 a 3.20	1.56 a 3.20	2.40	2.10
Calcário	1.93 a 2.90	1.74 a 2.76	2.55	2.11
Dolomita	2.28 a 2.90	2.04 a 2.54	2.70	2.30

Fonte: Luiz; Lúcia (1995).

#### 5.1.5 Contribuição dos materiais para o valor da gravidade

Todos os materiais na Terra influenciam o valor da gravidade, no entanto (0,3 % do valor de g) é dada pelos materiais da crosta, a maior contribuição vem do manto e do núcleo. Segundo Luiz; Lúcia (1995), primeiros cinco quilômetros da crosta (profundidade pesquisada nos levantamentos de prospecção) contribuem com aproximadamente 0,05 %. As alternâncias de densidade das rochas nesta região da crosta produzem flutuações inferiores a 0,01 % do valor normal de g (100 mGal).

Ainda de acordo com Luiz; Lúcia (1995), estruturas e corpos geológicos, objetivo prospecção gravimétrica, produzem variações nos valores de g da ordem de 0,001 %, enquanto que os corpos de minério raramente produzem anomalias superiores a 5 mGal, sendo então necessário que os instrumentos empregados possuam sensibilidade de pelo menos 0,1 mGal.

#### 5.2 Gravimetria – redução dos valores da gravidade

Os valores da gravidade terrestre variam com a latitude, com a distância até o centro da Terra (relacionada às elevações) e com a quantidade de massa que existe até o centro da Terra (relacionada à topografia: maior quantidade de massa nas elevações). A gravidade varia ainda devido ao efeito de atração produzido pelo Sol e pela Lua (marés). Uma variação adicional é introduzida pelos instrumentos de

medida, a qual é inerente ao seu funcionamento (variação ou *drift* instrumental) conforme Luiz; Lúcia (1995).

Os valores de gravidade não podem ser comparados diretamente após coleta de dados devido a influência de fatores externos que não refletem a variação da densidade das rochas, sendo necessário assim a introdução de correções que eliminam os efeitos descritos.

Quanto a redução dos dados gravimétricos conforme definição dada por Luiz; Lúcia (1995) afirma que, existem diferenças de procedimento que dependem do objetivo do levantamento. Em levantamentos de larga escala, em que se procura estudar as grandes estruturas geológicas, definem-se as anomalias por comparação da gravidade medida com a gravidade obtida da Fórmula Internacional da Gravidade

Na prospecção mineral, por outro lado, onde as medidas cobrem áreas relativamente menores, as anomalias são definidas comparando-se cada medida com a medida obtida em uma estação comumente denominada de estação base de acordo com Luiz; Lúcia (1995).

#### 5.2.1 Correção de latitude

O Valor da gravidade normal é aumenta à medida que nos afastamos do equador em direção aos polos, ao longo dos meridianos conseqüentemente, valores obtidos em latitudes diferentes não podem ser comparados, sem que antes sejam corrigidos.

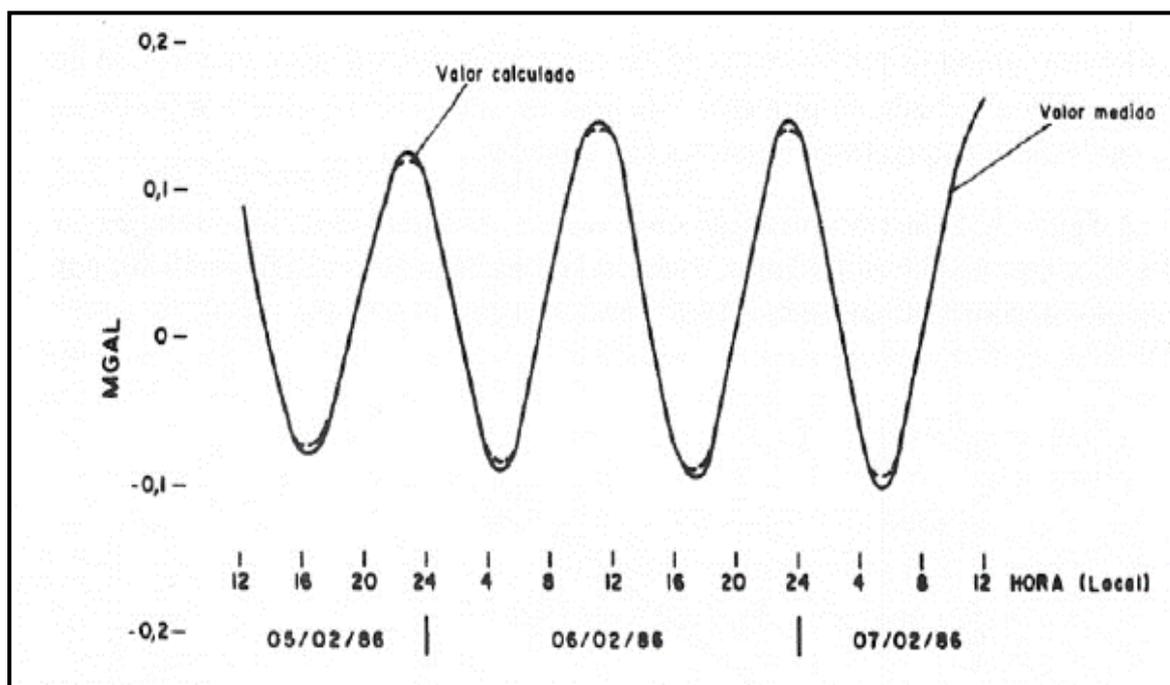
A correção de latitude deve ser subtraída do valor da gravidade normal calculado para a latitude de referência, sempre que as estações estiverem mais próximas do equador do que a latitude de referência. Quando as estações estão mais próximas dos polos do que a latitude de referência, a correção é adicionada conforme Luiz; Lúcia (1995).

#### 5.2.2 Correção de maré

A mudança da posição da Terra em relação ao Sol e à Lua causará perturbações nos valores da gravidade que podem ser observadas dentro de um período de 24 horas. A magnitude dessas perturbações varia com a posição geográfica do ponto de observação e com a época do ano de acordo com Luiz; Lúcia (1995).

Essas mudanças relacionadas ao efeito da maré podem causar variações de valores apresentando até 0,3 mGal de maneira senoidal conforme observamos na (Figura 3).

Figura 3. Variação da gravidade devida às atrações do Sol e da Lua em Belém, Pará, Brasil (coordenadas 1° 30' sul – 48° 30' oeste; altitude = 14 m).



Fonte: Luiz; Lúcia (1995).

A variação da gravidade causada pelo Sol e pela Lua é responsável pelo fenômeno das marés oceânicas e da crosta terrestre. Por este motivo, a correção que compensa este efeito é denominada de correção de maré.

### 5.2.3 Altura do instrumento de medição

A depender da escala do levantamento gravimétrico e/ou da altura do tripé utilizado para nivelar o equipamento, a correção de altura do instrumento deve ser utilizada. Cada leitura é corrigida para a altura do instrumento acima da estação ou da base para as quais a elevação é medida conforme a (Equação 4) conforme Geosoft (2010).

$$h = 0,308596h_i \quad (4)$$

Onde

$h$  = correção a ser realizada no dado;

$h_i$  = altura do instrumento de medição.

#### 5.2.4 Correção de elevação (ar-livre)

Empregada para compensar apenas os efeitos da diferença de altitude das estações em relação ao geóide, ou a um nível de referência arbitrário. A massa de material que por ventura existir entre as estações e o geóide não é considerada, ainda sendo denominada como: correção de elevação ou correção ar-livre conforme Luiz; Lúcia (1995).

#### 5.2.5 Correção Bouguer

A Correção *Bouguer* consiste em adicionar, ao valor normal da gravidade, a atração de um cilindro de raio infinito e altura igual à altitude da estação no terreno. O cilindro deve ter densidade igual à do material que repousa entre o geóide e a estação segundo Luiz; Lúcia (1995).

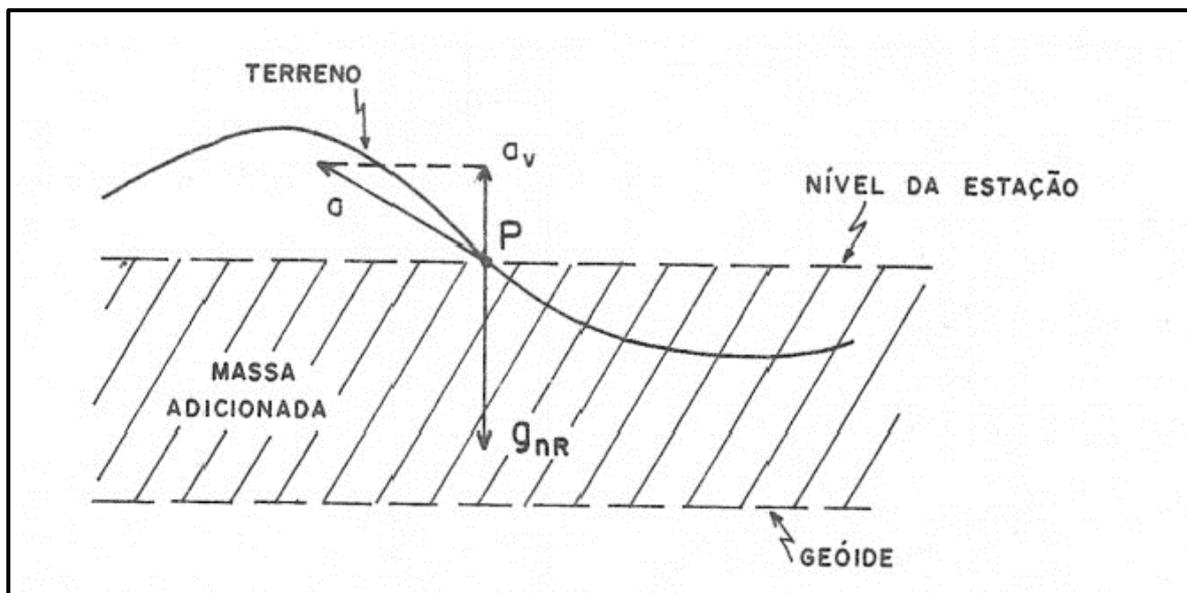
#### 5.2.6 Correção topográfica

Ao aplicar as correções ar-livre e Bouguer, o nível de  $G_n$  foi elevado até o terreno e o vazio entre o geóide e o terreno preenchido com a massa de um cilindro de raio infinito, por meio da correção Bouguer, adiciona-se massa onde na realidade ela fisicamente não existe segundo Luiz; Lúcia (1995).

Este efeito de massa impropriamente adicionada deve ser subtraído do valor normal da gravidade reduzida ou somado ao valor medido no terreno.

A correção topográfica é normalmente realizada dividindo-se a região que envolve o ponto P (Figura 4), em pequenos corpos de forma geométrica simples, de modo que se possa facilmente calcular sua atração.

Figura 4. Efeito topográfico na redução gravimétrica.



Fonte: LUIZ; SILVA, (1995)

### 5.2.7 Deriva (Drift) instrumental

As leituras do gravímetro durante a aquisição dos dados variam com o tempo de utilização, isso ocorre devido ao estiramento da mola do aparelho. Isto produz, para uma mesma estação, medidas com diferentes valores conforme Kearey; Brooks; Hill, (2009)

A correção para a deriva do instrumento é fundamentada em leituras sucessivas numa estação base ao longo do dia de aquisição. A leitura do medidor é plotada contra o tempo em que a aquisição foi feita e assume-se a deriva como sendo linear entre leituras consecutivas da base. Pode-se calcular a deriva instrumental a partir da (Equação 5) segundo Geosoft (2010).

$$d = \frac{(rb2 - rb1) - (gb2 - gb1)}{tb2 - tb1} \quad (5)$$

Onde  $d$  é a correção de deriva instrumental em mGal/h,  $rb1$ ,  $gb1$ ,  $tb1$  são leitura do equipamento na base 1, gravidade absoluta da base 1 e tempo na base 1, respectivamente, o mesmo ocorrendo para  $rb2$ ,  $gb2$ ,  $tb2$  para a base 2 (GEOSOFT INC., 2010).

### 5.3 Anomalia Bouguer

Subtraindo-se, do valor da gravidade observado no terreno (já corrigido dos efeitos de maré, variação instrumental e latitude), o valor da gravidade normal reduzido para o nível do terreno (calculado para a latitude de referência usada na correção de latitude), obtém-se (Equação 6) que é denominada de anomalia *Bouguer* conforme (Luiz; Lúcia (1995)

$$\Delta g_B = g_{\text{obs}} - g_{\text{nr}} \quad \text{dd} \Delta g_B = g_{\text{obs}} - g_{\text{nr}}$$

$$\Delta g_B = g_{\text{obs}} - (g_n - C_{AL} + C_B - C_T)$$

$$\Delta g_B = g_{\text{obs}} - (g_n - 0,3086 h + 0,04191_{\rho h} - T_p)$$

$$\Delta g_B = g_{\text{obs}} + 0,3086 h - 0,4191_{\rho h} + T_p - g_n \quad (6)$$

## 6. CONTEXTO GEOLOGICO DA ÁREA

### 6.1 Geologia Regional

A área de estudo localiza-se no Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), que corresponde a porção meridional da Província Mantiqueira. Segundo Almeida; Hasui (1984) esta é representada por associações de terrenos metamórficos de alto e baixo grau, diferentes granitoides e depósitos vulcano-sedimentares que se desenvolveu do pré-cambriano até o início do Paleozóico.

A Província Mantiqueira segundo Chemale Jr, (2000) se estende do sul da Bahia até o Uruguai sendo resultado da orogenia que promoveu a colagem dos terrenos neoproterozóicos resultando no paleocontinente Gondwana.

O ESRG foi compartimentado segundo Hartmann; Chemale Jr; Phillip (2007) ainda em quatro unidades tectônico-estratigráficas devido as suas características geofísicas, geoquímicas petrográficas e litoestratigráficas como é possível observar na Figura 5 resultando em: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e o Batólito Pelotas.

O Terreno Taquarembó segundo Hartmann et al. (1999) composto pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico de idade de 2.5 a 2.1 Ga (idade SHRIMP) composto por meta-ultramáficos, gnaisses félsicos (tonalitos), granada-silimanita, quartzo-magnetita e por rochas supracrustais de fácies granulito, coberto posteriormente por sequências vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã e rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

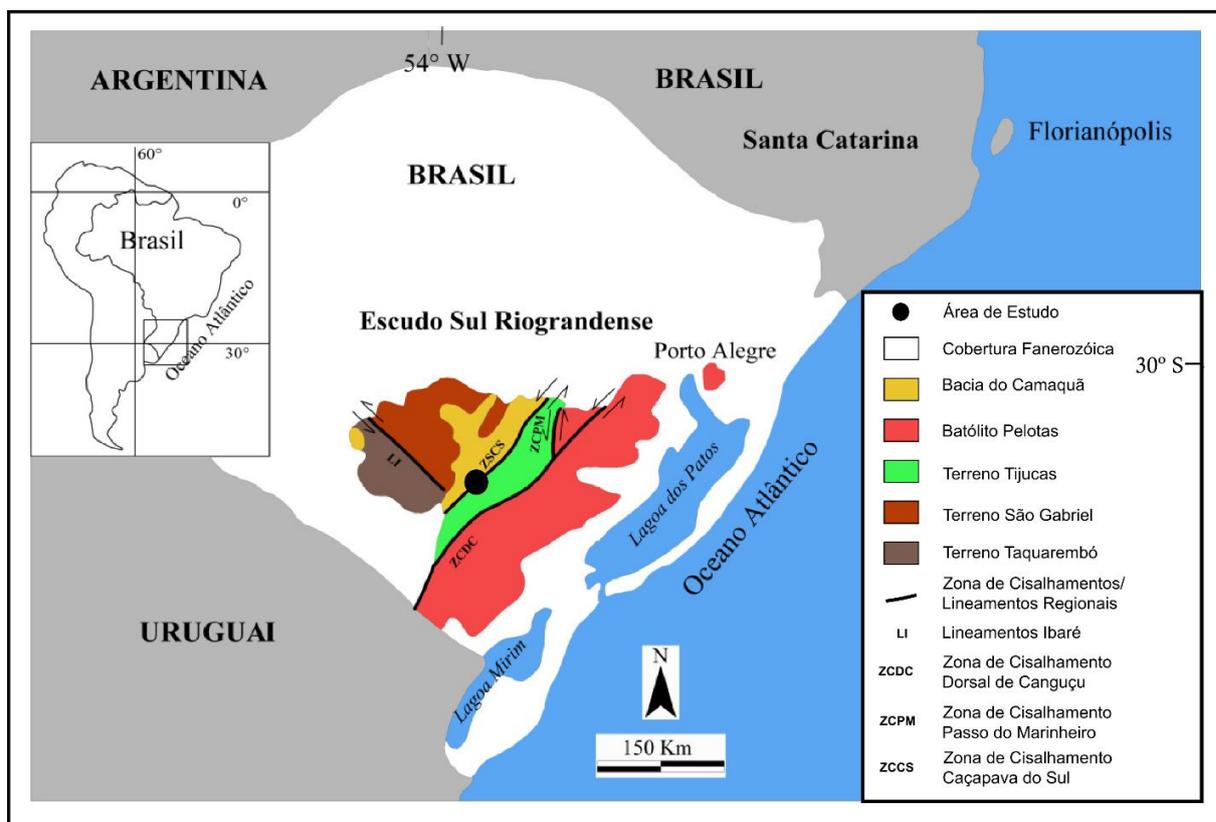
O Terreno São Gabriel segundo Chemale Jr, (2000) é representado por rochas granulítico-gnáissicas e vulcano sedimentares com uma assinatura isotópica juvenil de idade Neoproterozóica, tendo os principais processos magmáticos e deformacionais ocorridos entre 850-700 Ma. E ainda segundo Bicca (2013) possui gnaisses cálcio-alcalinos juvenis cortados por metagranitoides, ambos englobados no complexo cambaí, intrusivos em um sequência vulcano-sedimentar (Complexo Palma/Bossoroca).

O Terreno Tijucas segundo Chemale Jr, (2000) é constituído por rochas granítico-gnáissicas e anfibolíticas dos Complexo Encantadas (2.2 a 2.0 Ga idade U-Pb SHRIMP) e ainda rochas plutônicas e supracrustais do Complexo Metamórfico Porongos (800 a 700 Ma), recoberto ainda por rochas sedimentares da Bacia do

Camaquã, sub-bacia Piquiri/Boici e sub-bacia Guaritas, deformadas em ambiente dúctil-rúptil (620 – 540 Ma) e os granitoides do Evento Brasiliano (593 – 543 Ma).

O Batólito Pelotas segundo Hartmann; Chemale; Phillip (2007) é classificado como complexo de rochas granítico-gnáissico com idades de 650 a 550 Ma. O magmatismo de granítico se deve as fontes mistas e de composição crustal basicamente paleoproterozóico e com pouca contribuição neoproterozóica.

Figura 5. Mapa Geológico Simplificado do Escudo Sul-rio-grandense (ERSG).



Fonte: Modificado de Bicca (2013)

Depositada sobre estes blocos tectônicos encontra-se a Bacia do Camaquã (BC) reconhecida por: Carvalho (1932), Robertson (1966), Santos (1978), Fragozo César (1984), Paim (1995), uma bacia sedimentar siliciclástica como interação vulcano-sedimentar.

A evolução do conhecimento da BC ao decorrer dos anos resultou na elaboração de diversas interpretações estratigráficas Figura 6. Neste trabalho usaremos a classificação litoestratigráfica proposta por Fragozo-César et al. (2003) e Fambrini (2003).

Figura 6. Principais propostas estratigráficas para as coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares da porções centro-sul do Rio Grande do Sul.

	Carvalho 1932	Leinz <i>et al.</i> 1941	Robertson 1966 (manuscrito de 1961)	Ribeiro <i>et al.</i> 1966	Ribeiro e Lichtenberg 1978	Santos <i>et al.</i> 1978	Fragoso Cesar <i>et al.</i> 1985	Leites <i>et al.</i> 1990	Paim <i>et al.</i> 1992	Paim <i>et al.</i> 1995	Fragoso Cesar <i>et al.</i> 2000 <sup>a</sup>	Fragoso Cesar <i>et al.</i> 2003																								
Série Camaquã	Conglomerado Seival	Efusivas Andesíticas	Série Camaquã Inclinada e Horizontal	Conglomerado Coxilha	Formação Guaritas	Formação Santa Bárbara	Formação Guaritas	Formação Guaritas	Sequência IIIb	Aloformação Varzinha	Gr. Guaritas	Fm. Varzinha Fm. Guarda Velha																								
				Formação Guaritas									Formação Santa Bárbara	Formação Guaritas	Sequência IIIa	Aloformação Pedra Pintada	Fm. Pedra Pintada	Grupo Guaritas																		
				Formação Santa Bárbara									Formação Santa Bárbara	Formação Santa Bárbara	Sequência IIIc	Alofm. Pedra do Segredo	Formação Santa Bárbara	Grupo Santa Bárbara																		
Erupções de Andesitos e tufo vulcânicos	Efusivas Ácidas	Riolito Ramada	Andesito Hilário	Grupo Bom Jardim	Mb. Hilário	Mb. Acampamento Velho	Fm. Crespos	Fm. Arraio dos Nobres	Mb. Vargas	Mb. Mangueirão	Formação Acampam. Velho	Formação Acampamento Velho	Sequência Vulcanogênica III	Sequência IIa	Aloformação Acampam. Velho	Formação Crespos	Formação Acampamento Velho	Grupo Bom Jardim																		
																			Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Sequência IIb	Aloformação Santa Fé	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Acampamento Velho										
																			Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Sequência IIc	Aloformação Santa Fé	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Acampamento Velho										
Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá																	
																				Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá
																				Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá	Formação Maricá

Fonte: Modificado de Fambrini (2003)

Com uma distribuição extensa ao longo do ESRG, ( Figura 7) a divisão estratigráfica da BC é dada pelos seguintes grupos.

O Grupo Maricá compreende os registros da primeira cobertura do ESRG, posterior à denudação e subsidência tectônica das unidades do embasamento criadas pela Orogenia Brasileira, dando início à geração da bacia. Seus depósitos são constituídos predominantemente por cerca de 2.000 a 2.500 m de arenitos arcoseanos e, subordinadamente, conglomerados e pelitos, distribuídos em três unidades litoestratigráficas que registram a evolução de distintos sistemas deposicionais da base para o topo conforme Pelosi et al. (2003).

- Formação Passo da Promessa é formada por arenitos e arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada, formados em planícies fluviais de canais entrelaçados;
- Formação São Rafael, composta por arenitos e ritmitos gerados em plataforma marinha rasa dominada por ondas com tempestitos, associados a turbiditos areno-pelíticos da costa afora;
- Formação Arroio América, constituída por arenitos e lentes conglomeráticas de um novo sistema de planícies fluviais de canais entrelaçados.

O Grupo Bom Jardim segundo Janikian et al. (2003). constitui uma unidade vulcanossedimentar gerada em ambientes continentais lacustre e aluvial, em sua área-tipo possui mais de 4.000 m de espessura e é composta por uma sucessão de rochas sedimentares e extrusivas latíticas, andesíticas e dacíticas, além de tufo grossos ricos em cristal e vítreos, lapilli-tufos e brechas.

A Formação Acampamento Velho segundo Ribeiro et al. (1978) com cerca de 700 m de espessura, se sobrepõe em discordância erosiva ao Grupo Bom Jardim. Esta formação é constituída por sucessões de rochas extrusivas riolíticas, andesíticas e basálticas e ainda por rochas piroclásticas geradas em ambientes subaéreos, incluindo tufo, lapilli-tufos e brechas. Segundo Janikian et al. (2005) essas rochas afloram somente na sub-bacia Camaquã Ocidental, esta unidade encontra-se bem exposta nas regiões dos cerros de Bugio e Perau, nas serras de Santa Bárbara e Espinilho e nos platôs da Ramada e Taquarembó.

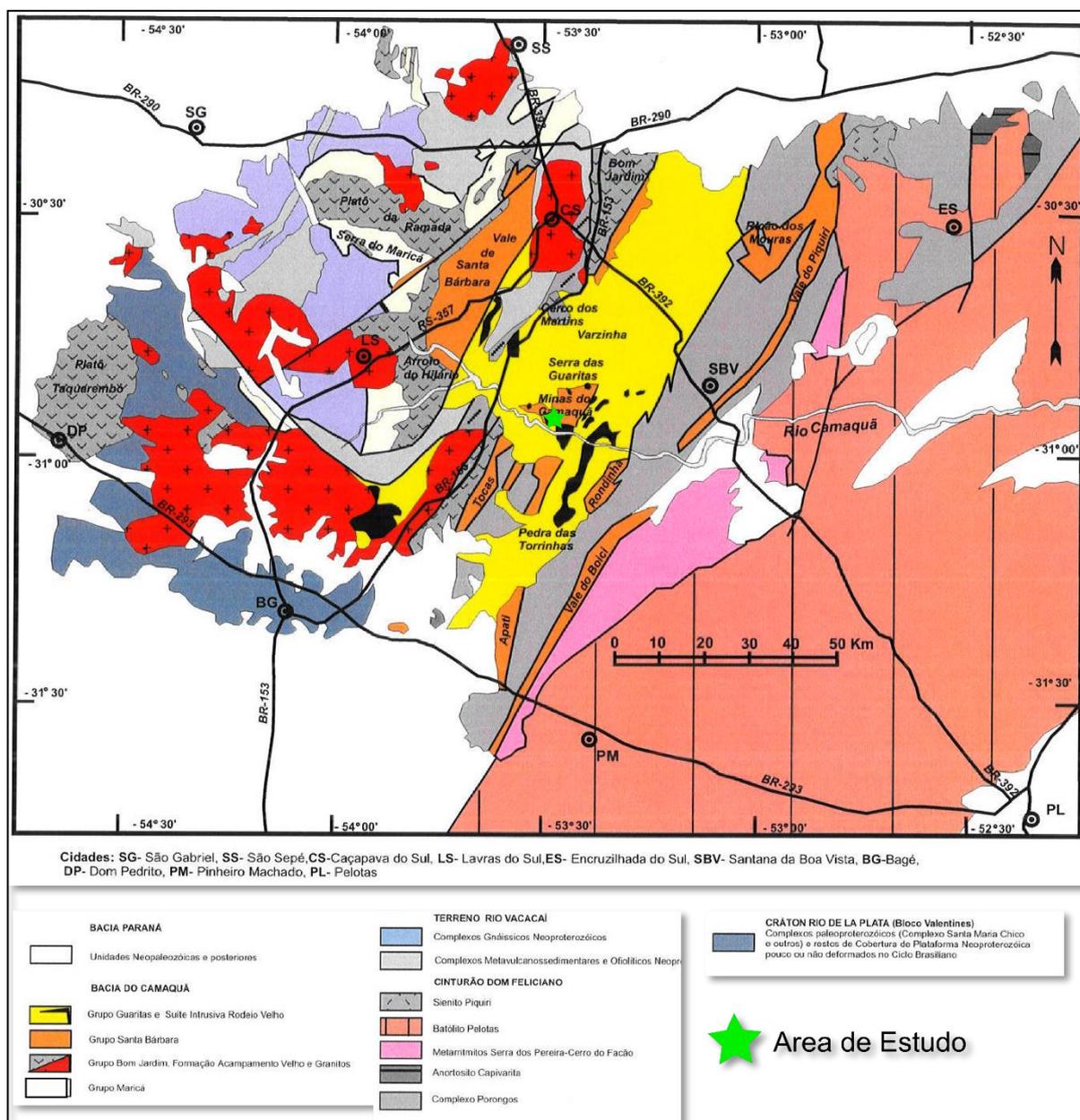
O Grupo Santa Bárbara conforme Fambrini (2003) abriga na sub-bacia Camaquã Central as Minas do Camaquã, caracteriza-se por uma sucessão aluvial a marinha, com a deposição de rochas siliciclásticas em ambientes aluviais, costeiros e deltáicos.

Grupo Santa Bárbara nas seguintes formações, a partir da base: Estância Santa Fé, Passo da Capela, Seival, Rincão dos Mouras e João Dias.

O Grupo Guaritas conforme Nobrega (2011) é formado por arenitos conglomeráticos, conglomerados, ritmitos areno-pelíticos e arenitos finos a médios com séries métricas de estratificação cruzada ou de estratificação plano-paralela, interpretados com registro de sistemas deposicionais continentais. Seus arenitos apresentam intensa cimentação carbonática e correspondem principalmente a arcóseos e subarcóseos e, subordinadamente, arenitos líticos.

É ainda hierarquizado da base pra o topo: Formação Guarda Velha (arenitos, conglomerados e arenitos conglomeráticos de origem fluvial); Formação Pedra das Torrinhas (arenitos conglomeráticos e conglomerados atribuídos à fácies de leques aluviais); Formação Varzinha (ritmitos psamo-pelíticos de fácies fluviais e aluviais distais); Formação Pedra Pintada (arenitos finos com estratificação cruzada interpretados como fácies de dunas eólicas); Formação Serra do Apertado (arenitos finos a grossos e conglomerados de origem fluvial).

Figura 7. Mapa Geológico Bacia do Camaquã e área de estudo (retângulo vermelho).



Fonte: adaptado de Nexa Resources

## 6.2 Geologia Local da Área

Na região da área de estudo distrito de Minas do Camaquã afloram basicamente as formações dos Grupos: Santa Barbara e Grupo Guaritas e a Suíte Intrusiva Rodeio Velho.

A litoestratigrafia do Grupo Santa Bárbara se subdivide da base para o topo conforme Fambrini (2003):

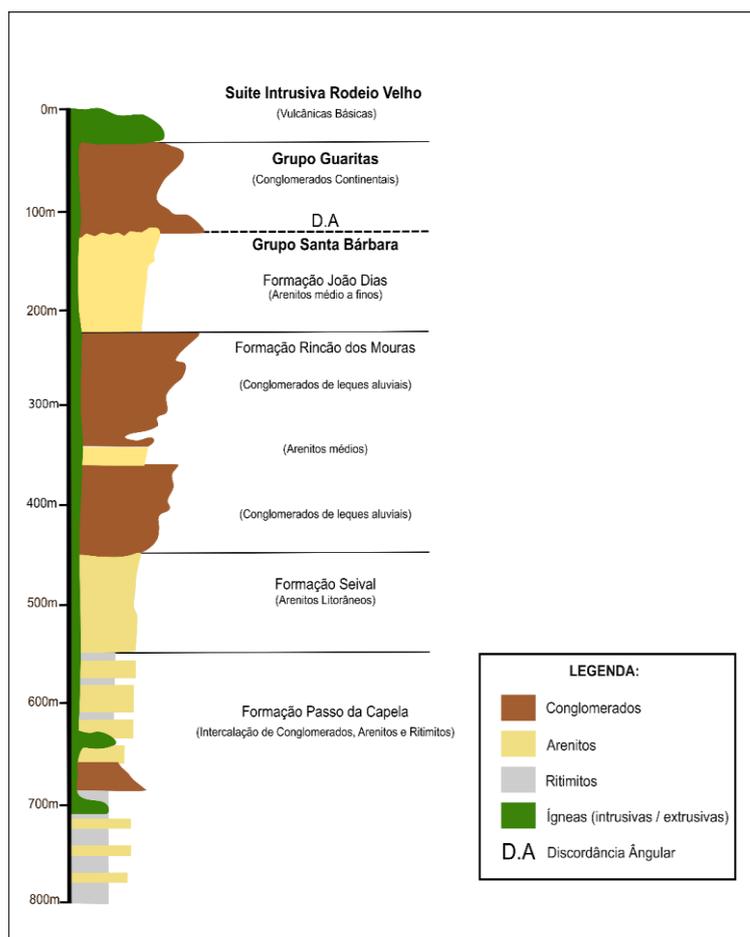
- Formação Estância Santa Fé: possui até 1.200 m de espessura, está exposta somente na Sub-Bacia Camaquã Ocidental. É formada por conglomerados e arenitos gerados por sistemas de leques aluviais proximais e medianos que passam para arenitos grossos mal selecionados de sistemas fluviais entrelaçados associados aos leques.
- A Formação Passo da Capela: é bem exposta nas sub-bacias Camaquã Oriental e Central e apresenta até 4.000 m de espessura na região do vale do Piquiri, na Sub-Bacia Camaquã Oriental. É constituída por ritmitos, conglomerados e arenitos que compreendem depósitos turbidíticos.
- A Formação Seival: aflora nas sub-bacias Camaquã Ocidental e Central e constitui uma sequência com até 1.000 m de espessura de arenitos médios a muito finos, com contribuição subordinada de arenitos grossos com intercalações com poucos centímetros espessura de siltitos. Compreende depósitos de: baía estuarina e planície litorânea e tempestitos de costa-afora e planície de maré.
- A Formação Rincão dos Mouras: é composta por pacotes de conglomerados e arenitos conglomeráticos, comum a todas as sub-bacias da Bacia Camaquã onde ocorre o Grupo Santa Bárbara. Esses pacotes foram depositados principalmente em sistemas de leques aluviais e fluviais entrelaçados. Os depósitos aluviais da Formação Rincão dos Mouras são recobertos por depósitos marinhos da Formação João Dias, que ultrapassam 500 m de espessura.
- A Formação João Dias: restringem-se à Sub-Bacia Camaquã Central e apresentam excelentes exposições na região das Minas do Camaquã. Esta unidade se caracteriza pelo amplo predomínio de arenitos médios e finos contendo grãos de glauconita, com claras evidências de ação de ondas de tempestade, e de tempo bom, caracterizando ambiente marinho costeiro de antepraia (*foreshore*) e de face litorânea (*shoreface*).

Excepcionalmente na região de Minas do Camaquã, a Formação Estância Santa Fé não aflora, sendo neste local a Formação Passo da Capela porção basal da coluna estratigráfica (Figura 8).

De forma simplificada o Grupo Guaritas é tratado de maneira indivisa na área de estudo uma seqüência de arenito, arenitos conglomeráticos a conglomerados com alto nível de porosidade.

A Suíte Intrusiva Rodeio Velho segundo Almeida *et al*, (2000) possui diques que introduzem as unidades anteriores, bem como derrame de basaltos alcalinos a sub-alcalinos, andesitos, andesitos basálticos e traquiandesitos, também são encontradas rochas piroclásticas, de composição química semelhante, que variam desde tufos muito finos até lapilitos.

Figura 8. Coluna Estratigráfica das rochas na região das Minas do Camaquã Simplificada.



Fonte: adaptado de Nexa Resources

Localmente, na área delimitada para o estudo, são descritas as litologias das seguintes unidades da base para o topo:

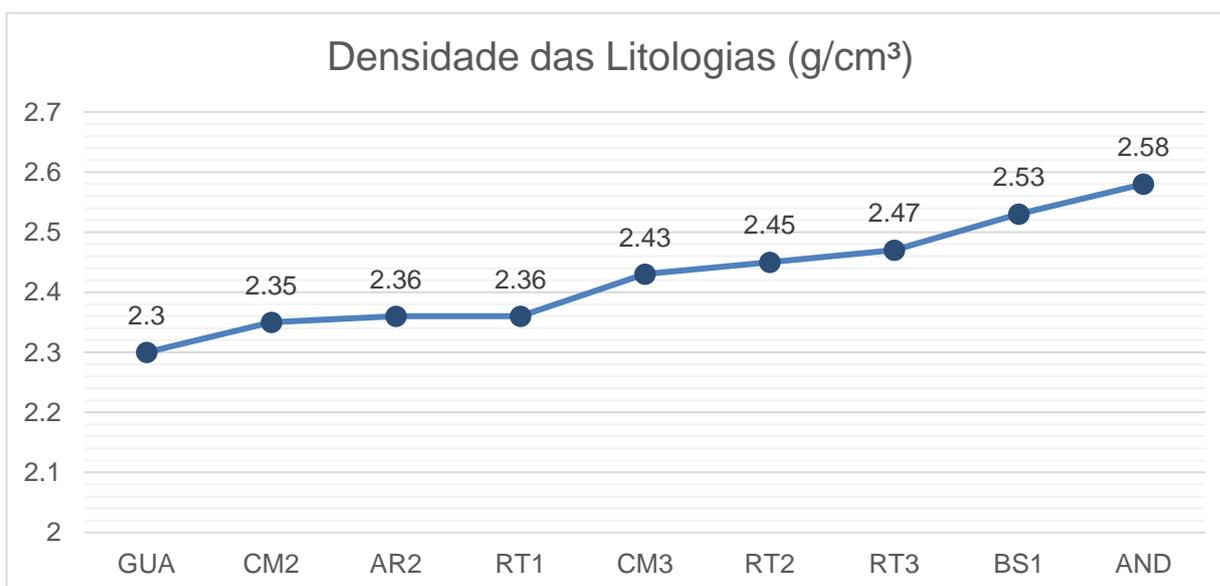
- Grupo Santa Bárbara - Formação Passo da Capela, Formação Seival e Formação Rincão dos Mouras.
- Grupo Guaritas (Indiviso).
- Suíte Intrusiva Rodeio;

A disposição em superfície das referidas litologias é possível observar (Figura 10) se predomina o acamamento plano paralelo dos estratos sedimentares do Grupo Guaritas e Grupo Santa Bárbara e ainda intrusões das rochas pertencente a Suíte Intrusiva Rodeio Velho.

Na nomenclatura estratigráfica deste trabalho utilizou-se a divisão estratigráfica realizada pela empresa Nexa Resources que possibilitou um estudo estratigráfico de maior detalhe através da relação de uma extensa litoteca de testemunhos de sondagem georeferenciados. A correlação entre a estratigrafia proposta por Fambrini (2003), e a utilizada pelo Nexa Resources (Figura 11).

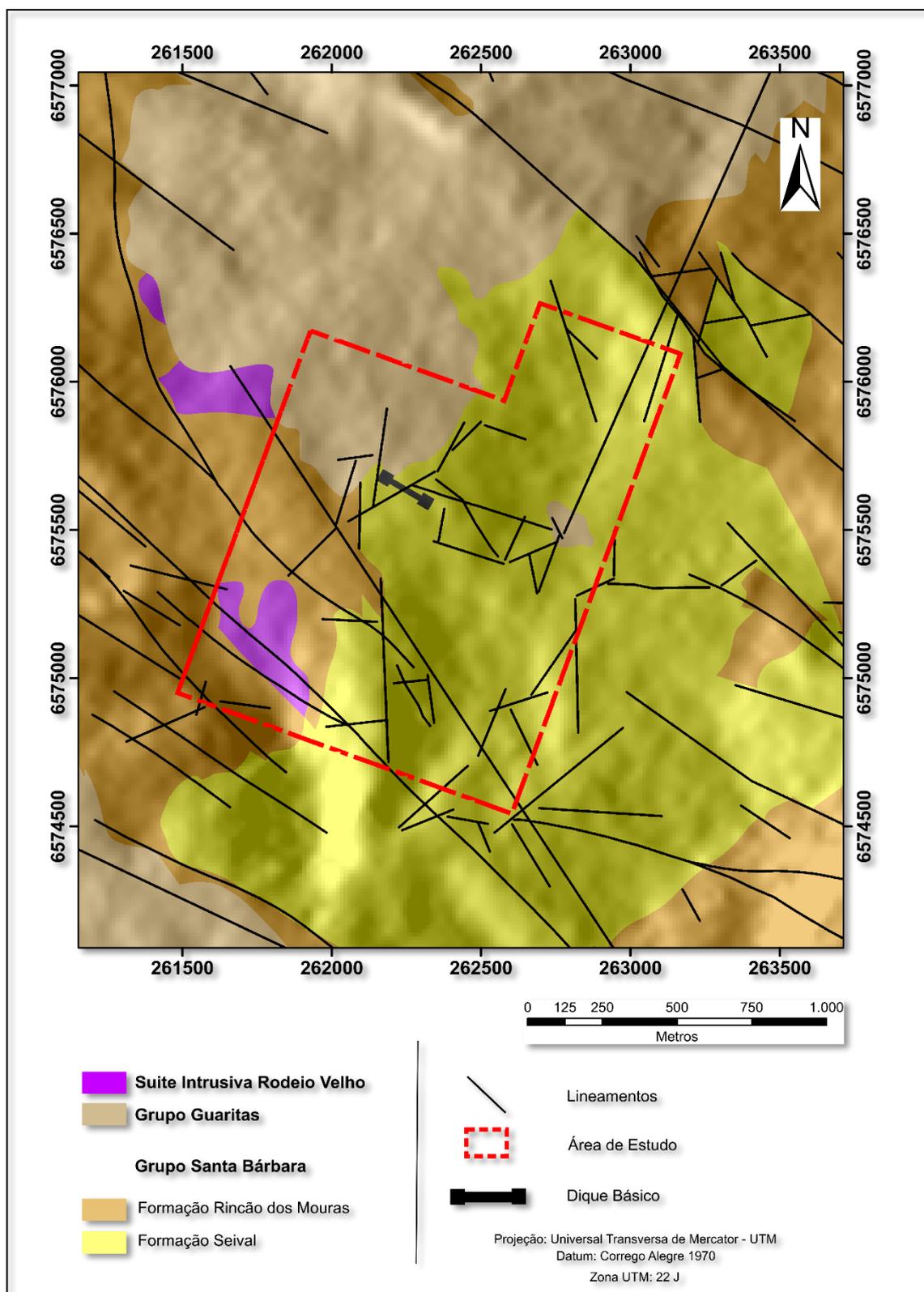
No presente estudo devido a importância da relação de densidade entre as litologias presentes foi elaborado um gráfico de densidades dos grupos litológicos foram utilizadas um total de 13.418 amostras com dados de densidade, os resultados podem ser observados na (Figura 9).

Figura 9. Gráficos de Densidade das litologias presentes na área de estudo.



Fonte: adaptado de Nexa Resources.

Figura 10. Mapa Geológico/Estrutural simplificado da área de estudo.



Fonte: adaptado de Nexa Resources.

Figura 11. Correlação Estratigráfica entre unidades Litológicas definidas por Fambrini (2003) e adotadas por Nexa Resources.

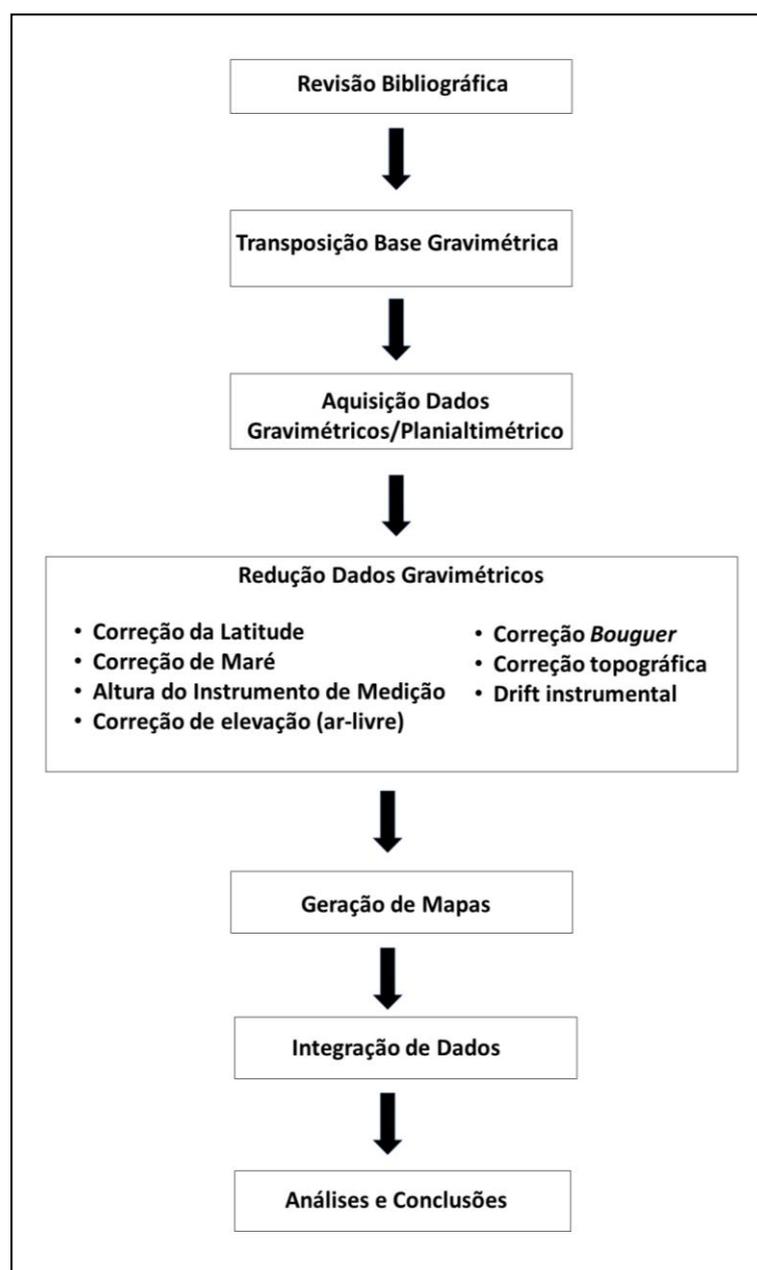
Grupo	Formação	Sigla	Foto
Suite Intrusiva Rodeio Velho	Indiviso	AND	
Grupo Guaritas	Indiviso	GUA	
Grupo Santa Bárbara	Formação Rincão dos Mouras	CM1	
		AR1	
		CM2	
	Formação Seival	AR2	
	Formação Passo da Capela	RT1	
		CM3	
		RT2	
		BS1	
		RT3	

Fonte: adaptado de Nexa Resources.

## 7. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização do trabalho proposto e alcance dos seus objetivos foi adotado o fluxograma (Figura 12): a) revisão bibliográfica; b) transposição de base gravimétrica; c) aquisição de dados (gravimétricos e planialtimétricos); d) redução dos dados gravimétricos; e) geração de mapas f) integração de dados g) análises e conclusões.

Figura 12. Fluxograma das atividades realizadas.



Fonte: Autor 2018.

## 7.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica é fundamental a qualquer trabalho ou pesquisa científica. Neste trabalho utilizou-se diversas fontes para execução das atividades tais como: livros, dicionários, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, tese de doutorado, mapas, artigos de revistas especializadas, etc. Além dos dados já citados utilizou-se uma extensa base de dados cedida pela Nexa Resources dispondo de: base cartográfica, base geológica e base densidade de rochas.

Na revisão bibliográfica buscou-se referências geológicas, geofísicas, estações gravimétricas próximas, além de trabalhos anteriores geofísicos realizados de caráter regional e local.

Foram, também, alvos dos estudos trabalhos gravimétricos em geral, revisões da metodologia, manuais e trabalhos referentes a utilização de topografia de alta precisão.

## 7.2 Transposição Base Gravimétrica

Considerando que na área e região próxima não há uma estação de Referência de Nível e Geodésica padronizada, foi realizada a transposição dos valores de Gravidade Absoluta de uma Estação Base conhecida (RN geodésica). A estação do Campus da Universidade Federal da Unipampa foi empregada nesta etapa.

A Estação Base do Campus da Unipampa situa-se na Av. Pedro Anunciação, 111 - Vila Batista, Caçapava do Sul – RS, implantada na extremidade sudoeste do estacionamento de veículos ao lado da subestação de energia interna (Figura 13).

Os dados planialtimétricos e o valor da Gravidade Absoluta encontram-se descritos no Tabela 3.

Figura 13. Medidas com o gravímetro na Estação Gravimétrica Base - Campus Unipampa Caçapava do Sul.



Fonte: Autor 2018

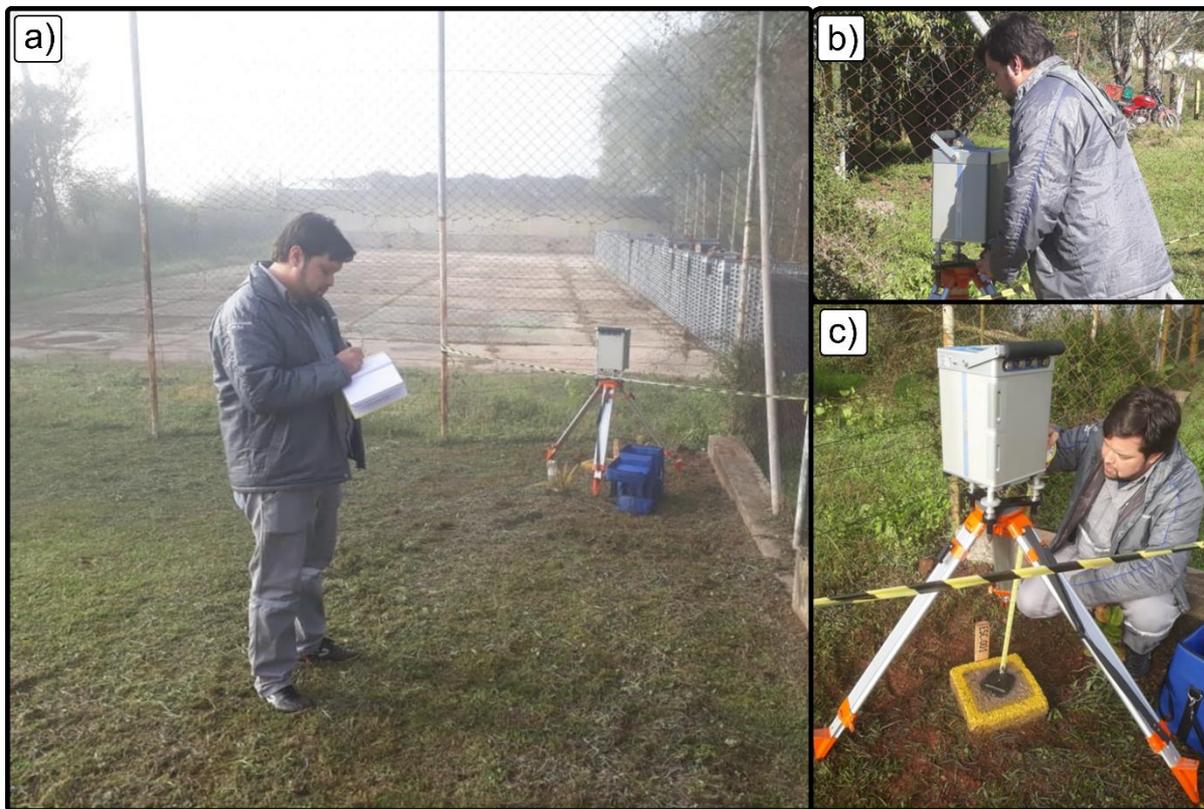
Tabela 3. Localização Base Gravimétrica Campus Caçapava do Sul, Datum WGS84.

<b>Base Campus Caçapava do Sul</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Gravidade Absoluta (mGal)</b>
	- 30° 29' 53"	- 53° 28' 47"	404.756	979274.670

Fonte: Autor 2018

A partir dos dados planialtimétricos (latitude, longitude e altitude) e de gravidade absoluta, foram realizadas as medidas na estação a ser implantada próximo ao local, esta é denominada de ESC 01. A mesma, localiza-se na Rua Marcelo José Ribeiro, nº 3707 – Vila São Luiz, distrito de Minas do Camaquã – Caçapava do Sul – RS, (Figura 14), encontra-se em um marco de concreto implantado na lateral leste do Casarão João Dias (5 metros).

Figura 14. Medidas com o gravímetro para implantação da Estação Gravimétrica ESC01, Minas do Camaquã: a) localização da estação; b) nivelamento gravímetro; c) aferição altura da medição.



Fonte: Autor 2018.

### 7.2.1 Cálculos e redução dos dados

Foram realizadas, para efeito de acuracidade dos cálculos, um total de 03 (três) medidas no ponto escolhido (estação implantada). Para redução dos dados e cálculo do valor de Gravidade Absoluta foi adotado o elipsóide de 1967, sistema de coordenadas geográfica WGS-84. Os valores obtidos na Estação Base ESC01 implantada nas proximidades da área, encontram-se descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Localização Base Gravimétrica Campus ESC01, Minas do Camaquã, Datum WGS84.

<b>Base ESC01</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Gravidade Absoluta (mGal)</b>
	- 30° 54' 11"	- 53° 25' 36"	155.683	979365.205

Fonte: Autor 2018

### 7.3 Aquisição gravimétrica na área – Principais etapas adotadas

Os levantamentos gravimétricos são realizados em diversas escalas, dependendo do objetivo do trabalho. Nos trabalhos voltados para a tectônica global, as escalas variam normalmente entre 1:500.000 e 1:2.500.000. Na prospecção de corpos de minério empregam-se escalas entre 1:1.000 e 1:25.000 e as medidas são frequentemente tomadas com espaçamento de 20 a 200 m. conforme Luiz; Lúcia (1995).

O estudo apresentado possui uma escala de 1:15.000, a área total de aquisição de aproximadamente 1.7 Km<sup>2</sup>. Os perfis foram realizados em uma malha regular totalizando aproximadamente 12.000 metros de extensão dividido em 8 perfis com afastamento de 150 metros e espaçamento entre as estações de 50 metros. Devido alguns acidentes topográficos deslocaram-se algumas estações medidas, a direção dos perfis NE secciona as principais estruturas e litologias em superfície.

#### 7.3.1 Planialtimetria

O uso dos métodos precisos de posicionamento GPS está alterando a forma da administração dos levantamentos cadastrais e também a avaliação da coleta dos dados no campo (GAMA, et, al. 2007). Devido a diversas correções já citadas anteriormente neste trabalho é fundamental a acuracidade nos dados planialtimétricos das estações gravimétricas adquiridas em campo a fim de se obter valores anômalos satisfatórios e de precisão, considerando a escala de detalhe do trabalho.

As etapas principais adotadas são:

a) Estaqueamento:

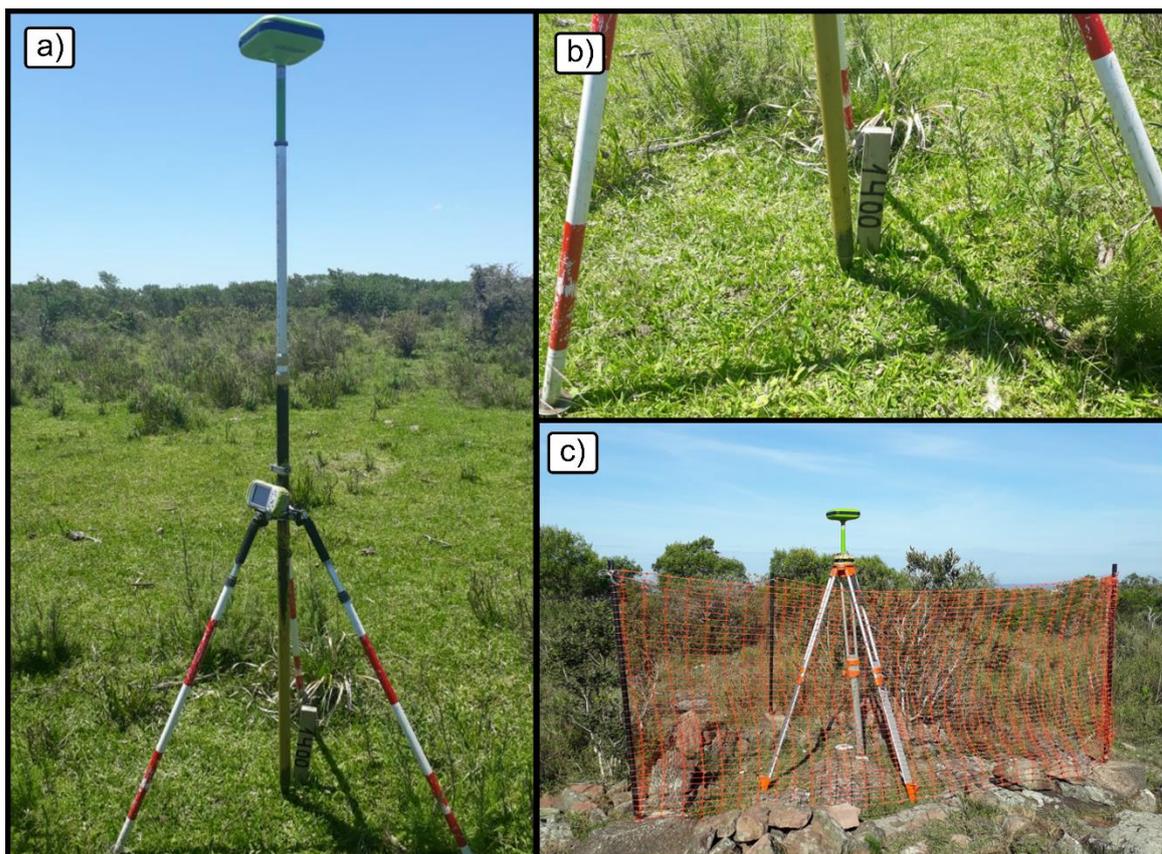
Por meio de GPS de mão foram alocadas as estações de leituras com precisão média de 3 metros identificando com o número da linha e estação correspondente.

b) Medidas:

Após definição prévia das estações para aquisição, realizou-se o levantamento planialtimétrico utilizando-se um receptor GPS da marca JAVAD modelo TRIUMPH-1 GNSS RTK, sistema provido de uma antena base e um equipamento móvel (Figura 15), cedido pela Nexa Resources. O Sistema de Gps possui precisão horizontal de

3.0 mm e precisão vertical de 3.5 mm. Para este levantamento foi utilizado a técnica de levantamento *Modo Estático Rápido*, conforme metodologia disponibilizada pelo fabricante.

Figura 15. Base Topográfica de Referência na medição planialtimétrica: a) levantamento topográfico, b) Identificação estação gravimétrica, c) estação GPS base localizada em marco topográfico.



Fonte: Autor 2018

O princípio de funcionamento no modo estático rápido é dado por: um receptor serve como base permanecendo fixo sobre uma estação de referência coletando dados, enquanto um outro receptor móvel percorre as estações de interesse onde permanece parado por um período de aproximadamente 5 a 20 minutos. Existem outras possibilidades de levantamentos com este equipamento, conforme (SEEBER, 1993).

Foram adotados no levantamento a seguinte metodologia: i) nome da estação; ii) altura do bastão até o solo e iii) horário de aquisição. As medidas foram feitas durante

5 minutos com ajuste de leituras a cada 5 segundos, totalizando em média 60 leituras em cada estação de levantamento.

a) Correções DGPS

Após coleta em campo é realizada correção dos dados adquiridos no GPS Móvel com a Base estática em um marco topográfico conhecido. Os cálculos e correções foram efetuados por meio do *software Justin versão 2.111.147.5*.

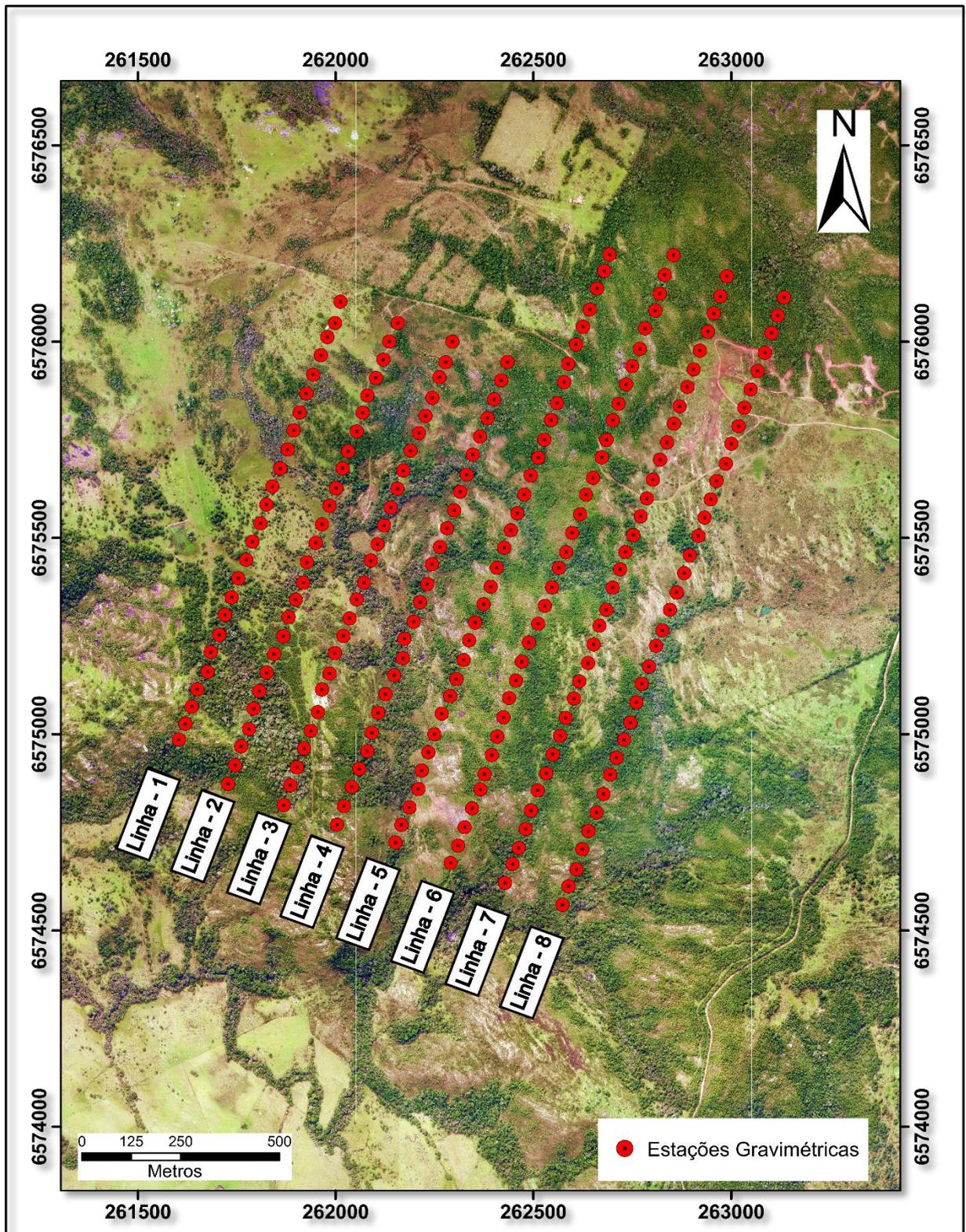
O procedimento do pós- processamento possibilitou uma precisão acima de 95% na acuracidade dos dados coletados agregando uma maior confiabilidade no diz respeito ao posicionamento das estações.

#### 7.4 Aquisição gravimétrica

Para as medidas ao longo dos perfis determinados (etapa anterior) foi utilizado um gravímetro modelo CG5 Autograv da Scintrex. O equipamento possui uma precisão de 0,001 mGal e resolução de leitura apropriada a escala e objetivo do estudo.

Foram adquiridos um total de 8 perfis com espaçamento de 150 metros entres linhas e 50 metros entre estações com um comprimento médio de 1400 de cada linha orientados na direção E/NE (Figura 16).

Figura 16. Localização das estações gravimétricas obtidas no levantamento.



Fonte: Autor 2018

## 7.5 Redução dos dados

Foram geradas, para esta etapa, os seguintes arquivos principais:

- a) *Base Station*: Base de dados com as informações da Estação Base Gravimétrica;
- b) *Locations*: Base de dados contendo o posicionamento dos valores das Estações medidas, Coordenadas horizontais (Latitude e Longitude) e Altitude (z);
- c) *Survey*: arquivo contendo os dados brutos (gravímetro) com as respectivas medidas;
- d) *Master*: Base de dados com os valores de Cálculo da Deriva Instrumental, Gravidade Absoluta, Anomalia *Free-Air* e Anomalia *Bouguer*:

## 7.6 Mapas Gravimétricos

A partir dos dados planialtimétricos e medidas gravimétricas obtidas, foram gerados mapas de isovalores e contorno sombreado (*grid*) da variável *Anomalia Bouguer*.

Na interpolação dos dados para o *grid* foi adotado o valor de 25x25 metros (1/2 do valor amostrado) para o tamanho da célula (*cell size*). O interpolador utilizado foi o da mínima curvatura conforme BRIGGS (1974).

Para as etapas de redução, geração de base de dados e mapas foi utilizado o *software Oasis Montaj da GEOSOFT*.

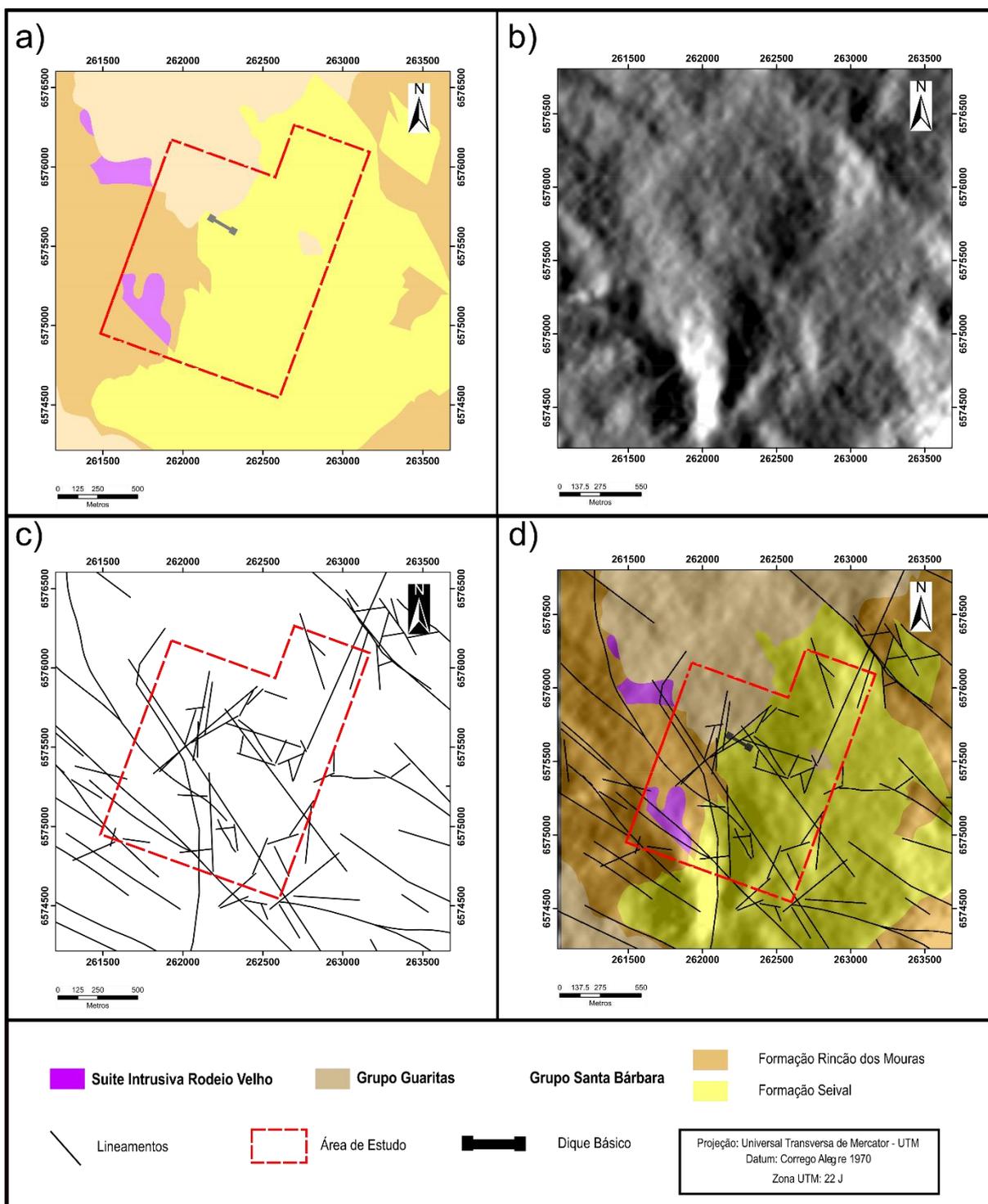
## 8. RESULTADOS

### 8.1 Litologias, estruturas e topografia

Através da integração dos dados foram gerados mapas e figuras em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foi adotado para integração dos elementos obtidos o *software Arcmap10.3®* a fim de representar graficamente os resultados geofísicos/geológicos de estudos prévios bem como os produzidos neste levantamento.

O mapa geológico mesclado com o modelo digital de terreno possibilitou uma otimização na análise estrutural do terreno e delimitação dos lineamentos estruturais. O reconhecimento e espacialização das principais estruturas e litologias associadas são de fundamental importância na caracterização nas anomalias obtidas. Estas, oferecem melhor visualização ao serem relacionadas a variação topográfica local (FFigura 17).

Figura 17. Delimitação da área com as informações de a) mapa geológico; b) modelo de elevação numérica; c) mapa de lineamentos estruturais; d) mapa geológico-estrutural integrado ao modelo digital de terreno.



Fonte: Autor 2018

## 8.2 Perfis Gravimétricos

A integração dos perfis gravimétricos adquiridos com perfis geológicos auxilia e otimiza diretamente a análise e interpretação das fontes geradoras do sinal, estruturas e litologias presentes.

São comparados em cada perfil três tipos de sinais:

- Anomalia *Bouguer*,
- Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*,
- Continuação para Cima (50 metros).

Estes foram utilizados na interpretação das fontes e respectivas frequências relacionadas as profundidades distintas.

### **Linha 1:**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: das estações 50 a 1250 metros variam entre -0.500 e 0.400 mGal, as mudanças abruptas de valores podem ser correlacionadas a estruturas e os altos valores as rochas ígneas básicas em superfície ou a sua continuidade em subsuperfície;
- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 50 a 1250 metros variam entre 0,600 e 1.800 mGal sendo associada a continuidade dos corpos ígneos em subsuperfície.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 50 a 1250 metros variam entre 0.960 a 1.620 mGal correlacionável a continuidade dos corpos ígneos em subsuperfície.

Os Valores Residuais da Anomalia *Bouguer* possuem ainda algumas fontes sem correlação direta com as fontes litológicas conhecidas em mapeamentos de superfície. Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* estão relacionados a fontes mais profundas e de maneira geral possuem uma tendência de aumento dos valores anômalos na porção de 300 a 700 metros na direção SW para NE do perfil (Figura 18).

### **Linha 2:**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1250 metros variam entre -0.500 e 0.430 mGal, as mudanças abruptas de valores podem ser

correlacionadas a estruturas e os altos valores as rochas ígneas básicas em superfície ou a sua continuidade em subsuperfície.

- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1250 metros variam entre 0,600 e 1.800 mGal, sendo associada a continuidade dos corpos ígneos em subsuperfície.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1250 metros variam entre 0.960 a 1.620 mGal correlacionável a continuidade dos corpos ígneos em subsuperfície.

Os Valores Residuais da Anomalia *Bouguer* possuem ainda algumas fontes sem correlação direta com as fontes litológicas conhecidas em mapeamentos de superfície. Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* estão relacionados a fontes mais profundas e de maneira geral possuem uma tendência de aumento dos valores anômalos na porção de 300 a 900 metros na direção SW para NE do perfil (Figura 19).

### **Linha 3:**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1250 metros variam entre -0.500 e 0.460 mGal, as mudanças abruptas de valores podem ser correlacionadas a estruturas, o que pode ser observado na estação 600 no centro do perfil, os altos valores as rochas ígneas básicas em superfície e sua continuidade em subsuperfície.
- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1250 metros variam entre 0,450 e 2.300 mGal, sendo associada a continuidade dos corpos ígneos em subsuperfície.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1250 metros variam entre 0.700 a 2.050 mGal, relaciona-se diretamente a corpos de maior densidade é a continuidade dos corpos ígneos identificados em superfície.

Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* Ambos estão relacionados a fontes mais profundas e de maneira geral possuem uma tendência de crescimento centro do perfil, região que apresenta estrutura profundas (Figura 20).

### **Linha 4**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1250 metros variam entre -0.560 e 0.560 mGal, as mudanças abruptas de valores podem ser relacionadas a estruturas observadas na estação 600 no centro do perfil, os altos valores as

rochas ígneas básicas em superfície e subsuperfície e ainda corpos inferidos de alta densidade.

- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1250 metros variam entre 1.000 e 2.600 mGal, com tendência de aumento dos valores anômalos na estação 600, e ainda salientando estrutura profunda.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1250 metros variam entre 0.700 a 2.100 mGal.

Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* estão relacionados a fontes mais profundas e possuem uma tendência de crescimento dos valores anômalos de NE para a SW do perfil região entre duas estruturas profundas (Figura 21).

#### **Linha 5**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1600 metros variam entre -0.450 e 0.1400 mGal, as mudanças abruptas de valores anômalos são correlacionadas a estruturação rasas, observado na porção a SW do perfil os altos valores de anomalia estão relacionados as rochas ígneas básicas em subsuperfície e ainda a outras fontes inferidas.
- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1600 metros variam entre 0,500 e 2.750 mGal.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1600 metros variam entre 0.700 a 2.350 mGal.

Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* estão relacionados a fontes mais profundas e de maneira geral possuem uma tendência de crescimento do valor anômalo de NE para SW do perfil onde apresenta estruturação em profundidades rasas e fontes inferidas de maior valor de densidade (Figura 22).

#### **Linha 6**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1650 metros variam entre -1.000 e 1.450 mGal, as mudanças abruptas de valores anômalos são relacionadas a estruturas rasas, observado na porção SW do perfil, os altos valores anômalos são associados as rochas ígneas básicas em subsuperfície e outras fontes inferidas.

- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1650 variam entre 0,150 e 2.750 mGal.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1650 metros variam entre 0.350 a 2.500 mGal.

Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* valores estão relacionados a fontes mais profundas e de maneira geral possuem uma tendência de crescimento dos valores anômalos de NE para SW do perfil (Figura 23).

### **Linha 7**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1650 variam entre -0.600 e 2.000 mGal, as mudanças abruptas de valores anômalos são correlacionadas a estruturas observadas na porção SW do perfil, os altos valores anômalos a fontes com maior valor de densidade subsuperfície e descritas rochas ígneas e outras fontes inferidas.
- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1650 metros variam entre -0.250 e 2.900 mGal.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1650 metros variam entre 0.150 a 2.750 mGal.

Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* estão relacionados a fontes mais profundas que possuem uma tendência de crescimento nos valores anômalos de NE para SW do perfil (Figura 24).

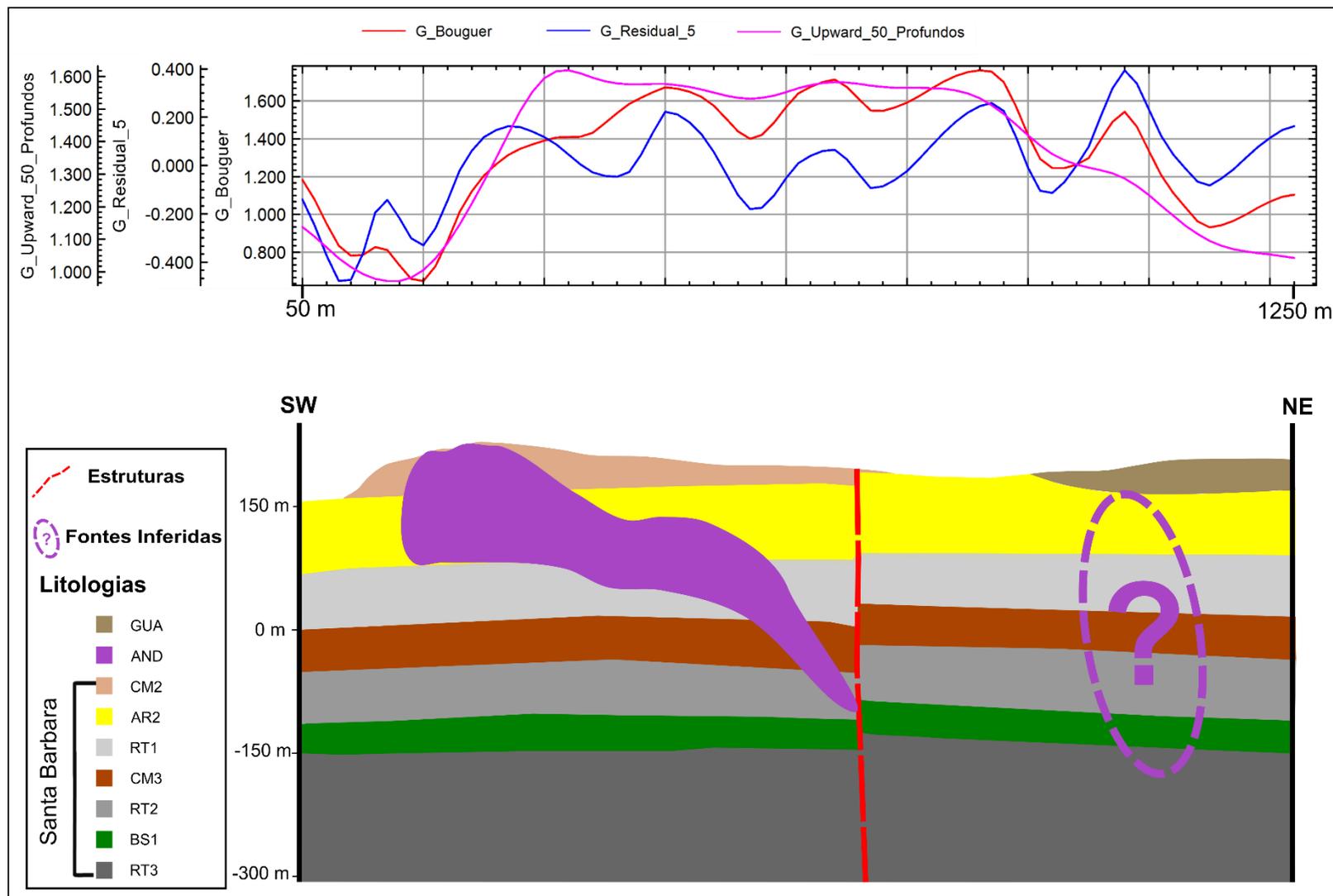
### **Linha 8**

- a) Valores Residuais da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1650 metros variam entre -1.000 e 1.750 mGal, as mudanças abruptas de valores anômalos são relacionadas a estruturas observadas na porção SW e NE do perfil, os altos valores são relacionados a fonte de maior valor de densidade subsuperfície inferidas.
- b) Valores da Anomalia *Bouguer*: da estação 0 a 1650 metros variam entre -0.250 e 2.750 mGal.
- c) Continuação para Cima (50 metros): da estação 0 a 1650 metros variam entre 0.500 a 2.600 mGal.

Os Valores Continuação para Cima (50 metros) e Valores da Anomalia *Bouguer* estão relacionados a fontes mais profundas que possuem uma tendência de crescimento de valores anômalos de NE para SW do perfil onde apresentam-se

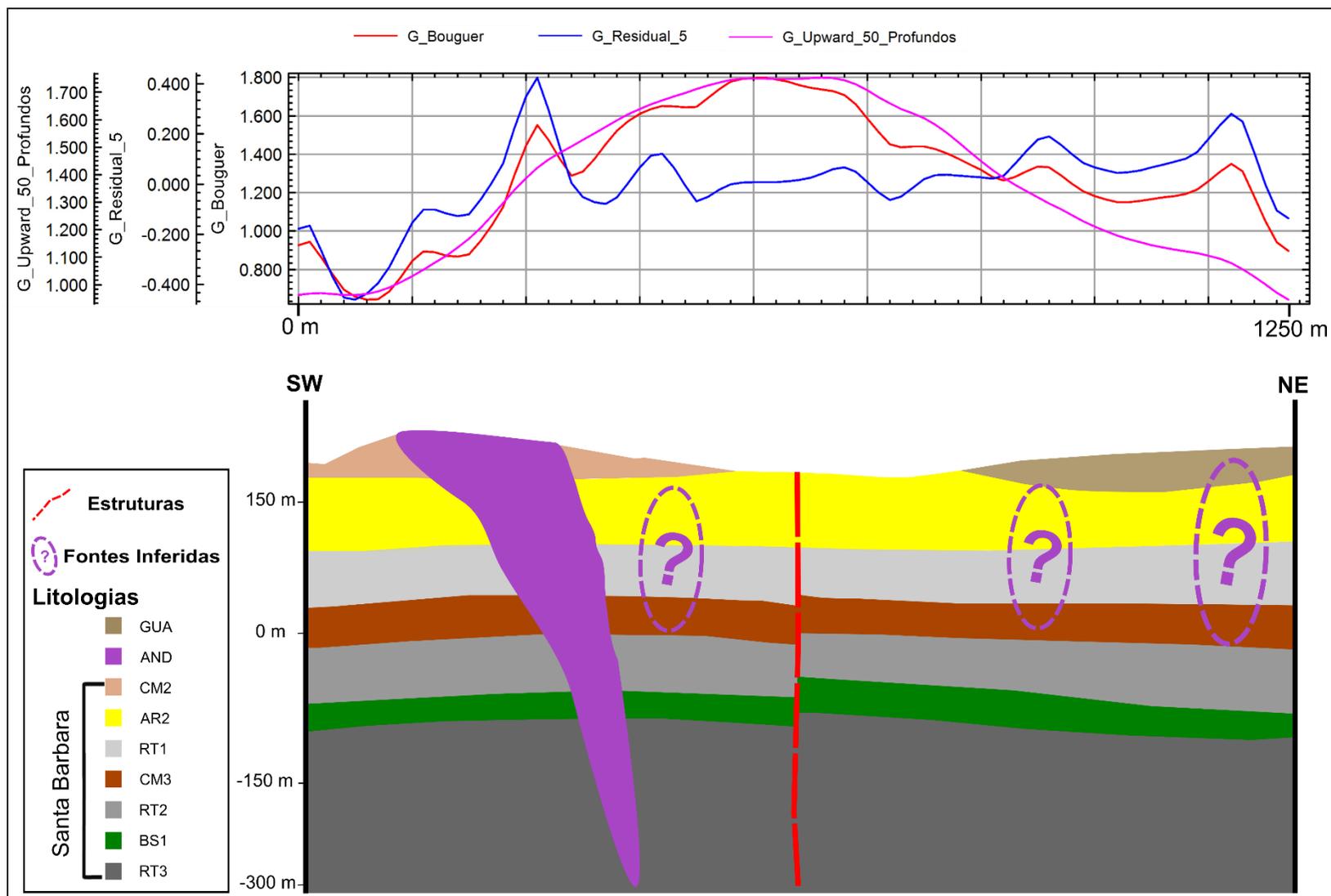
estrutura profundas e fontes de maior valor de densidade identificas e fontes inferidas (Figura 25).

Figura 18. Perfil geofísico e geológico - linha 1



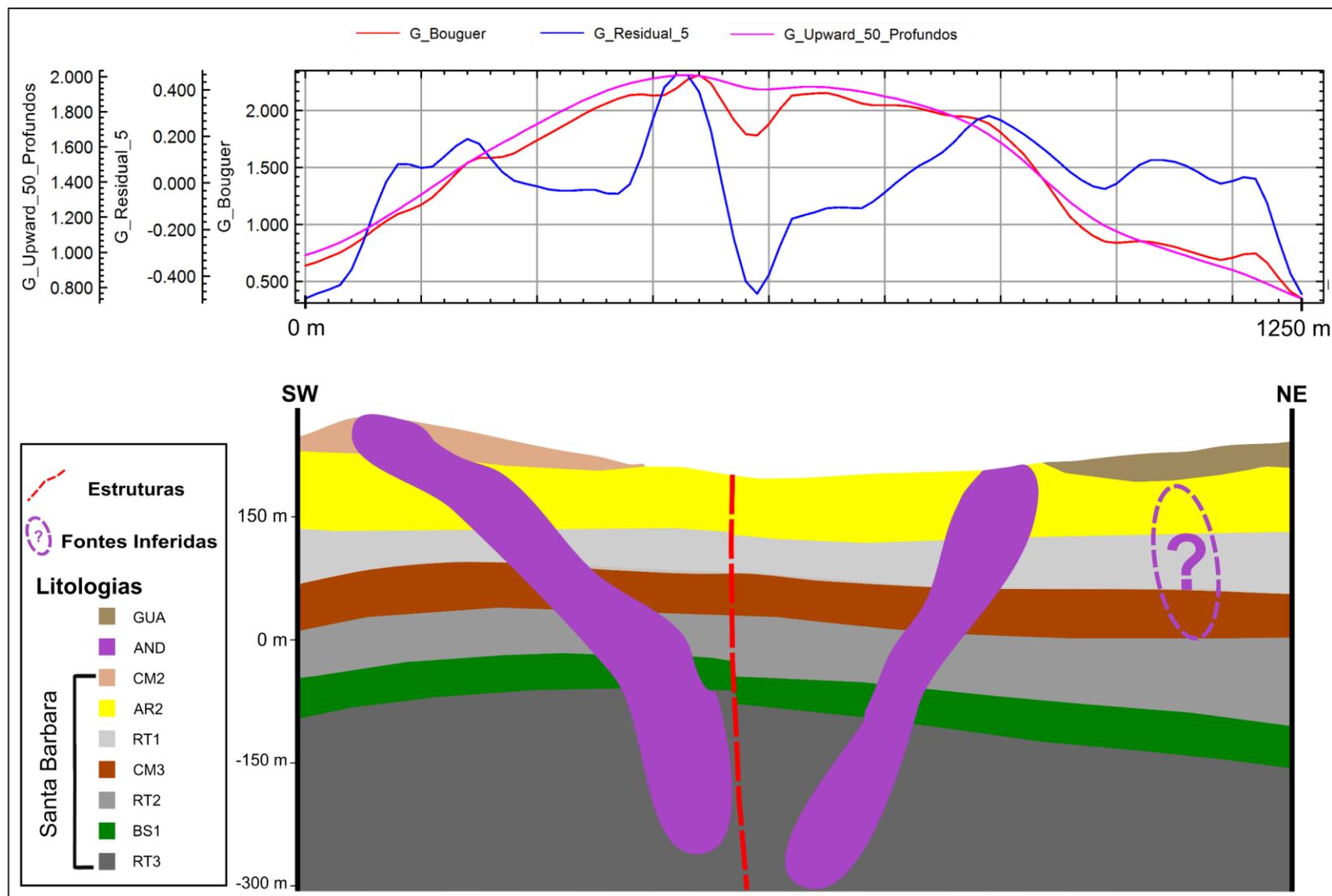
Fonte: Autor 2018

Figura 19. Perfil geofísico e geológico - linha 2



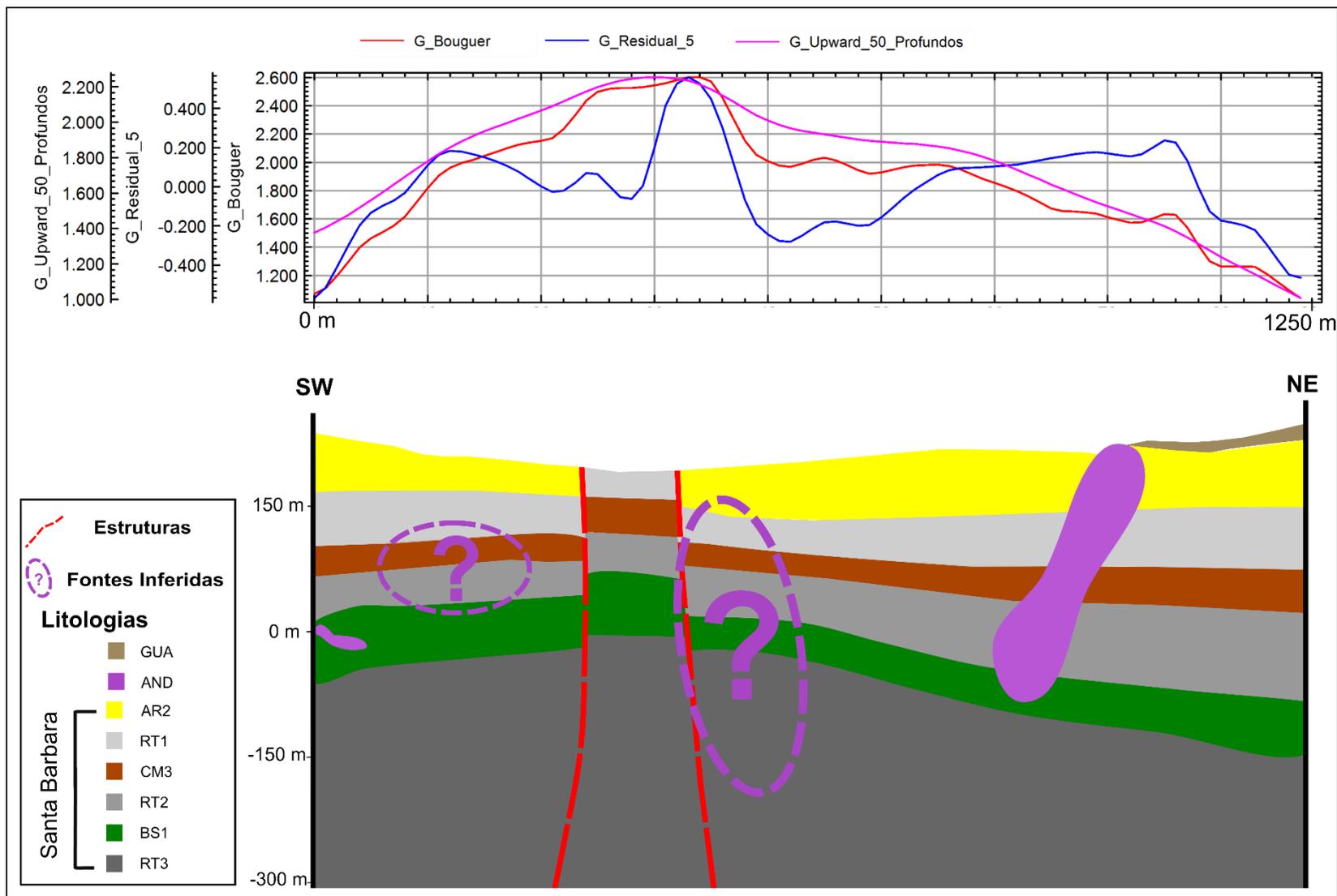
Fonte: Autor 2018

Figura 20. Perfil geofísico e geológico - linha 3



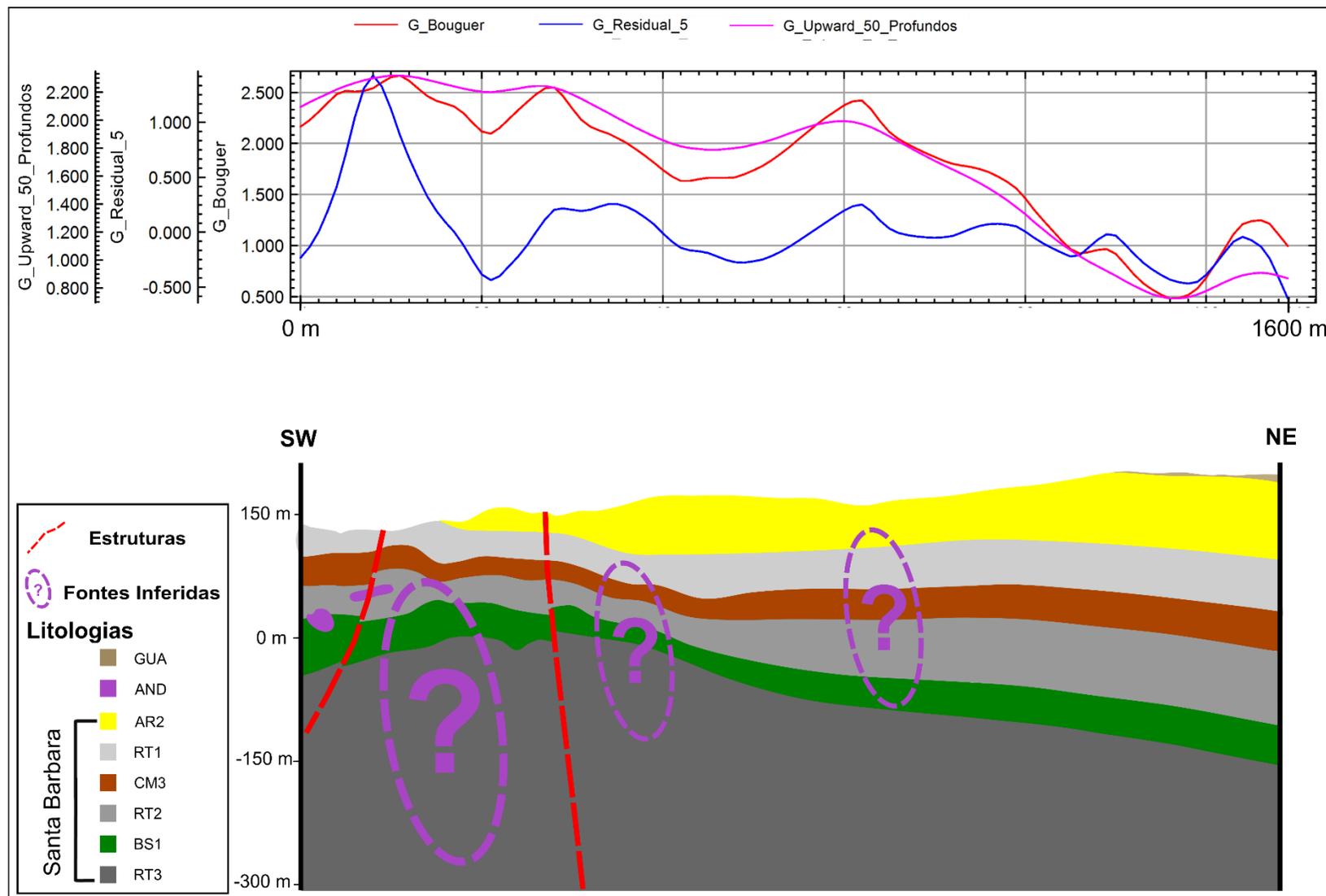
Fonte: Autor 2018

Figura 21. Perfil geofísico e geológico - linha 4



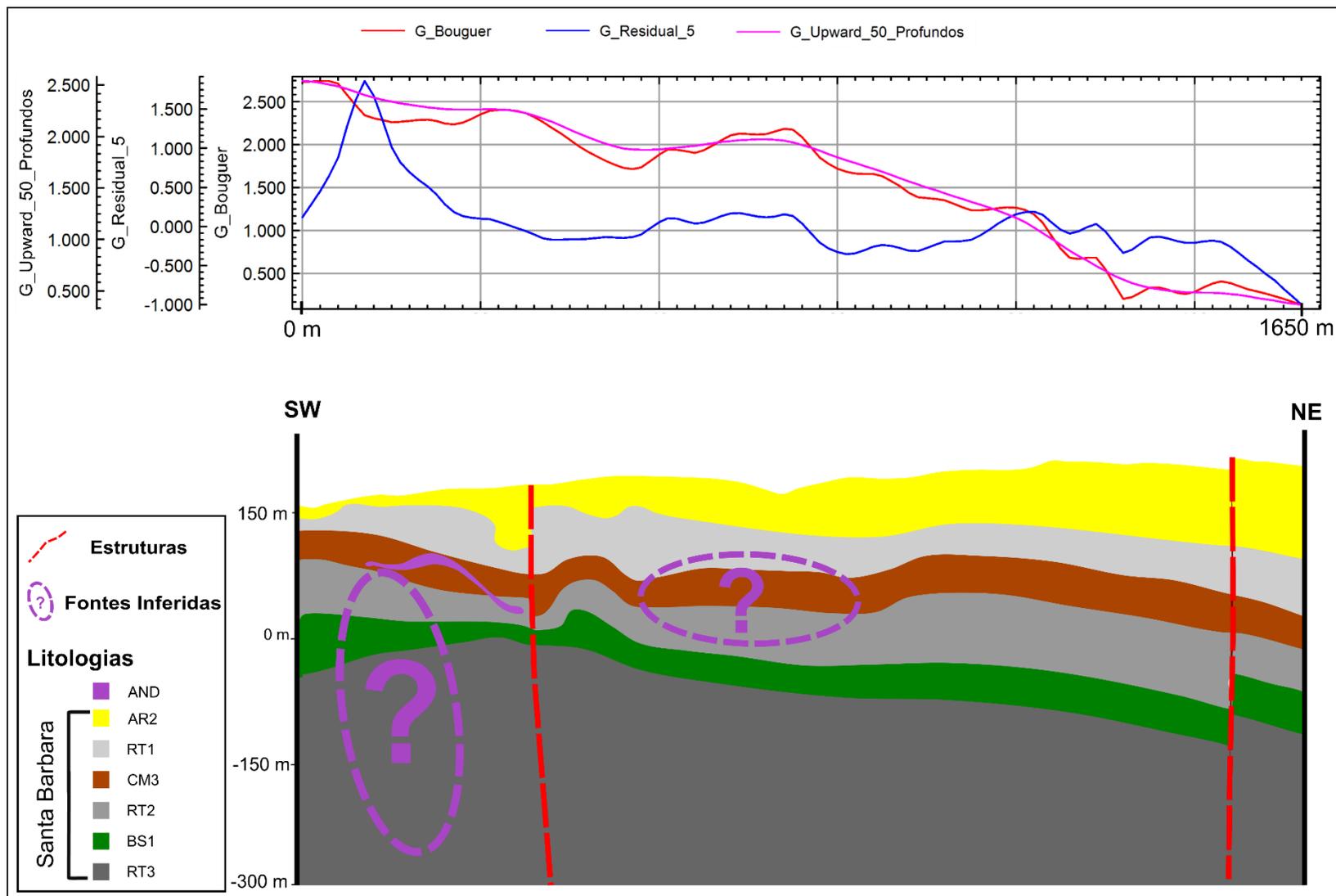
Fonte: Autor 2018

Figura 22. Perfil geofísico e geológico - linha 5



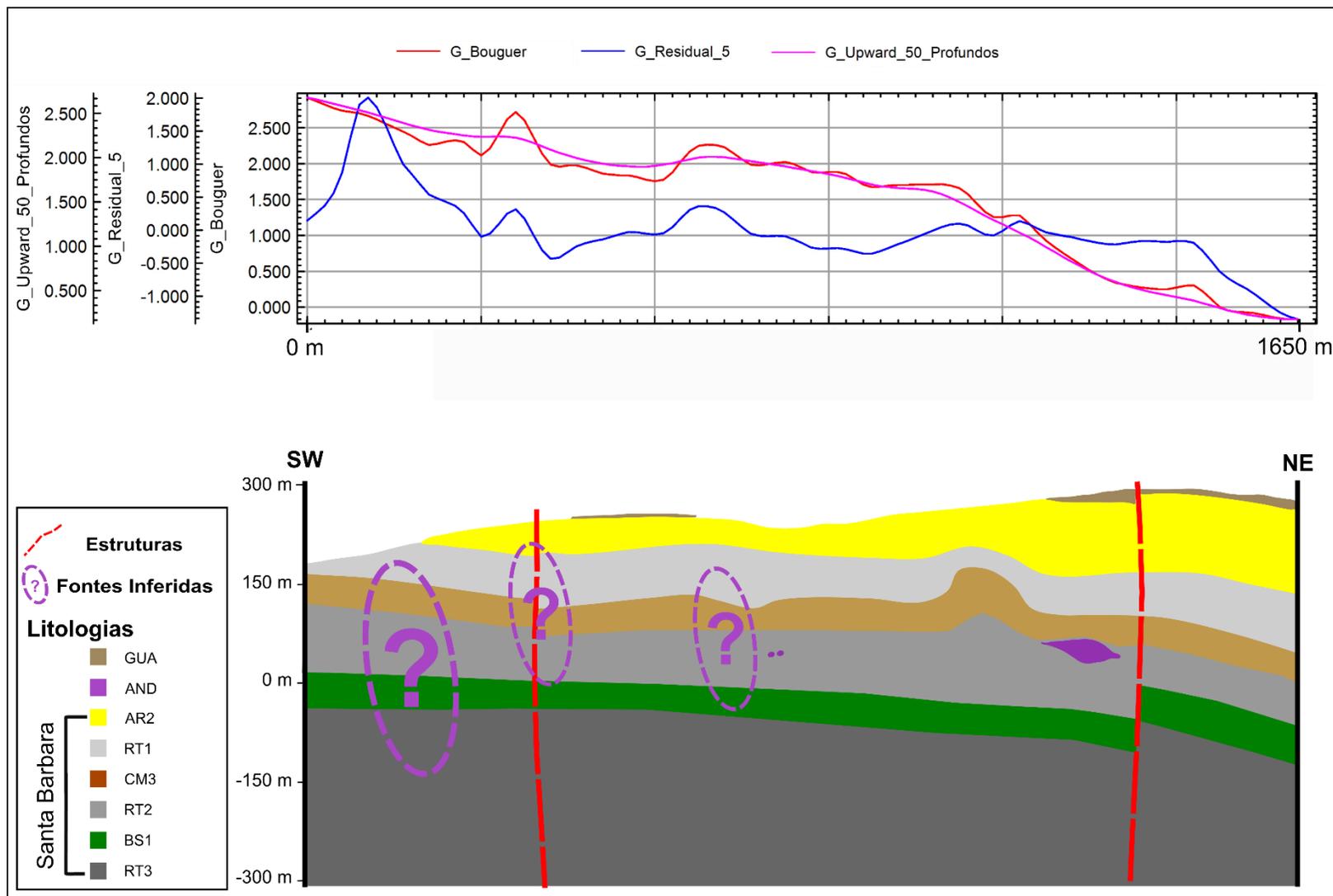
Fonte: Autor 2018

Figura 23. Perfil geofísico e geológico - linha 6



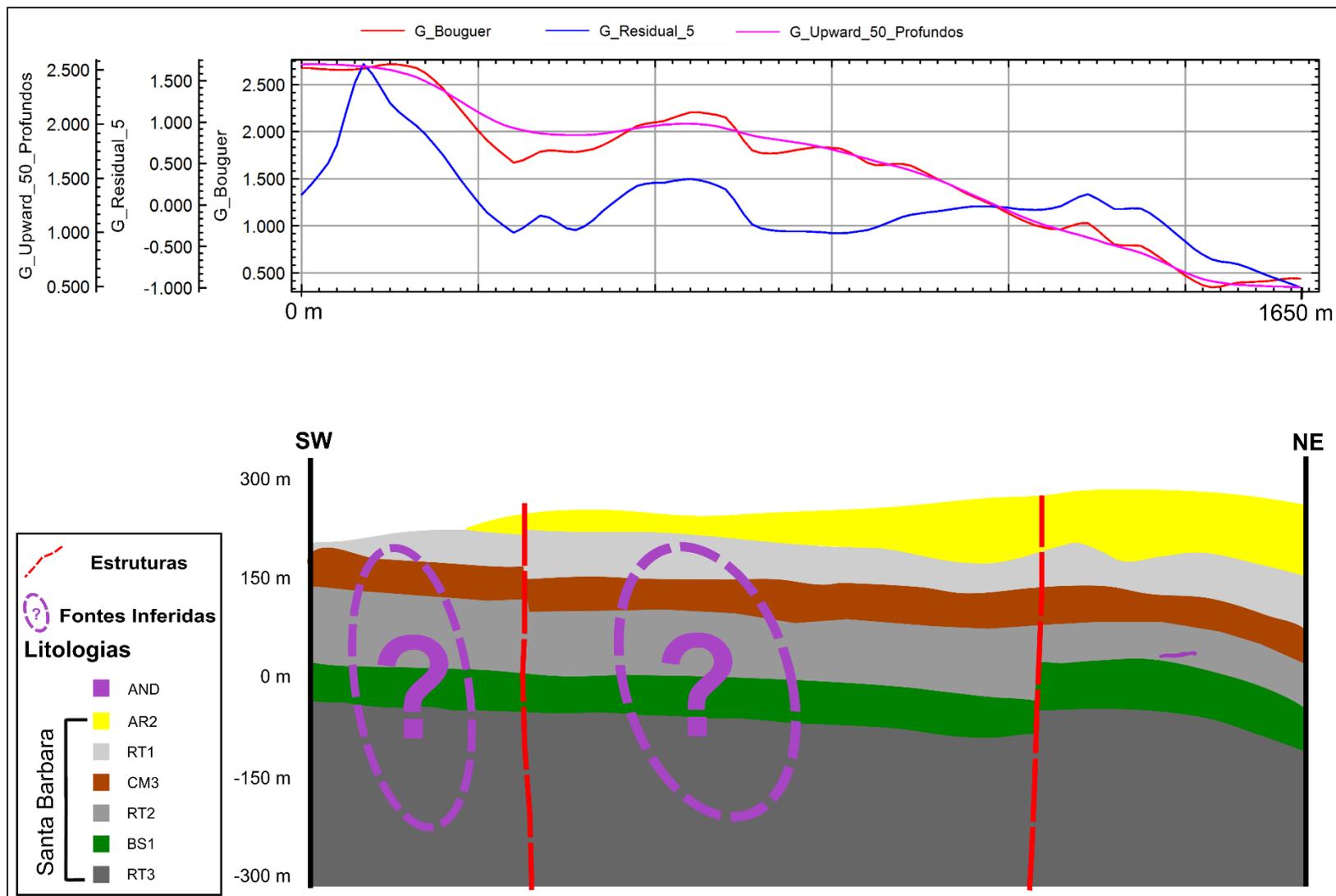
Fonte: Autor 2018

Figura 24. Perfil geofísico e geológico - linha 7



Fonte: Autor 2018

Figura 25. Perfil geofísico e geológico - linha 8



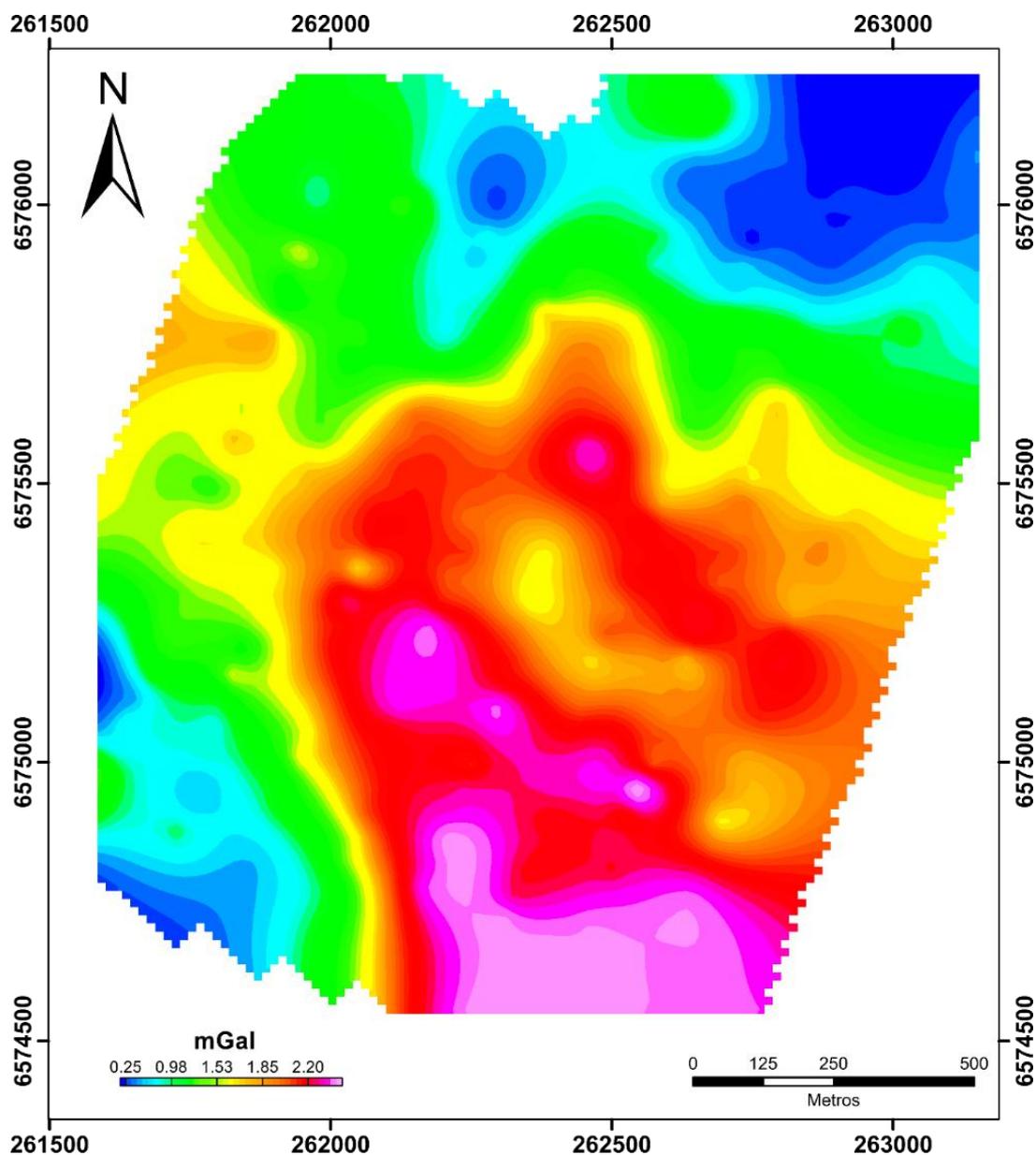
Fonte: Autor 2018

### 8.3 Mapas Gravimétricos

Foram gerados mapas de isovalores para análise. Estes, favorecem uma visualização em planta e comparação com modelos geológico e estrutural em superfície.

No Mapa da Anomalia *Bouguer* da (Figura 26) observa-se uma concentração dos altos valores a partir da porção central do mapa em direção a SE com uma presença de baixo valores nas porções limítrofes a NE e SW.

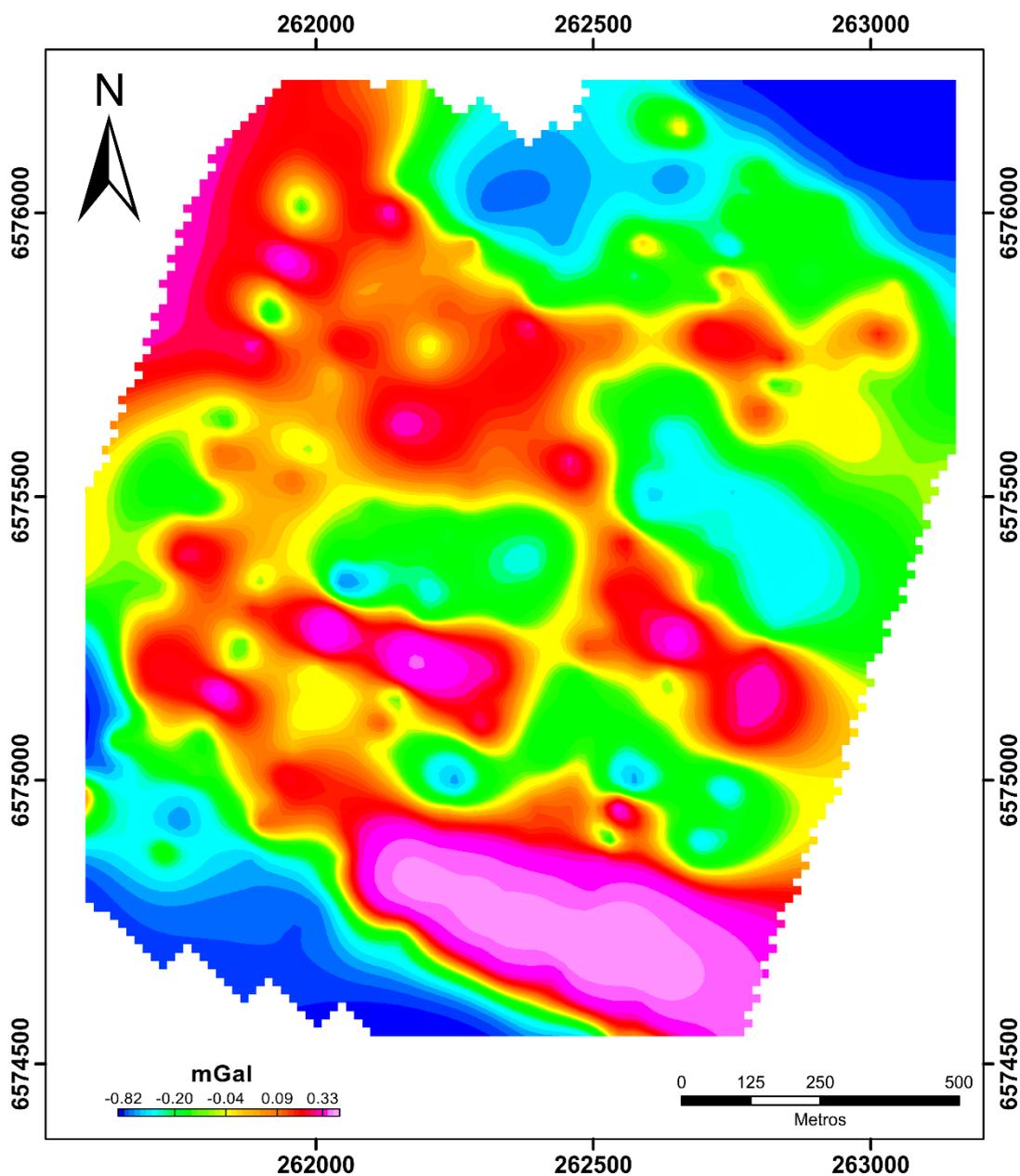
Figura 26. Mapa dos valores da anomalia *bouguer*.



Fonte: Autor 2018

No mapa de resíduos dos valores de anomalia *bouguer* da (Figura 27) a estruturação dos altos valores possui uma tendência NW-SE intercalando-se com regiões de baixos gravimétricos. Também é possível observar uma presença de valores baixos nas bordas NE e SW do mapa.

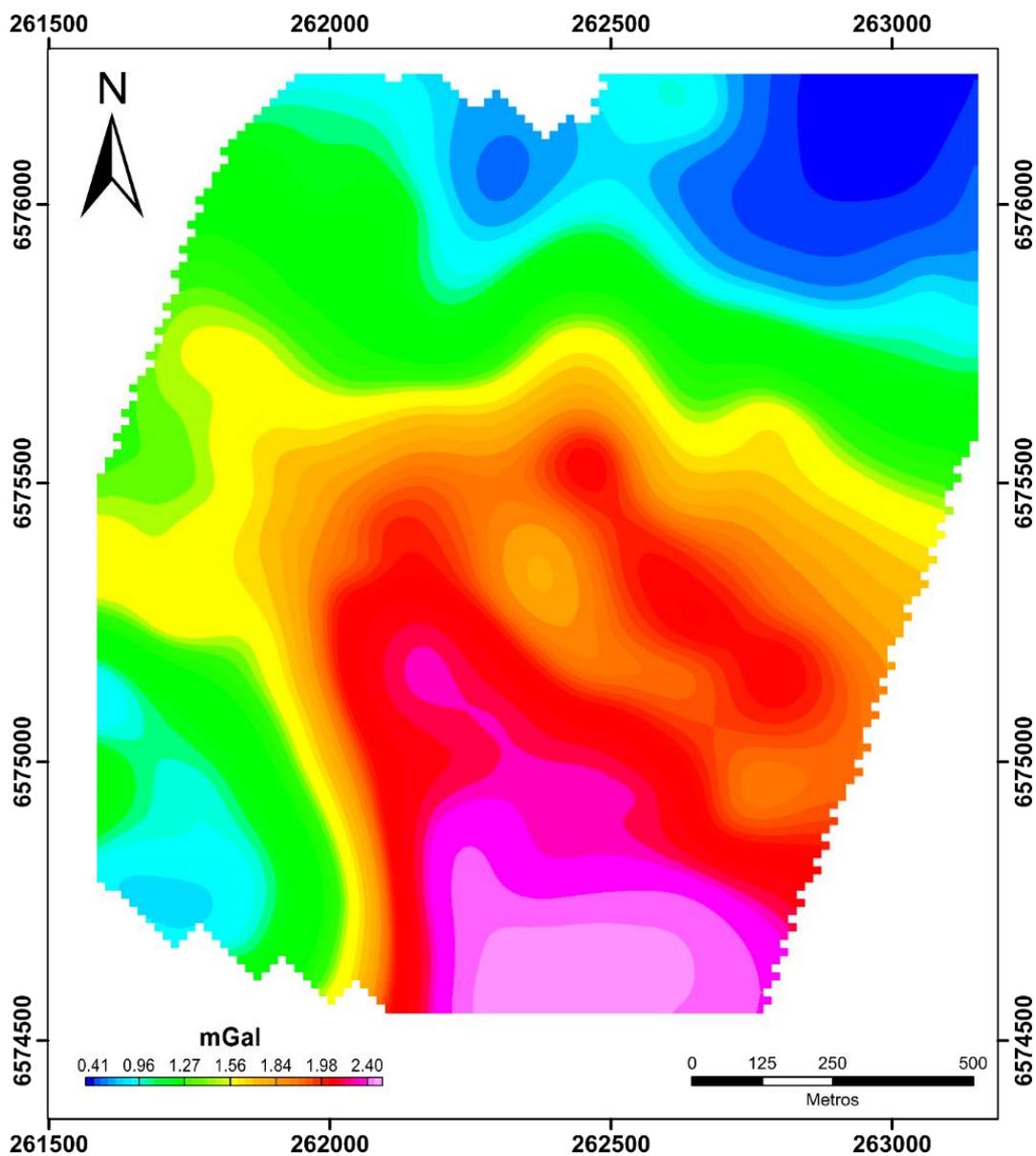
Figura 27. Mapa de resíduos dos valores da anomalia *bouguer* submetidos a uma superfície polinomial (tendência de grau 5).



Fonte: Autor 2018

O Mapa dos Valores de Continuação para Cima (50 metros) da (Figura 28), as populações de valores altos se concentram a partir do centro para SE, porém em relação a mapa da Anomalia *Bouguer* existe uma diminuição da área com valores anômalos elevados e uma estruturação em suas bordas.

Figura 28. Mapa de continuação para cima (50 metros) dos valores da anomalia *bouguer*.



Fonte: Autor 2018

## 9. INTEGRAÇÃO DOS DADOS, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO

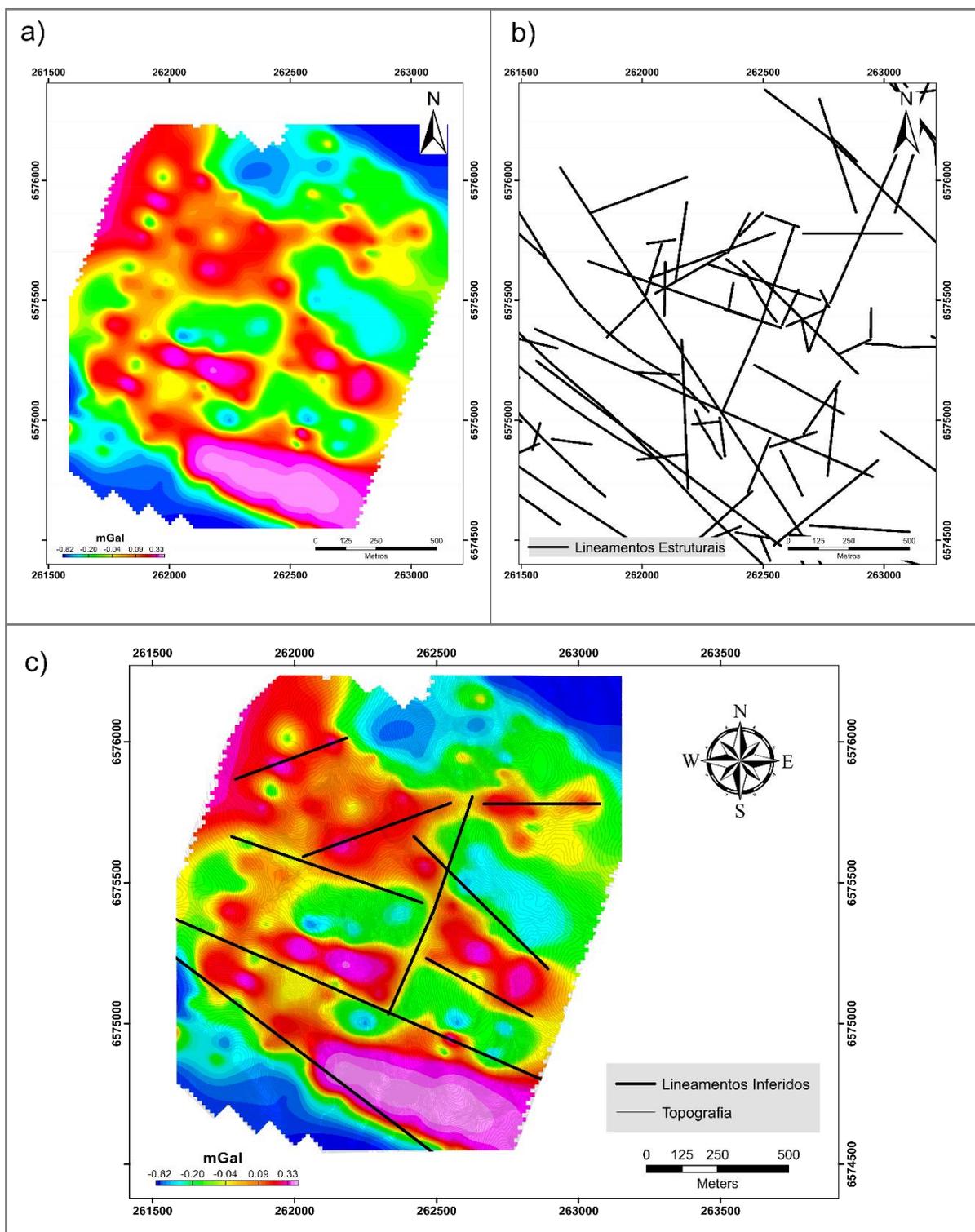
Após a aquisição dos dados em perfis, geração de mapas e sua integração com a geologia e estruturas conhecidas na área do trabalho foi possível realizar-se uma análise integrada destes resultados possibilitando melhor compreensão dos sinais geofísicos e do contexto geológico.

Na (Figura 29) os Valores de Anomalia Residual *Bouguer*, são integrados a estruturas conhecidas em mapeamentos preliminares além de possibilitar interpretação de novas estruturas que seccionam as anomalias tornando-as retilíneas evidenciando um controle estrutural em seus contatos. As tendências das estruturas NW-SE fica bem delimitada mostrando alguns pontos de altos valores nas porções SE e NW do mapa

Na integração de anomalia *Bouguer* e topografia na (Figura 30), foi possível definir 3 domínios gravimétricos. No domínio **A** estão concentrados os altos valores com uma concentração a SE do mapa e uma estruturação marcada do *trend* NW-SE e zonas de valores mais baixos no centro do domínio. O domínio **B** em forma de um semicírculo contorna o domínio **A** com valores intermediários e está distribuído em todas as regiões do mapa exceto na região SE. O domínio **C** se apresenta de maneira isolada nas porções NE e SW do mapa. Os valores de Anomalia *Bouguer* estão estruturados no mapa por lineamentos predominantes SE-NW com uma estruturação secundária NE-SW.

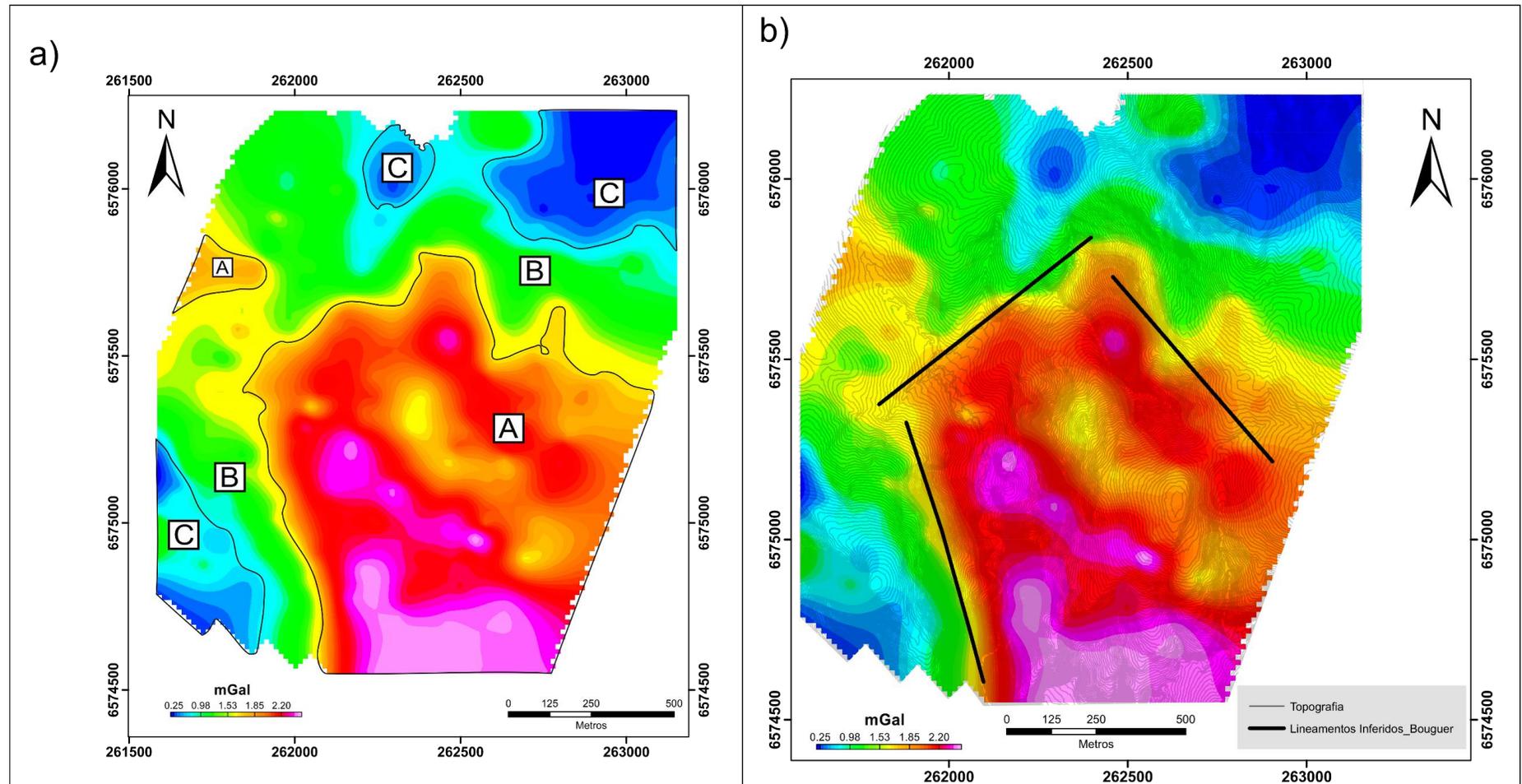
A integração do mapa dos Valores de Continuação Para Cima (50 metros) na (Figura 31) é possível observar também três domínios gravimétricos distintos que seguem a mesma estruturação do mapa de Anomalia *Bouguer* na figura (Figura 30), porém neste mapa os valores mais altos da anomalia estão concentrados a SSE e possuem uma concentração anômala local (diminuição em seu tamanho). As estruturas SE-NW continuam predominantes com uma estruturação secundária NE-SW.

Figura 29. Mapa de integração geofísico/geológico. a) Mapa de anomalia residual *bouguer*, b) Mapa de lineamentos estruturais; c) Integração de mapa de anomalia residual *bouguer*, mapa lineamentos estruturais e topografia de detalhe.



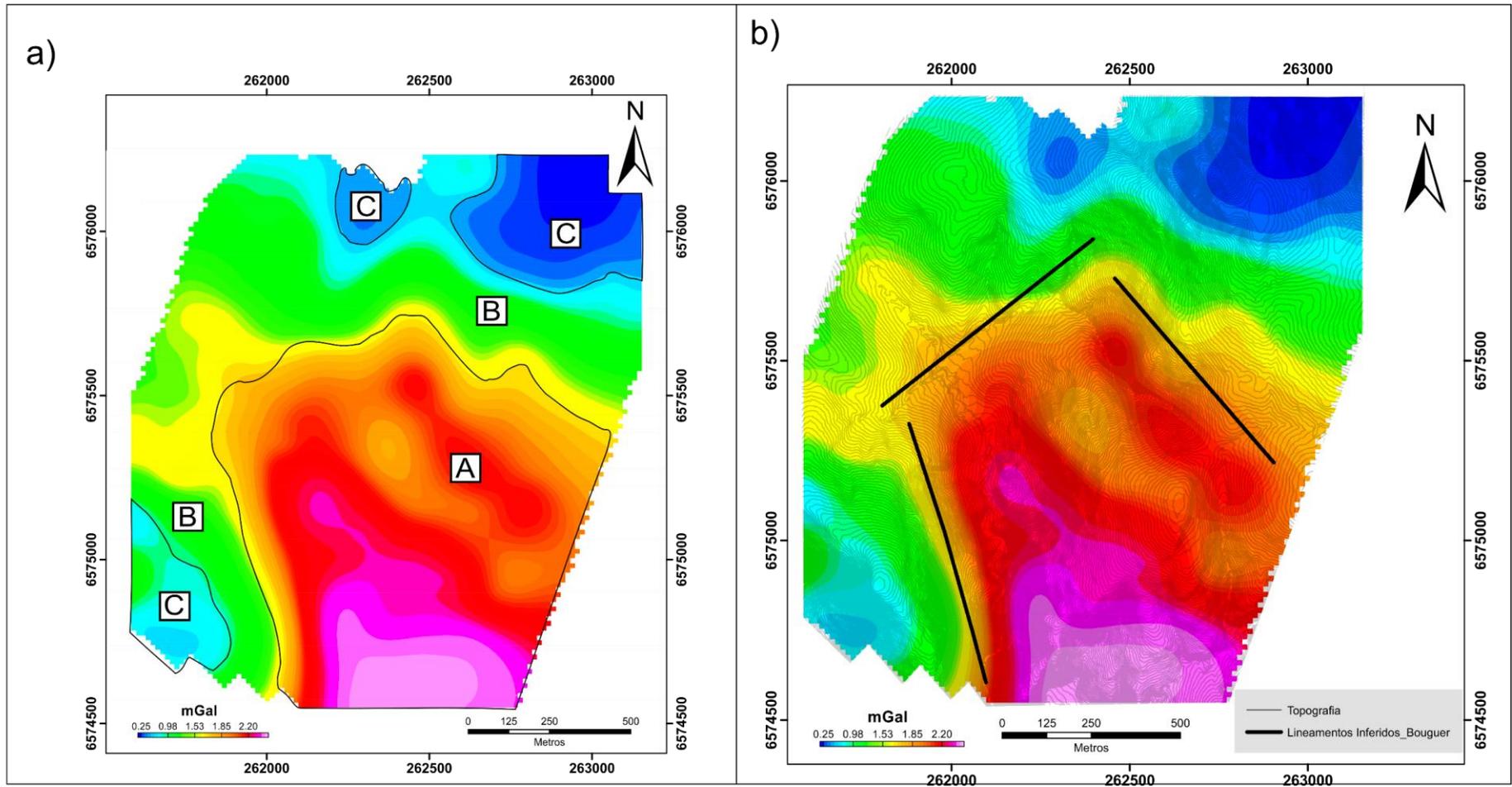
Fonte: Autor 2018

Figura 30. Mapa dos valores de anomalia *bouguer*. a) Domínios gravimétricos dos valores de anomalia *bouguer*. b) Integração valores de anomalia *bouguer* e topografia.



Fonte: Autor 2018

Figura 31. Mapa dos valores de anomalia *continuação para cima* (50 metros). a) Domínios gravimétricos dos valores *continuação para cima* (50 metros). b) Integração valores de *continuação para cima* (50 metros) e topografia.



Fonte: Autor 2018

## 10. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geofísica com seu desenvolvimento ao longo dos anos tem demonstrado ser uma ferramenta significativa tanto em estudos tectônicos, estruturais e na prospecção mineral.

Utilizando-se das propriedades físicas das rochas e contraste presente em diferentes litotipos, o emprego dos métodos requer um conhecimento geológico prévio da região de estudo que auxiliam na aplicação dos métodos mais eficientes.

A análise dos dados gravimétricos processados possibilitou uma caracterização qualitativa e semi-quantitativa dos limites litológicos e estruturais. A gravimetria terrestre em escala de detalhe neste estudo, forneceu resultados satisfatórios na determinação dos contatos litológicos aflorantes bem como sua continuidade em subsuperfície níveis mais profundos.

A partir da análise dos perfis gravimétricos foi possível observar um aumento na amplitude do sinal comparando os perfis de oeste para leste, com um *trend* para SE. Os valores de anomalia residual *bouguer* salientam a continuidade das estruturas rasas detectadas previamente no mapa geológico.

Na interpretação dos valores de anomalia residual *bouguer* nos perfis analisados delimitou-se a continuidade dos corpos ígneos aflorantes e seu comportamento em subsuperfície.

O aumento da amplitude dos valores de anomalia *bouguer* e continuação para cima (50 metros) se distribuem de maneira distinta nos perfis. Nos perfis localizados a oeste a tendência aumento dos valores anômalos localiza-se no centro das linhas 1,2, 3 e 4 (Figura 18,19, 20, 21) nas Linhas 5, 6, 7 e 8 (Figura 22, 23, 24, 25) foi observado este aumento migrando para a direção SW de cada linha.

O diagnóstico do mapa em planta dos valores de anomalia residual *bouguer*, possibilitou uma integração entre o dado gravimétrico e as estruturas de superfície com direções NE-NW. Ainda nos valores de anomalia *bouguer* e continuação para cima (50 metros) foi possível identificar os três principais domínios gravimétricos com uma tendência de aumento dos valores das anomalias para SE.

Os dados analisados apresentam altos valores de anomalias e continuidade do *trend* NW-SE nos limites da área estudada. Os valores detectados em alguns pontos são diferentes dos esperados em uma bacia sedimentar siliciclástica. Recomenda-se ainda um levantamento gravimétrico terrestre em maior extensão no

entorno do levantamento executado, e ainda integração tridimensional dos dados verificando sua continuidade lateral.

A realização de estudo gravimétrico nesta porção da Bacia do Camaquã se mostrou eficiente na detecção de fontes e estruturas rasas, devido ao contraste de densidade, e na caracterização de fontes profundas. O estudo pode ser empregado ainda na prospecção mineral já que esta bacia possui histórico metalogenético na gênese de minerais metálicos.

**BIBLIOGRAFIA**

Alagia, M. C. S. **Investigação Gravimétrica Na Porção Central Do *Greenstone Belt* Faina, Goiás** – Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pampa – 2015.

ALEXANDRINO, C.H. e HAMZA, V. M. **Estimates of heat flow and heat production and a thermal model of the São Francisco Craton.** Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), v. 97, p. 289-306, 2008

ALMEIDA, D. P. M. et al. **Petrography And Geochemistry Of The Volcanic Rocks Of The Rodeio Velho Member, Ordovician Of The Camaqua Basin (Rs-Brazil): Preliminary Results.** Revista Brasileira de Geociências – RBG Vol. 30, ano 2000.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; **O Pré-Cambriano do Brasil** - Editora Edgard Blucher 1984.

BICCA, M.M.- **Tectônica e Proveniência do Grupo Santa Bárbara, Região de Minas do Camaquã – RS.** Dissertação de Mestrado, IG-UFRGS, 130 p - (2013)

BRIGGS, IAN C. **Machine Contouring Using Minimum Curvature.** - GEOPHYSICS, February 1974, Vol. 39, No. 1: pp. 39-48

BRITO, R. S. C. **Modelos De Depósitos De Cobre Do Brasil E Sua Resposta Ao Intemperismo** /editores Reinaldo Santana Correia de Brito, Maria da Glória da Silva [e] Raul Minas Kuyumjian.– Brasília: CPRM, 2010. 190 p.

CARVALHO, P.F. - **Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul.** **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil 66**, 1–72. – (1932)

CASTRO, L. G. ; FERREIRA, F. J. F. . **Modelo Gravimétrico-Magnético do Gráben de Paranaguá-PR.** In: 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2007, Rio de Janeiro. Proceedings of the 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro - RJ: Sociedade Brasileira de Geofísica - SBGf, 2007. v. 1. p.

CHEMALE Jr., F. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense.** In: Holz, M. & De Ross, L. F. (eds.). Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS, p. 3-44, 2000.

FAMBRINI, G. L. **O grupo Santa Bárbara (neoproterozóico III) da bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003.

FRAGOSO-CÉSAR, A.R.S. ET AL. - **A antefossa molássica do cinturão Dom Feliciano no escudo do Rio Grande do Sul.** Congresso Brasileiro de Geologia, 33, 3272-3283.- 1984

FRAGOSO CESAR A.R.S., FAMBRINI G.L., PAES DE ALMEIDA R., PELOSI A.P.M.R., JANIKIAN L., RICCOMINI C., MACHADO R., NOGUEIRA A.C.R., SAES G.S. **The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to early Cambrian sequences in southernmost Brazil.** Rev. Bras. Geoc., 30:438-441. – (2000)

FRIES, M.; MALAGUTTI, FILHO; DOURADO, J. C.; FERNANDES, M. A; **Gravimetric survey and modeling of the basement morphology in the sedimentary thickness characterization, NE portion of Paraná Sedimentary Basin - Brazil.** Brazilian Journal of Geology, v. 47, p. 1-12, 2017.

GAMA, F. L; CARNEIRO, A. F. T, SEIXAS, A. **Normalização da Aplicação do Posicionamento GPS em Levantamentos Cadastrais – II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – 2007, Presidente Prudente – SP p. 529-537.**

**GEOSOFT. Extensão de Processamento de Dados Gravimétricos para o Oasis montaj v7.1, 2010.**

**GUIMARÃES, S. N. P. e HAMZA, V. M. Thermomagnetic features of crust in Southern parts of the structural provinces of Tocantins and São Francisco, Brazil. ISRN Geophysics, v. 2013, 8 páginas, 2013.**

**HARALYI, N., L. E. e HASUI, Y. The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of eastern Brazil. Revista Brasileira de Geociências, v. 12, n. 1-3, p. 160-166, 1982.**

**HARTMANN, L. A et al. - Deepest exposed crust of Brazil – SHRIMP establishes three events. Geology, 27: 947-950 – (1999)**

**HARTMANN, L. A.; CHEMALE JUNIOR, F.; PHILLIPP, R. P. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: 50 Anos de Geologia. 2007.**

**HASUI, Y., HARALYI, N., L. E., COSTA, J. B.S. Megaestruturação pré-cambriana do território brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. Geociências, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 7-31, 1993.**

**JANIKIAN, L. et al. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 4, p. 349-362, 2003.**

**JANIKIAN, L. et al. Evolução paleoambiental e seqüências deposicionais do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho (Supergrupo Camaquã) na Porção Norte da Sub-Bacia Camaquã Ocidental. Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 2, p. 245-256, 2005.**

KEAREY; PHILIP, BROOKS; MICHAEL, HILL; IAN - **Geofísica de Exploração /** tradução Maria Cristina Moreira Coelho. – São Paulo: Oficina de Textos, 2009

LESQUER, A., ALMEIDA, F.F.M., DAVINO, A., LACHAUD, J.C., MAILLARD, P. **Signification structurale des anomalies gravimetriques de la partie Sud du Craton de São Francisco (Brasil)**. Tectonophysics, v. 76, p. 273- 293, 1981

LOWRIE, WILLIAM. **Fundamentals of Geophysics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007 .

LUIZ, J.G.; LÚCIA M.C.S - **Geofísica de Prospecção** - Belém: Universidade Federal do Pará; Cejup, 1995.

MALAGUTTI FILHO, W., EBERT, H. D., HASUI, Y., HARALYI, N. L. E., HACKSPACHER, P. C., STURARO J. R., DE SOUZA, C. A., DE ALMEIDA, S. H. S. **Gravimetria e compartimentação crustal do Sul de Minas Gerais. Geociências**, São Paulo, v. 15, p. 199-217, 1996.

MANTOVANI, M. S.M. e BRITO NEVES, B. B. **The Paranapanema lithospheric block: Its importance of Proterozoic (Rodinia, Gondwana) supercontinent theories**. Gondwana Research, v. 8, n. 3, p. 303-315, 2005.

MANTOVANI, M. S. M., QUINTAS, M. C. L., SHUKOWSKY, W., BRITO NEVES B. B. **Delimitation of the Paranapanema Proterozoic block: a geophysical contribution**. Episodes, v. 28, n. 1, p. 18-22, 2005

MARANGONI, Y. R. e MANTOVANI, M. S. M. **Geophysical signatures of the alkaline intrusions bordering the Paraná Basin. Journal of South American Earth Sciences**, v. 41, p. 83-98, 2013.

NÓBREGA, J. E. S. **Proveniência Sedimentar Do Grupo Guaritas, Cambriano Da Bacia Do Camaquã (RS)**. Tese de Doutorado. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, 2011.

OLIVEIRA R.G. 2008. **Arcabouço Geofísico, Isostasia e Causas do Magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de Sua Margem Continental** (Nordeste do Brasil). Tese de Doutorado, IG/UFRN, 411p.

OLIVEIRA, N. V., ENDO, I., BLITZKOW, D. **Interpretation of the geomagnetic anomalies in the São Francisco Craton region based on CHAMP mission data.** Rev. Bras. de Geofísica, v. 30, n. 1, p. 93- 101, 2012.

Paim, P. S. G. - **Alluvial Palaeogeography of the Guaritas Depositional Sequence of Southern Brazil.** Spec. Publs. Inter. Ass. Sediment., 22, p. 3-16. – (1995)

PELOSI, A. P. M. R.; FRAGOSO-CÉSAR, A. R. S. **Proposta de classificação litoestratigráfica para o Grupo Maricá.** Encontro Sobre a Estratigrafia Do Rio Grande Do Sul: Escudos e Bacias, v. 1, p. 133-138, 2003.

RIBEIRO M; FANTINEL L.M. **Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul.** Inheríngia, Série Geologia, Porto Alegre, 5:19-54. – (1978).

Robertson, J.F. - **Revision of the stratigraphy and nomenclature of rock units in the Caçapava-Lavras region. State of Rio Grande do Sul, Brazil.** Notas e Estudos-IG/UFRGS 1 (2), 41-54. – (1966)

RONCHI, L. H.; LOBATO, A. O. C. - **Minas do Camaquã: um estudo multidisciplinar.** São Leopoldo: Unisinos, 2000. p. 353-366.

SANTOS, E. L, BECKEL, J., MACEDO P.M. GONZALEZ, F. CHABAN, N, - **Divisão litoestratigráficas do Eocambriano e Pre-cambriano Superior do Escudo Sul Rio Grandense,** In Congresso Brasileiro de Geologia 30 Anais 2 670-684. - (1978),

SEEBER G. - **Satellite Geodesy: Foundations, methods and applications.** Walter de Gruyter, New York, 531 p – (1993).

SHERIFF, ROBERT E. - **Geophysical Methods** - Prentice Hall, 1989 - Universidade de Michigan – 605 p

SILVA, MARIA DA GLÓRIA DA. **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras** / Organizadores Maria da Glória da Silva, Manoel Barretto da Rocha Neto, Hardy Jost [e] Raul Minas Kuyumjian.– Belo Horizonte: CPRM, 2014. 589 p.

SLAVEC, G. DE B., MANTOVANI, M. S. M., SHUKOWSKY, W. **Estudo gravimétrico do Maciço Alcalino Poços de Caldas. Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 2, p. 275-280, 2004.

MOLINA; E.C, USSAMI, N., **The geoid in southern Brazil and adjacent regions: new constraints on density distribution and thermal state of the lithosphere. J. of Geodynamics**, **28**, 357-374. 1999

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. - **Applied Geophysics**. Cambridge University Press, Cambridge, 1990, 770 p.

USSAMI, N., - **Estrutura e Limites da Placa Litosférica São Franciscana: Contribuição Gravimétrica**, Tese de Livre-Docência – IAG/USP – 1999