



**PRISCILA CHIDEN FROTA**

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EM ÁREA DE OCORRÊNCIAS  
POLIMETÁLICAS NA REGIÃO DE MINAS DO CAMAQUÃ (RS)**

PORTO ALEGRE

2018

PRISCILA CHIDEN FROTA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EM ÁREA DE OCORRÊNCIAS  
POLIMETÁLICAS NA REGIÃO DE MINAS DO CAMAQUÃ (RS)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadoras: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Correa da Camara Rosa  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Charão Marques

PORTO ALEGRE  
2018

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitora:** Jane Fraga Tutikian

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

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

Frota, Priscila Chiden

Aplicação de métodos geofísicos em área de ocorrências polimetálicas na região de Minas do Camaquã (RS). / Priscila Chiden Frota. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.  
[77 f.].

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientadoras: Maria Luiza Correa da Camara Rosa  
Juliana Charão Marques

1. Anomalia Bouguer.. 2. Sistema pórfiro-epitermal. 3. Assinaturas geofísicas. 4. Bacia do Camaquã. I. Título.

CDU 550.8

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS  
Sônia Teresinha Duarte de Oliveira CRB 10/2310

Dedico este trabalho aos meus pais Clóvis e Gislaine, por acreditarem em mim e por me acompanharem incansavelmente nesta jornada. Dedico também ao Rafael, pelo amor e parceria incondicionais.

## Agradecimentos

Inicio meus agradecimentos pelas pessoas com as quais eu tenho a sorte de conviver e aprender diariamente: meus pais, Clóvis e Gislaine. Sou muito grata por pertencer a esta família linda, cheia de amor e que tanto me incentiva. Ao Rafa, meu parceiro de vida, por me ensinar tanto sobre amor e companheirismo.

À Bru, minha amiga de alma, com quem eu sei que sempre posso contar e pra onde sempre posso correr; tua amizade me fortalece. Ao Luan, sou grata por esses mais de 20 anos de amizade, em que participamos de cada conquista um do outro. Agradeço aos amigos que ganhei na geologia: Lelê, Jef, Victor, Duda, Mau e Elisa, por todos esses anos de partilha e amizade. Ao Vitor, meu querido amigo, por me incentivar sempre e por toda a positividade que transmite. Aos presentes que ganhei durante meu intercâmbio na Espanha, Manu, Cowboy, Francis, Mi e Taniacita, minha gratidão pelas conversas na cozinha, por serem meus parceiros de mochilão e uma grande família.

Ao corpo docente do Instituto de Geociências da UFRGS, meu muito obrigada pelas lições, ensinamentos e por cada trabalho de campo; tenho muito orgulho de estar sendo formada nesta universidade. Agradeço as minhas orientadoras, Malu e Ju, por todo o aprendizado e por serem exemplos pra mim. Malu, obrigada por ser incansável, sempre disposta a ajudar, e por ser minha maior referência nesta profissão. Agradeço também ao geólogo Samuel que, em nome da *Nexa Resources*, forneceu-nos suporte durante a etapa de campo, sendo gentil e prestativo. Por fim, minha gratidão a vida por me levar ao encontro da geologia, fazendo com que eu encontrasse pessoas maravilhosas pelo caminho, que me deram apoio, me engrandeceram como pessoa e futura geóloga.

“Cada tic-tac es un segundo de la vida que pasa, huye y no se repite. Y hay en ella tanta intensidad, tanto interés, que el problema es sólo saberla vivir. Que cada uno lo resuelva como pueda.”

Frida Kahlo

## Resumo

Minas do Camaquã, situada no Município de Caçapava do Sul, foi considerada no decorrer de vários anos durante o século passado a principal fonte de cobre extraído no Brasil. São descritas para este importante sítio metalogenético, o qual está relacionado a evolução geológica da Bacia do Camaquã, ocorrências polimetálicas, tais como Cu, Pb, Zn, além de Au e Ag associados. Devido a sua complexidade geológica, esta região tem sido alvo de inúmeras pesquisas científicas, porém, a geofísica, apesar de ser uma ferramenta exploratória de grande valia em investigações de áreas com potencial mineral, não tem contribuído tanto quanto poderia em pesquisas deste âmbito. A prospecção de sulfetos realizada por métodos geofísicos é muito promitente devido a identificação de regiões anômalas. Com isto, o presente estudo objetivou integrar dados geofísicos, geológicos e estruturais, a fim de agregar informações que corroborem a hipótese de que os depósitos polimetálicos da região de Minas do Camaquã possam ter sua gênese associada a um corpo intrusivo em subsuperfície, característico de sistemas pórfiro-epitermais. Além disso, buscou-se verificar a contribuição dos métodos geofísicos utilizados para com a presente hipótese. Tendo em vista que sistemas pórfiro-epitermais, em bacias sedimentares, apresentam-se estruturalmente controlados e, geralmente, associados a altas concentrações de potássio e notáveis diferenças de densidade geradas entre um corpo intrusivo e a encaixante sedimentar, este estudo contou com a utilização dos métodos aeromagnetométrico, aerogamaespectrométrico e gravimétrico. A partir da análise integrada dos mapas temáticos gerados como produto dos métodos supracitados, buscou-se a identificação de assinaturas geofísicas que fossem ao encontro das hipóteses deste trabalho. No mapa de Anomalia Bouguer Residual, o qual permite identificar fontes mais rasas, observou-se a presença de um alto gravimétrico significativo entre o Depósito Santa Maria e as minas Uruguai e São Luiz. Na mesma área, foram identificadas altas concentrações de potássio reconhecidas nos mapas gamaespectrométricos. As principais feições estruturais e ocorrências mineralógicas mapeadas na região foram sobrepostas aos mapas de Amplitude do Sinal Analítico e de Primeira Derivada Vertical do campo magnético anômalo, mostrando estreita correlação com os lineamentos magnéticos identificados. Neste estudo são apresentados, portanto, indícios da associação entre ocorrências polimetálicas na região estudada e um possível corpo intrusivo em subsuperfície, característico de sistemas pórfiro-epitermais.

Palavras-Chave: Anomalia Bouguer; Sistema pórfiro-epitermal; Assinaturas geofísicas; Bacia do Camaquã.

## Abstract

Minas do Camaquã, located in the municipality of Caçapava do Sul, were considered over the course of several years during the last century as the main source of copper mined in Brazil. Are described for this important metalogenetic site, which is related to the geological evolution of the Camaquã Basin, polymetallic occurrences, such as Cu, Pb, Zn, in addition to Au and Ag associated. Due to its geological complexity, this region has been the target of numerous scientific researches, however, the Geophysics, despite being an exploratory tool of great value in investigations of areas with mineral potential, has not contributed as much as it could in researches of this scope. The prospecting of sulphides made by geophysical methods is very promising due to the identification of anomalous regions. Therefore, the present study aimed to integrate geophysical, geological and structural data in order to aggregate information that corroborates the hypothesis that the polymetallic deposits of the Minas do Camaquã region could have its genesis associated to an intrusive body in subsurface, being a characteristic from porphyry-epithermal systems. In addition, it was sought to verify the contribution of the geophysical methods used for the present hypothesis. Given that porphyry-epithermal systems, in sedimentary basins, are structurally controlled and, generally, associated to high concentration of potassium and notable differences of density generated between an intrusive body and the sedimentary surrounding rock, this study counted on using aeromagnetometric, aerogamaspectrometric and gravimetric methods. From the integrated analysis of the thematic maps generated as a product of the aforementioned methods, it was sought to identify geophysical signatures that would meet the hypotheses of this work. In the Residual Bouguer Anomaly map, which allows to identify shallower sources, it was observed the presence of a significant gravimetric high between the Santa Maria Deposit and the Uruguai and São Luiz mines. In the same area, high concentrations of potassium were identified in gammaspectrometric maps. The main structural features and mineralogic occurrences mapped in the region were overlaid to the maps of Analytic Signal Amplitude and First Vertical Derivative of the anomalous magnetic field, showing close correlation with the identified magnetic lineaments. In this study, therefore, are presented evidences of the association between polymetallic occurrences in the studied region and a possible intrusive body in subsurface, characteristic of porphyry-epithermal systems.

**Keywords:** Bouguer Anomaly; Porphyry-epithermal System; Geophysical signatures; Camaquã Basin.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo, em que as áreas 1, 2 e 3 correspondem aos três corpos mineralizados do Depósito Santa Maria. ....	14
Figura 2- Mapas de geofísica exploratória do Projeto Baneo, realizado pela CPRM, aonde são identificadas diversas zonas anômalas. O retângulo vermelho representa a área de estudo deste trabalho, definida a partir do alto gravimétrico associado a anomalias magnéticas e de potássio, na região de Minas do Camaquã.....	16
Figura 3- Mapa geológico simplificado, contendo as principais unidades geotectônicas do ESRG.....	19
Figura 4- Mapa contendo os domínios geofísicos definidos por Costa (1997) no ESRG.....	19
Figura 5- Mapa geológico e estrutural da região de Minas do Camaquã. ....	22
Figura 6- Croqui geológico da região de Minas do Camaquã. ....	23
Figura 7- Seção esquemática das zonas mineralizadas e de alterações hidrotermais presentes no Depósito Santa Maria e nas minas Uruguai e São Luiz. ....	25
Figura 8- Modelo de mineralização do tipo cobre pórfiro, proposto por Beckel (1990), para a região de Minas do Camaquã. ....	28
Figura 9- Ilustração dos processos característicos de sistemas pórfiro-epitermais. ....	29
Figura 10- Modelo generalizado mostrando as principais zonas de alteração hidrotermal associadas a depósitos cobre pórfiro. ....	29
Figura 11- Espectro típico de raios gama. ....	35
Figura 12- Banco de dados do projeto, onde os pontos amarelos correspondem aos dados gravimétricos preliminares, disponibilizados pelo BNDG, e o retângulo branco a área de estudos. ....	38
Figura 13- Mapa de localização da área recoberta pelo Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. ....	39
Figura 14- Mapa contendo os principais acessos da área de estudo.....	41
Figura 15- Aquisição dos dados de campo com o gravímetro Scintrex® CG-3 e rover (GNSS Stonex).....	42
Figura 16- Mapa de Anomalia Bouguer Residual dos dados pré-campo, disponibilizados pelo BNDG, o qual orientou a aquisição das 66 estações de medida realizadas durante o trabalho de campo. ....	43
Figura 17- Base do GNSS, localizada na sede na Nexa Resources.....	44

Figura 18- Processamento dos dados gravimétricos preliminares e geração dos mapas de anomalia Bouguer.....	45
Figura 19- Processamento dos dados adquiridos em campo, mostrando a aplicação dos filtros gaussiano e Passa-baixa, para a geração do mapa de anomalia Bouguer residual. ....	46
Figura 20- Processamento dos dados do Projeto Aerogeofísico Escudo Rio Grande do Sul....	46
Figura 21- Mapa de Anomalia Bouguer Total gerado a partir dos dados disponibilizados pelo BNDG, na etapa pré-campo.....	48
Figura 22- Mapa de Anomalia Bouguer Total gerado a partir dos dados coletados durante o levantamento realizado no trabalho de campo deste estudo.....	49
Figura 23- Mapa de Anomalia Bouguer Regional gerado a partir dos dados coletados durante o trabalho de campo.....	50
Figura 24- Mapa de Anomalia Bouguer Residual gerado a partir dos dados coletados no trabalho de campo.....	51
Figura 25- Mapa de Primeira Derivada Vertical da Anomalia Bouguer gerado a partir dos dados coletados no trabalho de campo. ....	52
Figura 26- Perfil A'B' realizado a partir dos dados preliminares cedidos pelo BNDG. ....	53
Figura 27- Perfil C'D' realizado a partir dos dados preliminares cedidos pelo BNDG. ....	54
Figura 28- Perfil AB realizado durante o levantamento gravimétrico da etapa de campo.....	55
Figura 29- Perfil CD realizado durante o levantamento gravimétrico da etapa de campo.....	56
Figura 30- Mapa do Campo Magnético Anômalo de parte do ESRG, contendo as principais feições estruturais e os domínios magnéticos definidos por Costa (1997). A área de estudo está representada pelo retângulo branco. LI= Lineamento de Ibaré; L1= Lineamento 1; L2= Lineamento 2; AMCS= Anomalia Magnética Caçapava do Sul; ZCDC= Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu; DMO= Domínio Magnético Oeste; DMC= Domínio Magnético Central; DML= Domínio Magnético Leste.....	58
Figura 31-Mapa do Campo Magnético Anômalo.....	58
Figura 32- Mapa de Amplitude do Sinal Analítico. ....	59
Figura 33- Mapa da Primeira Derivada Vertical do Campo Magnético Anômalo.....	60
Figura 34- Mapa de Contagem Total com contorno.....	61
Figura 35- Mapa de Concentração de Potássio sobreposto pelos contornos das unidades litológicas da área de estudo.....	62
Figura 36- Mapa de Concentração de Potássio sobreposto pelas feições estruturais mapeadas na área de estudo pela CPRM.....	63

Figura 37- Mapa de Concentração de Tório sobreposto pelo contorno do mapa geológico da área de estudo.....	64
Figura 38- Mapa de Composição Ternária RGB, com destaque para a área de estudo, representada pelo retângulo amarelo.....	65
Figura 39- Mapa geológico e estrutural da região de Minas do Camaquã.....	66
Figura 40- Comparação entre os mapas de Anomalia Bouguer Total gerados a partir dos dados preliminares, cedidos pelo BNDG, e dos dados levantados em campo durante o presente estudo, ressaltando a discrepância entre ambos.....	67
Figura 41- Modelo 3D realizado a partir do mapa de Anomalia Bouguer Residual da área de estudo.....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Correlação entre as colunas estratigráficas propostas para a Bacia do Camaquã, com destaque para a classificação de Ribeiro <i>et al.</i> (1966).....	21
Quadro 2- Dados de aquisição de voo do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul. .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGSG - Anomalia Gravimétrica São Gabriel  
AMCS - Anomalia Magnética Caçapava do Sul  
AMPA - Anomalia Magnética Porto Alegre  
ASA - Amplitude do Sinal Analítico  
BC - Bacia do Camaquã  
BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento  
CBC - Companhia Brasileira de Cobre  
CMA - Campo Magnético Anômalo  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CT - Contagem Total  
DMC - Domínio Magnético Central  
ESRG - Escudo Sul-riograndense  
Fm - Formação  
GNSS - *Global Navigation Satellite System*  
GPS - Sistema de Posicionamento Global  
IAEA - *International Atomic Energy Agency*  
IGEO - Instituto de Geociências  
IGRF - *International Geomagnetic Reference Field*  
LI - Lineamento de Ibaré  
MeV - Megaelétron-Volt  
NGA - *Northwest Geophysical Associates*  
RGB - *Red, Green, Blue*  
SI - Sistema Internacional de Unidades  
SIG - Sistema de Informações Geográficas  
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*  
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
USGS - United States Geological Survey  
UTM - Universal Transversa de Mercator  
ZSDC - Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 Justificativas</b> .....	17
<b>1.2 Objetivos</b> .....	17
<b>2. GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	18
<b>2.1 Escudo Sul-riograndense</b> .....	18
<b>2.2 Bacia do Camaquã: Tectônica e Estratigrafia</b> .....	20
<b>3. GEOLOGIA LOCAL</b> .....	22
<b>3.1 Depósito Santa Maria e Minas do Camaquã</b> .....	22
<b>3.2 Mineralizações</b> .....	24
<i>3.2.1 Histórico das Mineralizações na Região</i> .....	26
<i>3.2.2 Hipóteses Genéticas</i> .....	27
<i>3.2.2.1 Depósitos do Tipo Cobre Pórfiro</i> .....	28
<b>4. METODOLOGIA: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	30
<b>4.1 Método Gravimétrico</b> .....	30
<b>4.2 Método Magnetométrico</b> .....	33
<b>4.3 Método Gamaespectrométrico</b> .....	35
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
<b>5.1 Composição do Banco de Dados</b> .....	37
<i>5.1.1 Dados Gravimétricos Preliminares</i> .....	38
<i>5.1.2 Dados Aerogeofísicos</i> .....	39
<b>5.2 Métodos Acessórios: Sensoriamento Remoto e SIG</b> .....	40
<b>5.3 Trabalho de Campo</b> .....	42
<b>5.4 Geoprocessamento dos Dados Geofísicos</b> .....	44
<b>6. RESULTADOS</b> .....	47
<b>6.1 Gravimetria</b> .....	47
<i>6.1.1 Mapas de Anomalia Bouguer Total</i> .....	47
<i>6.1.2 Mapa de Anomalia Bouguer Regional</i> .....	49
<i>6.1.3 Mapa de Anomalia Bouguer Residual</i> .....	50
<i>6.1.4 Mapa de Primeira Derivada Vertical</i> .....	52
<i>6.1.5 Perfis: Anomalia Bouguer Total x Distância</i> .....	52
<i>6.1.5.1 Perfil A'B'</i> .....	53

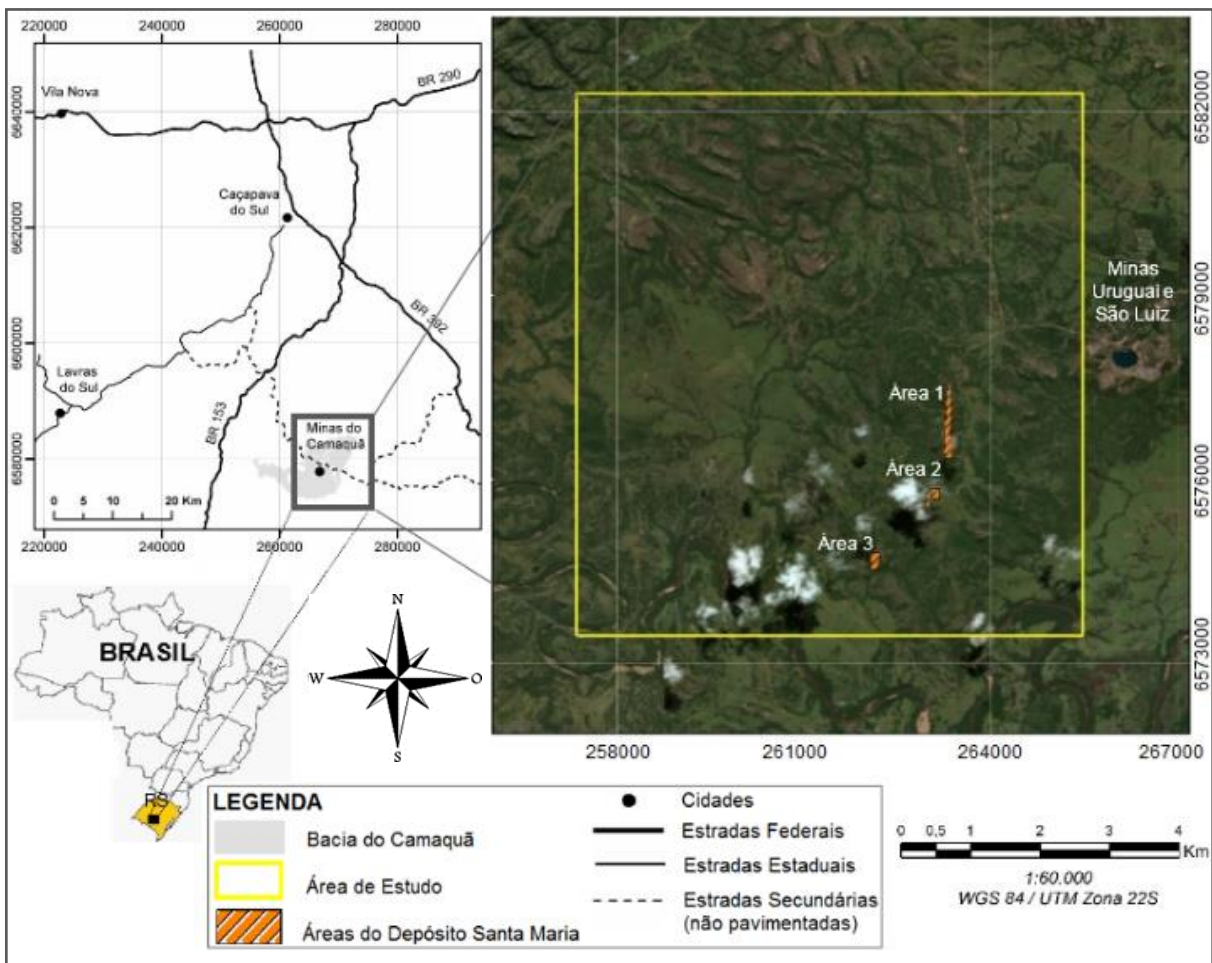
<b>6.1.5.2 Perfil C'D'</b> .....	54
<b>6.1.5.3 Perfil AB</b> .....	55
<b>6.1.5.4 Perfil CD</b> .....	56
<b>6.2 Magnetometria</b> .....	57
<b>6.2.1 Mapas do Campo Magnético Anômalo</b> .....	57
<b>6.2.2 Mapa de Amplitude do Sinal Analítico</b> .....	59
<b>6.2.3 Mapa de Primeira Derivada Vertical</b> .....	60
<b>6.3 Gamaespectrometria</b> .....	61
<b>6.3.1 Mapa de Contagem Total</b> .....	61
<b>6.3.2 Mapa de Concentração de Potássio</b> .....	62
<b>6.3.3 Mapa de Concentração de Tório</b> .....	63
<b>6.3.4 Mapa de Composição Ternária RGB</b> .....	64
<b>7. DISCUSSÕES</b> .....	66
<b>7.1 Discrepâncias entre os Dados Gravimétricos Preliminares e os Dados de Campo</b> ....	66
<b>7.2 Análise e Integração dos Resultados</b> .....	68
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	71
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	73

## 1. INTRODUÇÃO

A região de Minas do Camaquã localiza-se na porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul e dista, aproximadamente, 350 km da cidade de Porto Alegre. A área de estudo deste trabalho compreende, mais precisamente, o Depósito Santa Maria e arredores, localizado no distrito de Minas do Camaquã, pertencente ao município de Caçapava do Sul (Figura 1).

Quanto às vias de acesso que levam a área de estudo pode-se, a partir da cidade de Porto Alegre, seguir pela BR-290 até o entroncamento com a RS-153, por onde deve-se percorrer em torno de 52 km para Sul. Posteriormente, até a vila das Minas do Camaquã, estima-se um percurso de 23 km em via secundária não pavimentada. O acesso até o Depósito Santa Maria pode ser realizado por outra via secundária que liga o distrito de Minas do Camaquã a cidade de Bagé e, no entroncamento com a RS-625, segue-se por mais 3,6 km.

**Figura 1-** Mapa de localização da área de estudo, em que as áreas 1, 2 e 3 correspondem aos três corpos mineralizados do Depósito Santa Maria.



Fonte: elaborado pela autora.



O Depósito Santa Maria, bem como as minas Uruguai e São Luiz, apresentam diversas pesquisas geológicas e, principalmente, geoquímicas, relacionadas à sua gênese e evolução. Ainda assim, dada a sua complexidade, já foram propostos inúmeros modelos metalogenéticos para as mineralizações da região.

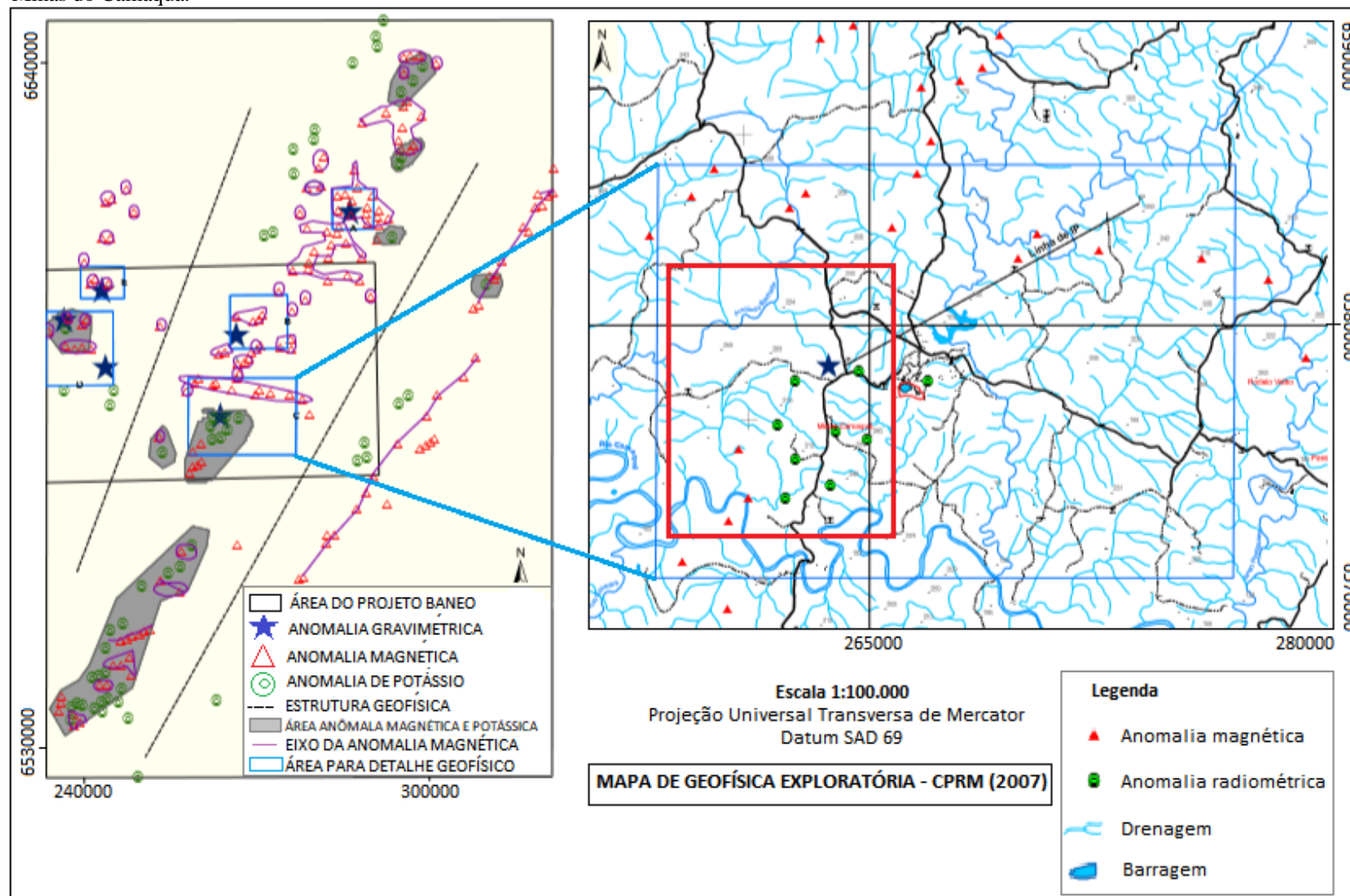
Segundo Laux (1999), os primeiros estudos referentes à gênese do minério foram efetuados por Carvalho (1932) e Teixeira (1937), sucedidos por Leinz & Almeida (1941) e Costa Filho (1944), responsáveis pelas primeiras descrições do minério de cobre no distrito de Minas do Camaquã. De acordo com estes autores, os depósitos polimetálicos desta região, os quais se encontram preenchendo fraturas e formando filões, teriam sua gênese associada a um modelo hidrotermal magmático, que teve maior aceitação com o trabalho de Bettencourt (1972).

A partir dos estudos realizados pelos autores supracitados, Beckel (1990) propõe um modelo genético do tipo cobre pórfiro para o depósito mineral sulfetado das Minas do Camaquã. Posteriormente, outros autores utilizaram-se de métodos geofísicos para estudar este local e, através destes métodos, foram identificadas assinaturas geofísicas, tais como altos gravimétricos (COSTA *et al.*, 1995) e anomalias de potássio (RIBEIRO & ARAÚJO, 1982), as quais podem indicar a presença de sistemas hidrotermais e/ou de corpos magmáticos em profundidade. Posteriormente, Toniolo *et al.* (2007) publicaram o primeiro relatório referente ao Projeto Baneo, efetuado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), no qual constam as atividades desenvolvidas em parte da Bacia do Camaquã, com o intuito de indicar novas áreas-alvo para pesquisa mineral. Estas áreas foram selecionadas, principalmente, a partir de zonas geofísicas anômalas. Portanto, o presente estudo foi motivado pelas premissas supracitadas e pela análise do relatório do Projeto Baneo, a partir do qual foi selecionada a área de estudo, através da identificação de anomalias gravimétricas, magnetométricas e radiométricas, em uma região que compreende o Depósito Santa Maria e as Minas do Camaquã (Figura 2).

Desta forma, as hipóteses que orientaram a realização deste estudo foram:

- (I) O depósito polimetálico Santa Maria, bem como as minas Uruguai e São Luiz, poderiam ter sua gênese associada à presença de um corpo intrusivo em subsuperfície, característico de sistemas pórfiro-epitermais;
- (II) A integração dos métodos geofísicos utilizados é capaz de auxiliar na prospecção de sistemas deste tipo, através da identificação de anomalias que apontem para a presença de um corpo intrusivo e de um possível controle estrutural associado às mineralizações.

**Figura 2-** Mapas de geofísica exploratória do Projeto Baneo, realizado pela CPRM, aonde são identificadas diversas zonas anômalas. O retângulo vermelho representa a área de estudo deste trabalho, definida a partir do alto gravimétrico associado a anomalias magnéticas e de potássio, na região de Minas do Camaquã.



Fonte: modificado de Toniolo (2007).

## 1.1 Justificativas

O presente trabalho elucida a necessidade da realização de novos levantamentos geofísicos na região de Minas do Camaquã, ressaltando a importância de todas as etapas metodológicas que envolvem desde a aquisição até o geoprocessamento dos dados, a fim de garantir a confiabilidade dos mesmos. Além disso, este trabalho buscou corroborar cientificamente a outros estudos, os quais associam as mineralizações da região a um depósito do tipo cobre pórfiro. Vale, ainda, ressaltar a relevância do desenvolvimento deste projeto no que diz respeito ao caráter socioeconômico, dada a importância do minério de cobre na economia mundial, devido a sua grande aplicabilidade no desenvolvimento tecnológico industrial. Apesar de as minas Uruguai e São Luiz encontrarem-se desativadas, a descoberta do Depósito Santa Maria permite considerar uma reavaliação do potencial mineral da região. Portanto, além das contribuições científicas, a realização deste estudo, que se utilizará de métodos indiretos de pesquisa mineral, também agregará na otimização dos recursos financeiros e na racionalização do tempo de futuros projetos prospectivos na região.

## 1.2 Objetivos

Tendo como base as hipóteses levantadas, os objetivos principais deste trabalho foram analisar e integrar dados geofísicos, geológicos e estruturais capazes de indicar a possível existência de um corpo intrusivo em subsuperfície, característico de depósitos cobre pórfiro, bem como avaliar a contribuição dos métodos geofísicos utilizados para prospecção de depósitos deste tipo.

Os objetivos específicos referem-se à identificação de assinaturas geofísicas, tais como: (I) anomalias gravimétricas, dada a diferença de densidade entre um corpo intrusivo em subsuperfície e a encaixante sedimentar; (II) anomalias gamaespectrométricas, principalmente de potássio, considerando a composição alcalina de corpos intrusivos em sistemas pórfiro-epitermais; (III) anomalias magnetométricas, visando identificar um possível controle estrutural na área de estudo, também característico deste tipo de depósito.

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

As Minas do Camaquã e o Depósito Santa Maria, estão inseridos no contexto evolutivo da Bacia do Camaquã (BC), localizada na porção central do Escudo Sul-riograndense (ESRG), segundo Chemale Jr. (1997). Portanto, nos subitens que seguem, será relatada uma breve contextualização acerca do ESRG, da tectônica e estratigrafia da BC.

### 2.1 Escudo Sul-riograndense

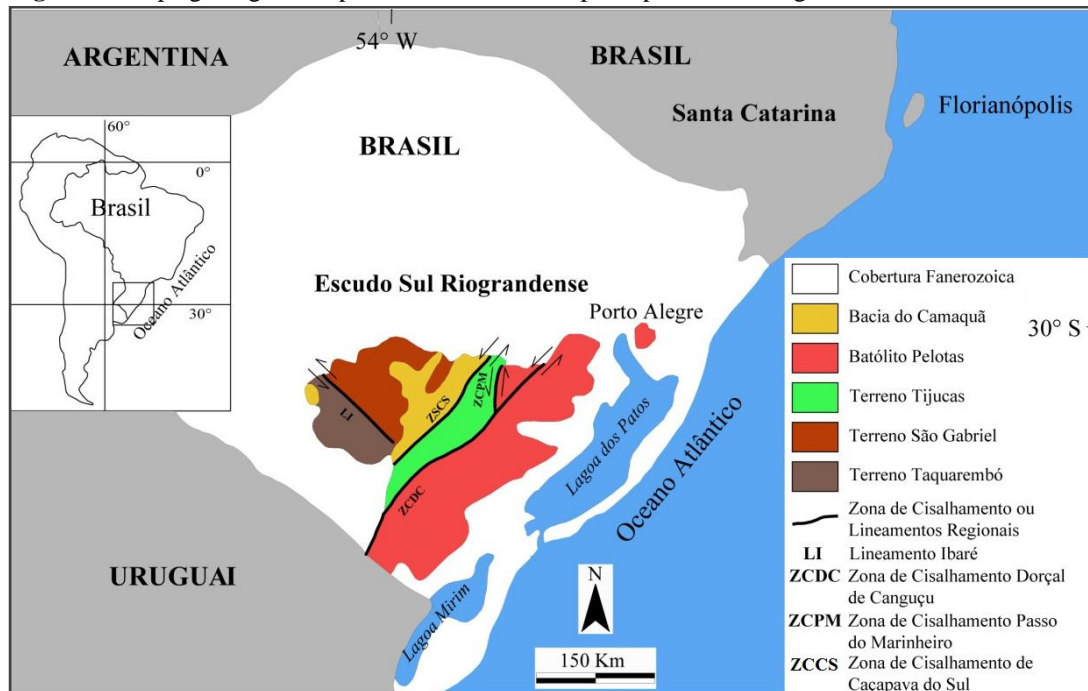
O Escudo Sul-riograndense situa-se na porção sul da Plataforma Sul-Americana, assim como na região meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.* 1976). Se formou como resultado de processos de geração e deformação de crosta continental, sendo a maior contribuição dada pelos ciclos orogênicos Transamazônico (2,26 - 2 Ga) e Brasileiro (900 - 535 Ma) (HARTMANN *et al.*, 2007).

Segundo Hartmann (2007), o ESRG compreende regiões metamórficas de grau médio a alto que constituem as porções do embasamento Paleoproterozóico, intercaladas com associações rochosas Neoproterozóicas que representam a evolução de uma zona de convergência e posterior formação do Cinturão Dom Feliciano. Quatro unidades geotectônicas compõem o ESRG (Figura 3): Terreno Taquarembó (possui a unidade mais antiga do Escudo, de idade Paleoproterozoica, representada pelo Complexo Santa Maria Chico), Terreno São Gabriel (essencialmente formado por gnaisses cálcico-alcálicos juvenis cortados por metagranitoides em uma sequência vulcano-sedimentar), Terreno Tijucas (compreende uma associação de rochas meta-sedimentares e mata-vulcânicas de fácies xisto verde a anfíbolito, bem como um núcleo Paleoproterozoico) e Batólito Pelotas (formado por um complexo granítico com septos do embasamento).

O Terreno Taquarembó, de idade Paleoproterozoica, é interpretado como sendo um fragmento do Cráton Rio de La Plata (HARTMANN *et al.*, 2007). Já os Terrenos São Gabriel, Tijucas e Batólito Pelotas compõem o Cinturão Dom Feliciano, descrito por Almeida & Melo (1981) como sendo uma faixa móvel, Neoproterozoica, gerada durante a amalgamação do Gondwana pela colisão entre os crátons Kalahari e Rio de La Plata. Zonas de cisalhamento, cujas direções predominantes são NE-SW (Zonas de Cisalhamento Dorsal do Canguçu e

Caçapava do Sul) e NW-SE (Lineamento de Ibaré), dividem as grandes unidades geotectônicas. A Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu separa o Terreno Tijucas do Batólito Pelotas, enquanto que o Lineamento de Ibaré separa o Terreno Taquarembó do São Gabriel (HARTMANN *et al.*, 2007).

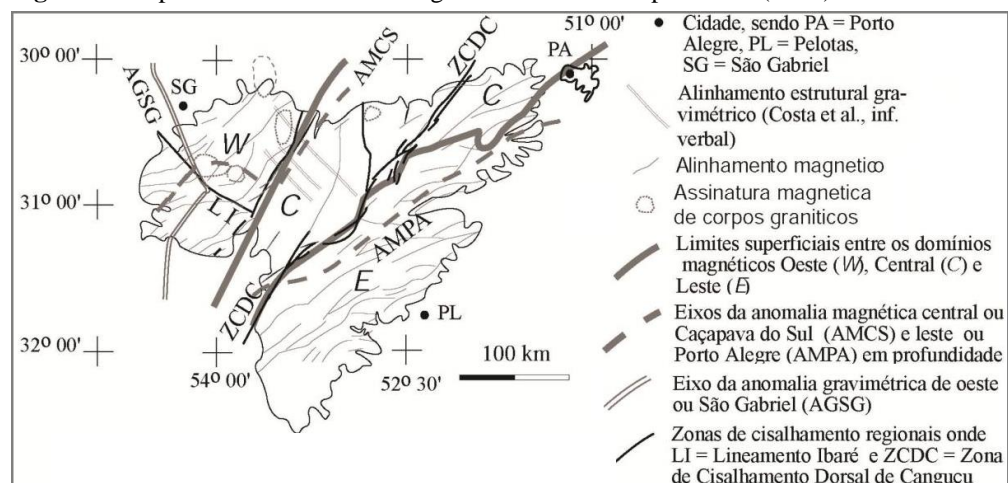
**Figura 3-** Mapa geológico simplificado, contendo as principais unidades geotectônicas do ESRG.



Fonte: Chemale *et al.* (2012).

Costa (1997) definiu no ESRG, os domínios Oeste, Central e Leste, baseado em dados gravimétricos e magnéticos (Figura 4). Segundo Paim *et al.* (2000), o Domínio Oeste pode ser dividido em duas porções, norte e sul, limitadas pelo Lineamento de Ibaré (LI); sendo a porção sul dividida pela Anomalia Gravimétrica São Gabriel (AGSG). O Domínio Central está compreendido entre a Anomalia Magnética Porto Alegre (AMPA) e a Anomalia Magnética Caçapava do Sul (AMCS). O Domínio Leste é limitado pela AMPA.

**Figura 4-** Mapa contendo os domínios geofísicos definidos por Costa (1997) no ESRG.



Fonte: Hartmann *et al.*, (2007).

## 2.2 Bacia do Camaquã: Tectônica e Estratigrafia

A Bacia do Camaquã está situada na porção central do ESRG e encontra-se orientada segundo a direção NE-SW. Considerada uma bacia do tipo *strike-slip* formada nas fases finais do Ciclo Brasileiro, a BC abrange uma sequência vulcano-sedimentar com episódios magmáticos que ocorreram desde o final do Neoproterozoico (Ediacarano) ao Ordoviciano, intercalados às rochas sedimentares (LIMA *et al.*, 2007).

Diversos modelos acerca do regime tectônico responsável pela gênese e evolução da BC já foram propostos. Entre estes modelos estão: hipóteses relacionadas a teoria da geossinclinal, desvinculadas daquela referente à tectônica de placas (LOSS & ROISENBERG, 1972); modelos que relacionam a gênese desta bacia à tectônica colisional brasileira e consequente subsidência flexural (GRESSE *et al.* 1996); hipóteses relacionadas a um estágio final do Ciclo Brasileiro que resultaria na formação de bacias *strike-slip* (ALMEIDA *et al.*, 1981; BRITO NEVES & CORDANI, 1991); e modelos compostos em que, dentre eles, há um que propõe tectônica colisional inicialmente e posterior deformação extensional (FRAGOSO-CÉSAR *et al.*, 1992; PAIM *et al.* 1999). O que se sabe acerca da evolução geológica desta bacia é que a mesma apresenta intervalos com predomínio de eventos deposicionais, em que há o acúmulo de pacotes sedimentares e vulcano-sedimentares, alternados com outros em que intervalos erosionais são dominantes.

Durante as fases de preenchimento da BC, houve o predomínio de eventos vulcânicos de composição intermediária a ácida, geralmente na base de unidades com maior hierarquia dentro da sequência, que foram sucedidos pela deposição de sedimentos essencialmente siliciclásticos. Formou-se, então, um padrão de preenchimento complexo, englobando episódios sedimentares, ígneos e deformacionais, representado por diversas unidades estratigráficas. O vulcanismo associado à BC pode ser desmembrado em três ciclos vulcânicos: Formação Hilário, Formação Acampamento Velho e Membro Rodeio Velho (LIMA *et al.*, 2007).

As principais estruturas observadas na BC (Figura 5) podem ser divididas em dois sistemas de falhas principais, sendo um NE-SW regional e outro NW-SE, representado por falhas subsidiárias nas quais se encontram as principais estruturas mineralizadas da região (Bettencourt 1972, Teixeira & Gonzalez 1988).



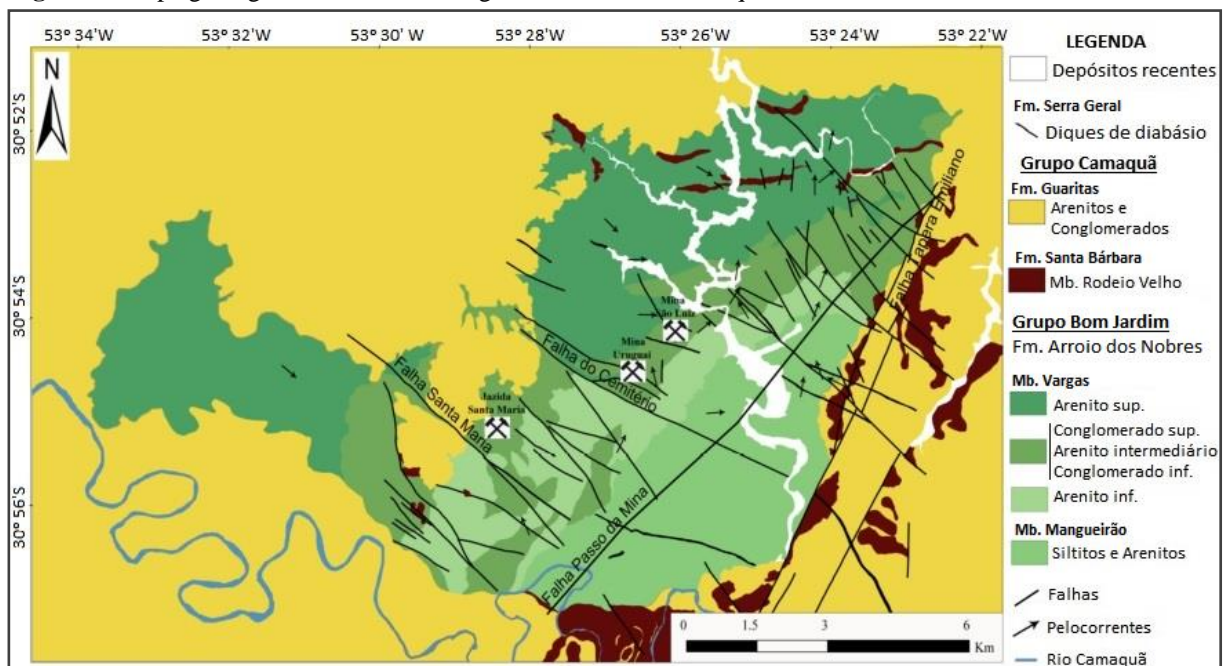
### 3. GEOLOGIA LOCAL

Tendo em vista a importância econômica e histórica deste importante distrito metalogenético, fez-se, neste trabalho, uma revisão bibliográfica acerca da geologia local da região de Minas do Camaquã. Nos itens que seguem, constam uma breve contextualização geológica do Depósito Santa Maria e das minas Uruguai e São Luiz, bem como aspectos referentes as mineralizações e hipóteses genéticas propostas para a região – com ênfase em depósitos do tipo cobre pórfiro.

#### 3.1 Depósito Santa Maria e Minas do Camaquã

De acordo com Ribeiro *et al.* (1966), as Minas do Camaquã e o Depósito Santa Maria estão localizados na “Janela Bom Jardim” (Figura 5). Esta corresponde a uma região erodida onde afloram as rochas basculadas do Grupo Bom Jardim, contornadas pelas rochas mais jovens e elevadas topograficamente da Formação Guaritas. Segundo Janikian *et al.* (2008), foram obtidas, pelo método Ar-Ar, idades entre 601 e 580 Ma para o Grupo Bom Jardim.

**Figura 5-** Mapa geológico e estrutural da região de Minas do Camaquã.



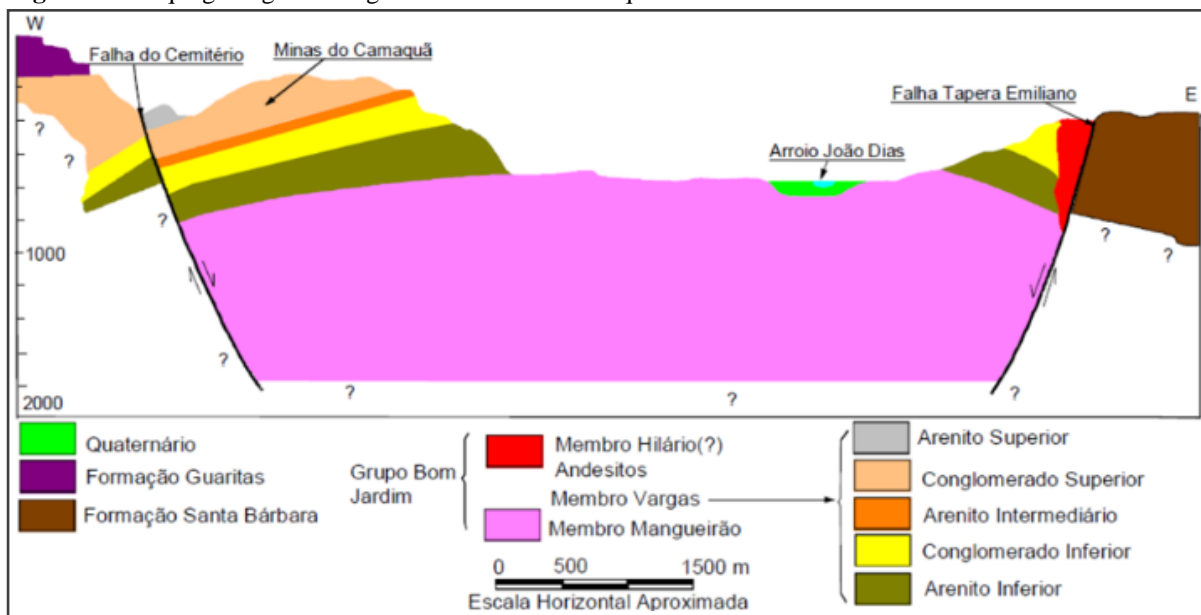
Fonte: extraída de Bicca (2013). Legenda modificada de acordo com a classificação de Ribeiro (1966).



As Minas do Camaquã e o Depósito Santa Maria pertencem ao mesmo Membro Vargas e, geologicamente, formam uma unidade única, sendo arbitrária a divisão realizada. Essas duas sequências representam o mesmo ambiente deposicional, porém, nas Minas do Camaquã, as rochas conglomeráticas são mais abundantes e os seixos, apesar de serem maiores, apresentam a mesma composição petrográfica daqueles presentes na sequência Santa Maria, bem como a mesma direção e sentido das correntes de aporte sedimentar.

O Membro Vargas, encaixante das mineralizações filonianas e disseminadas, apresenta um pacote de arenitos e conglomerados (com cerca de 600 m de espessura) que mergulha cerca de 30° para NE. Este Membro foi subdividido em cinco unidades litológicas (Figura 6): Arenito Inferior, Conglomerado Inferior, Arenito Intermediário, Conglomerado Superior e Arenito Superior, sendo que somente o último não se encontra mineralizado (BETTENCOURT, 1972; TEIXEIRA *et al.* 1978).

**Figura 6-** Croqui geológico da região de Minas do Camaquã.



Fonte: Laux (1999).

O Arenito Inferior apresenta as fácies de planície e frente deltaica (FACCINI *et al.*, 1987), cujas litologias são ritimitos areno-pelíticos, localmente conglomeráticos, de composição essencialmente quartzo-feldspática (TEIXEIRA *et al.*, 1978; FACCINI *et al.*, 1987; TEIXEIRA & GONZALES, 1988). Também estão associadas lentes de arenitos finos a médio com estratificação cruzada nas porções distais. A granocrescência ascendente dentro da sequência indica a transição para o Conglomerado Inferior (FACCINI *et al.*, 1987).

O Conglomerado Inferior compreende uma fácies de leque aluvial distal composta, basicamente, por intercalações entre conglomerados de grânulos e seixos (por vezes, há estratificação paralela ao acamamento marcada pelos clastos orientados) e arenitos médios a

conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada (FACCINI *et al.*, 1987). Segundo Veigel (1989), a passagem para o Arenito Intermediário se dá de forma transicional.

O Arenito Intermediário, de acordo com Faccini *et al.* (1987) e Veigel (1989), apresenta fácies de frente deltaica e fluvial, abrangendo camadas lenticulares e níveis mais conglomeráticos delimitando a base erosiva. Representam canais preenchidos por arenitos de granulometria muito variável e estratificação cruzada acanalada, cujo topo apresenta níveis pelíticos. O aumento da granulometria, da espessura dos níveis conglomeráticos e da tabularidade das camadas, indicam a transição para o Conglomerado Superior.

O Conglomerado Superior é descrito por Faccini *et al.* (1987) como leques de fácies aluvial proximal, os quais contém conglomerados grossos a médios, mal selecionados. Segundo os trabalhos de Teixeira *et al.* (1978) e Teixeira & Gonzales (1988), os clastos apresentam composições variadas, desde cristais de quartzo e feldspato a fragmentos de rochas de composição ígnea, sedimentar e/ou metamórfica. A presença de feições características de águas rasas é descrita por Veigel (1989), que descreve a existência de gretas de contração em níveis lamosos finos intercalados com outros conglomeráticos. A passagem para o Arenito Superior também se dá de maneira transicional.

O Arenito Superior compreende fácies características de frente deltaica, prodelta e fluvial, compostas por ritimitos areno-pelíticos, localmente conglomeráticos, com estratificação plano-paralela e/ou cruzada cavalgante.

### **3.2 Mineralizações**

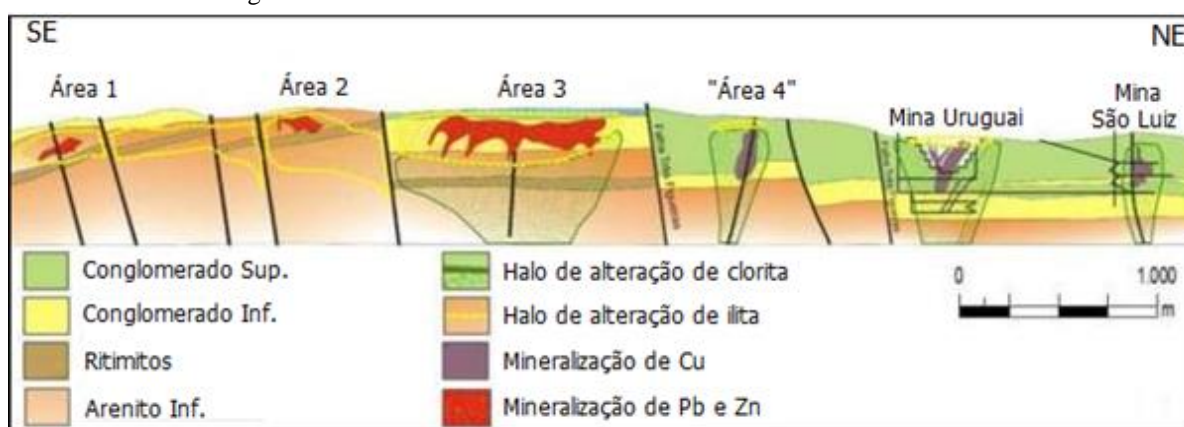
De acordo com Ribeiro *et al.* (1980), nas minas Uruguai e São Luiz, as mineralizações encontram-se hospedadas nos conglomerados e arenitos do Membro Vargas, enquanto que no Depósito Santa Maria encontram-se, também, nos ritimitos do mesmo Membro. As falhas de direção NW-SE representam, em ambos os casos, o principal controle da mineralização, as quais alojam o minério maciço em filões. Já a mineralização disseminada ocorre, de forma subordinada, pelo controle estratigráfico, preenchendo a porosidade secundária da encaixante.

Nas Minas do Camaquã, o minério foi extraído através de duas minas denominadas Mina Uruguai (subterrânea e a céu aberto) e Mina São Luiz (subterrânea) e, eventualmente de uma pequena mina a céu aberto chamada Zona Intermediária. As mineralizações ali presentes apresentavam-se em filões, *stockworks* e disseminadas. Além disso, compreendem uma

paragênese constituída essencialmente por sulfetos de cobre, tais como: calcopirita, calcosita, bornita e pirita, com uma ganga de quartzo, calcita, hematita e barita. Ouro e prata são encontrados, em menor quantidade, geralmente associados à calcopirita, bornita, pirita e hematita. As zonas de alteração (Figura 7) são, essencialmente: cloritização pervasiva, hematização, ilitização, carbonatação e silicificação (TEIXEIRA & GONZALEZ 1988; VEIGEL, 1989; BECKEL, 1990).

O Depósito Santa Maria caracteriza-se por conter sulfetos de Pb (galena) e Zn (esfalerita), bem como uma ganga de barita e calcita, de forma disseminada em níveis porosos da rocha e maciça em estruturas. Segundo Rios (2012), no topo do depósito, as mineralizações sempre acompanham as zonas de ilitização pervasiva seletiva e, nas porções basais do depósito, a cloritização acompanha os sulfetos de cobre (calcopirita e bornita) que ocorrem de forma subordinada. Com o intuito de facilitar as operações prospectivas na região, além de furos de sondagem, a área do depósito foi subdividida em três subáreas principais, as quais correspondem a três corpos de minério não aflorantes, alongados segundo a direção N-S.

**Figura 7-** Seção esquemática das zonas mineralizadas e de alterações hidrotermais presentes no Depósito Santa Maria e nas minas Uruguai e São Luiz.



Fonte: figura cedida pela mineradora *Nexa Resources*.

Ainda se diverge muito quanto as idades das mineralizações no distrito de Minas do Camaquã. Benhome & Ribeiro (1983) realizaram datações absolutas, pelo método K-Ar, em argilas das minas Uruguai e São Luiz, as quais forneceram idades de formação dos filões de  $474 \pm 11$  Ma. Também foram obtidas por este método as idades de zonas cloritizadas em halos ao redor dos filões ( $515 \pm 12$  Ma), de zonas sericitizadas ( $538 \pm 7$  Ma) e argilizadas ( $350 \pm 8$  Ma) nos halos externos dos filões.

### 3.2.1 Histórico das Mineralizações na Região

Nos parágrafos que seguem, será relatado o histórico acerca dos principais eventos ocorridos durante mais de um século de atividade mineira na região de Minas do Camaquã. Este relato foi realizado, essencialmente, com base no trabalho de Paim (2002), o qual trata-se de uma compilação dos estudos realizados por Teixeira et al. (1978, 1988) e Harres (2000).

As Minas do Camaquã foram a principal fonte de cobre extraído no Brasil ao longo do século XX. A descoberta do minério de cobre na região deu-se em 1865 quando o Sr. João Dias encontrou malaquita em sua propriedade, o que acarretou na localização do depósito e na abertura da galeria dos ingleses, explorada entre 1870 e 1887 pela *Rio Grande Gold Mining Limited*.

Em 1888, foi implementada a segunda fase de extração mineral por empresários alemães ao iniciarem a lavra de um filão de pirita e calcopirita, aonde hoje encontra-se a Mina São Luiz. Esta atividade extrativa encerrou em 1899, devido a um aumento no valor dos transportes e a queda na cotação do cobre. Em 1901, a atividade extrativa é retomada pela companhia belga *Societé Anonime des Mines de Cuivre de Camaquan* até 1908, quando ocorreu uma nova queda no preço do cobre. Entre 1908 e 1939, houve a intensificação das atividades desta companhia devido a abertura da galeria belga e da instalação de uma usina de concentração do minério.

Em 1942, foi criada a CBC. A partir de 1954, com a ampliação da capacidade de beneficiamento e lavra das minas, as atividades exploratórias alcançaram 1500 t/dia. Em 1974, ocorreu a compra das ações da CBC pela FIBASE, subsidiária do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), e um ano depois a produção foi paralisada devido as precárias condições da lavra. A CBC então contrata a DOCEGEO, de 1975 a 1977, com o intuito de realizar pesquisas nas minas, caracterizar o minério e ampliar as reservas para colocar em prática o Projeto Expansão Camaquã.

Em outubro de 1978, a CBC realiza furos de sondagem sobre anomalias geoquímicas e descobre um depósito de Pb e Zn, denominado Santa Maria. Atualmente, este depósito encontra-se em fase de estudos de pré-viabilidade pela mineradora *Nexa Resources*.

Em 1981, ocorre a retomada das atividades mineiras na região com a utilização de técnicas altamente mecanizadas e o minério passa a ser extraído a céu aberto, na parte superior da Mina Uruguai. Porém, o teor de cobre do minério extraído (0,57%) não correspondeu ao previsto (1,05% Cu). Em 1988, a CBC é privatizada quando os próprios funcionários acabam

por comprá-la, saldando sua dívida e fundando a empresa Bom Jardim S.A. Tal empresa encerrou suas atividades em 1996, após o esgotamento das reservas economicamente viáveis.

Durante o período de atividade exploratória de cobre nas Minas Uruguai e São Luiz, no período de 1901 a 1996, foram extraídas cerca de 30,8 milhões de toneladas com teor médio de 1,06% Cu.

### **3.2.2 Hipóteses Genéticas**

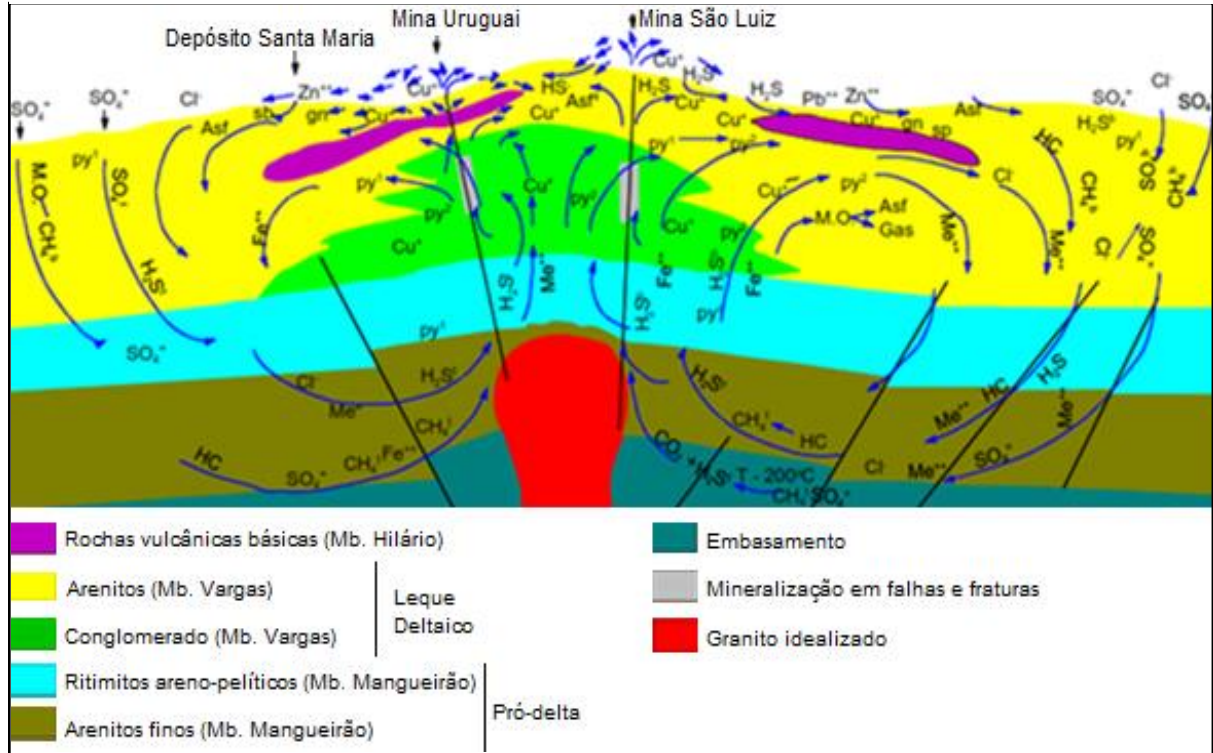
Dada a complexidade genética e evolutiva da região de Minas do Camaquã, já foram propostos diversos modelos metalogenéticos para as mineralizações da região. De acordo com os primeiros trabalhos referentes à gênese do minério, realizados na época por Teixeira (1937), Leinz & Almeida (1941) e Costa Filho (1944), o depósito das Minas do Camaquã apresentaria origem hidrotermal magmática. Esta hipótese considera que os fluidos hidrotermais gerados por um corpo magmático profundo ascenderiam através de fraturas, cristalizando os minerais de minério e formando filões.

Nos anos 1970, sua gênese foi reinterpretada por Suszcynski (1975), o qual foi o primeiro a publicar sobre o modelo sedimentar sin e diagenético com remobilizações das mineralizações. Com a descoberta do Depósito Santa Maria, a hipótese do modelo sedimentar foi reforçada. Licht (1980) e Badi (1983) propuseram uma zonalidade entre o Depósito Santa Maria e as minas Uruguai e São Luiz, visto que os sulfetos de Pb e Zn hospedados em arenitos, estavam no mesmo intervalo estratigráfico.

Em 1990, Beckel retoma a hipótese hidrotermal magmática dos primeiros autores e propõe que os fluidos hidrotermais, formadores dos depósitos da região, seriam semelhantes aos depósitos do tipo cobre pórfiro (Figura 8). Este autor sugere um modelo que ultrapassa 6km de diâmetro com a presença de um halo de alteração hidrotermal onde a circulação dos fluidos dá-se, preferencialmente, ao longo da estratificação. Posteriormente, outros autores utilizaram-se de métodos geofísicos para estudar a região e identificaram anomalias de potássio (RIBEIRO & ARAÚJO, 1982) e altos gravimétricos (COSTA *et al.*, 1995), os quais podem indicar a presença de sistemas hidrotermais e/ou de corpos magmáticos em profundidade. Entretanto, nunca foi confirmada a presença de um possível corpo intrusivo responsável pela mineralização e capaz de caracterizar um depósito do tipo cobre pórfiro. Atualmente, o modelo hidrotermal

magmático epitermal é considerado o mais adequado para as mineralizações relacionadas a região de Minas do Camaquã.

**Figura 8-** Modelo de mineralização do tipo cobre pórfiro, proposto por Beckel (1990), para a região de Minas do Camaquã.

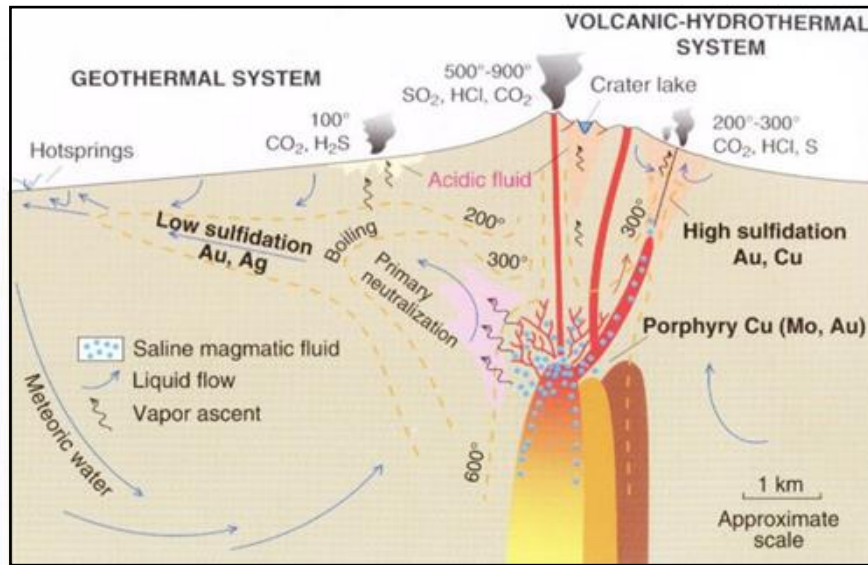


Fonte: Beckel (1990) *apud* Laux (1999).

### 3.2.2.1 Depósito do Tipo Cobre Pórfiro

Depósitos do tipo cobre pórfiro (Figura 9) estão associados a magmas calci-alcalinos ou Tipo-I, relacionados a arcos magmáticos, gerados adjacentes a zonas de subducção (ROBB, 2004). Segundo Hedenquist *et al.* (2000), estes depósitos são formados pela atuação de grandes sistemas hidrotermais relacionados a intrusões rasas e seu resfriamento. O modelo deste tipo de depósito implica em intenso fraturamento das encaixantes e alteração hidrotermal pervasiva das mesmas, aonde ocorrem, principalmente, as zonas de alteração potássica (central e mais profunda), seguida pela fílica ou sericítica (onde há maior quantidade total de Cu) e, mais afastada do foco térmico, a propilítica (pode ser interrompida por uma zona de alteração argílica avançada).

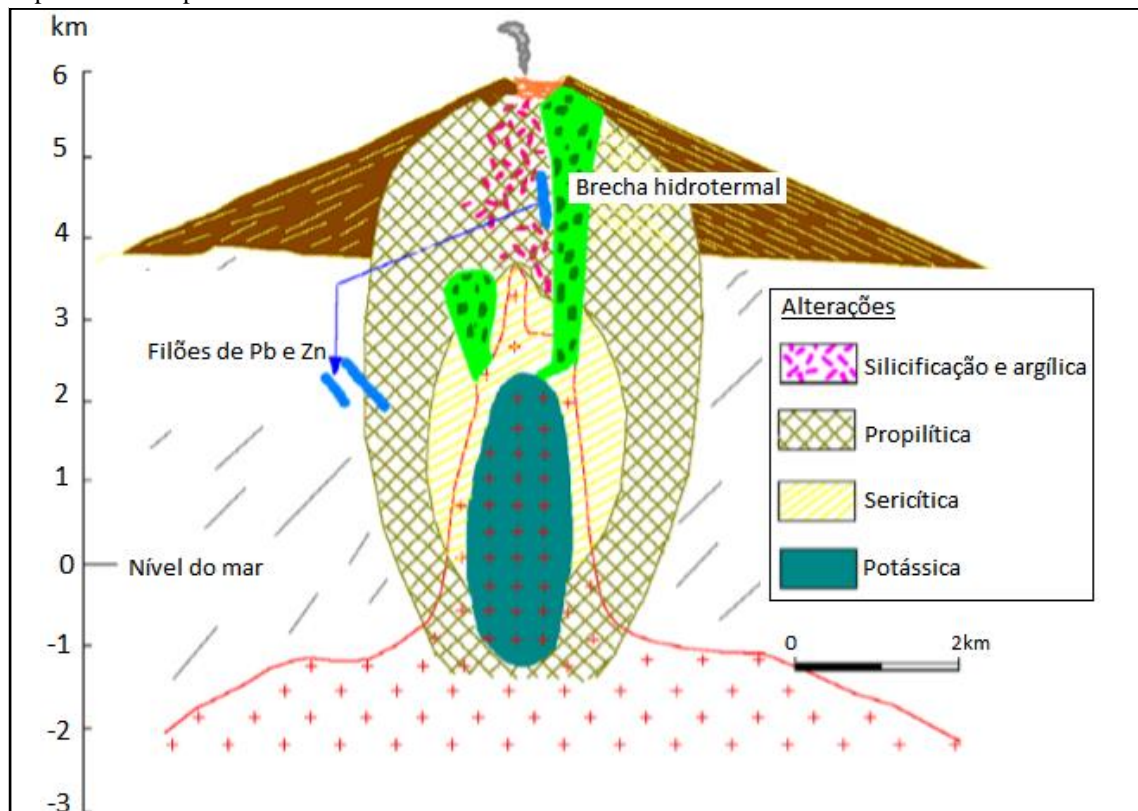
**Figura 9-** Ilustração dos processos característicos de sistemas pórfiro-epitermais.



Fonte: Robb (2004).

A alteração hidrotermal nestes depósitos apresenta-se como uma intensa zonação, aproximadamente concêntrica, disposta a partir da intrusão (Figura 10). Estas alterações são consequência de diversos fatores, mas principalmente pela ação de fluidos magmáticos salinos (30% a 60% NaCl) e geralmente efervescentes em temperaturas entre 250°C e 500°C (SILLITOE, 1973).

**Figura 10-** Modelo generalizado mostrando as principais zonas de alteração hidrotermal associadas a depósitos cobre pórfiro.



Fonte: Sillitoe (1973) *apud* Laux (1999).

#### 4. METODOLOGIA: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

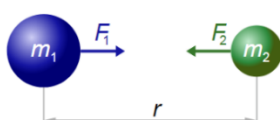
Segundo Kearey *et al.* (2009), a geofísica aplica os princípios físicos ao estudo da Terra. Na exploração mineral, os métodos geofísicos são capazes de detectar características de interesse potencial, além de maximizar a área de cobertura e de minimizar os gastos e o tempo demandado pela realização de perfurações. Embora os levantamentos geofísicos sejam passíveis de ambiguidades e/ou de incertezas interpretativas, são um meio relativamente barato e rápido de aquisição de informações em subsuperfície.

Os métodos geofísicos podem ser divididos em métodos de campos naturais (ou potenciais) e de fontes artificiais. Os métodos potenciais são capazes de fornecer informações das propriedades internas da Terra a grandes profundidades e, além disso, utilizam os campos gravitacional, magnético, elétrico e eletromagnético terrestre, a fim de obter perturbações que possam estar associadas a feições geológicas. Já os métodos de fontes artificiais referem-se à geração de campos elétricos ou eletromagnéticos locais, os quais podem gerar um maior detalhamento da geologia em subsuperfície (KEAREY, 2009).

##### 4.1 Método Gravimétrico

Segundo Ernesto *et al.* (1983), a gravimetria baseia-se nas diferenças de densidade no subsolo através das variações no campo gravitacional terrestre. A prospecção gravimétrica, quando combinada a informações geológicas, possibilita localizar, identificar e avaliar o potencial econômico de diversos depósitos minerais.

A atração gravitacional é considerada uma propriedade de toda a matéria que contém massa. Os corpos mais massivos têm maior densidade (maior quantidade de massa por volume) e quanto maior for a densidade destes, maior será a intensidade com que irão atrair a outros corpos. A força gravitacional (F), definida pela Lei da Gravitação Universal (segunda lei de Newton), é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as massas (m), sendo G a constante de gravitação universal:



$$F_1 = F_2 = \frac{G (m_1 \cdot m_2)}{r^2}$$

$$G = 6.6732 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$$

(1)



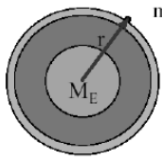
No método gravimétrico, ao invés da força gravitacional, mede-se a aceleração da gravidade ( $g$ ), a qual pode ser deduzida a partir da Lei da Gravitação Universal:

$$F=m.a \rightarrow F=m.g \rightarrow F=\frac{G M.m}{r^2.m} \rightarrow g=\frac{G M.m}{r^2} \rightarrow g=\frac{G M}{r^2} \quad (2)$$

Em geofísica, a unidade convencional de aceleração da gravidade, definida pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), é Gal e g.u.

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 \rightarrow 1 \text{ g.u.} = 0,1 \text{ mGal} \quad (3)$$

A partir do Modelo Teórico do Campo de Gravidade, tem-se o valor esperado para a aceleração da gravidade ( $9,78 \text{ m.s}^{-2}$ ) em todos os locais da Terra, com o qual pode ser comparado o valor medido (ERNESTO *et al.*, 1983).



$$g=\frac{GM_E}{r^2} \rightarrow g=\frac{6,6732 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kgs}^2 \times 5,967 \times 10^{24} \text{ kg}}{(6.378,000 \text{ m})^2} \rightarrow g= 9,78 \text{ ms}^{-2} \quad (4)$$

Porém, considerando que a forma da Terra se aproxima mais a um elipsoide, e não a uma esfera, o valor de  $g$  pode variar devido a influência de diversos parâmetros, tais como: efeito de forma (nos polos o raio da Terra é menor e, por isso, a gravidade é maior), efeito de massas (o raio terrestre é maior no equador e, por isso, há uma diminuição no valor de  $g$ ) e efeito de rotação (a força centrípeta gerada contrapõe-se à força da gravidade, gerando um aumento de  $g$  nos polos).

A Terra apresenta composição heterogênea e, portanto, espera-se que os valores locais de gravidade medidos sejam diferentes daqueles calculados pela IGF (*International Gravity Formula*). A essa diferença, dá-se a denominação de anomalia de gravidade ( $\Delta g$ ). Tais anomalias são resultantes de contrastes de densidade entre corpos rochosos no subsolo, os quais geram distorções no campo gravitacional da Terra (ERNESTO *et al.*, 1983). Sendo assim, um corpo geológico de densidade  $\rho_1$ , inserido em outro de densidade  $\rho_2$ , tem o contraste de densidade  $\Delta\rho$  dado por:

$$\Delta\rho= \rho_2 - \rho_1 \quad (5)$$

O sinal do contraste de densidade irá determinar o sinal da anomalia gravimétrica, ou seja, a anomalia será positiva se  $\rho_1 < \rho_2$ , e será negativa se  $\rho_1 > \rho_2$ .

O gravímetro é o equipamento que mede o valor da gravidade através de um sistema massa-mola. Uma pequena mudança de  $g$  ocasiona o deslocamento da massa e a variação do comprimento da mola ( $x$ ), a qual é proporcional à massa dividida pela constante  $k$  da mola:

$$g = xk/m \quad (6)$$

Tendo em vista que o campo gravitacional da Terra varia no tempo e no espaço, deve-se isolar a anomalia da gravidade medida em um ponto da superfície terrestre, através da remoção das componentes da aceleração devido à latitude, às marés, à deriva do gravímetro e à topografia. Segundo Soares (2011), após um levantamento gravimétrico, é necessário que sejam realizadas as seguintes correções dos dados de gravidade:

- I) Correção de instrumento (*drift*): durante o levantamento gravimétrico, as mudanças de temperatura causam um desgaste da mola do gravímetro e, conseqüentemente, uma variação tendendo a linearidade contínua nas medidas de gravidade. Esta variação pode ser corrigida medindo-se, em um curto período, duas ou mais vezes na mesma estação;
- II) Correção de maré: o campo gravitacional da Terra também sofre variações devido a influência do Sol e da Lua, em um mesmo ponto, ao longo de 24 horas. Estas oscilações apresentam comportamento senoidal e sua magnitude está relacionada com a época do ano e com a posição geográfica. As correções de maré e de instrumento são calculadas pela diferença entre as medições de gravidade na estação-base;
- III) Correção de latitude: esta correção só é relevante quando se realiza um levantamento onde a latitude varia por centenas de metros. Tendo em vista que o valor de gravidade normal aumenta do equador para os polos, valores medidos em diferentes latitudes não podem ser comparados diretamente;
- IV) Correção Ar-livre (*free air*): aplica-se esta correção com o intuito de compensar os efeitos da variação de altitude das estações de medida em relação ao geóide ou a alguma outra referência. Corrige-se, portanto, a variação de gravidade em relação ao nível médio dos mares, gerada pela diferença de elevação entre as diversas estações. Quando a estação estiver localizada abaixo do nível do mar a correção será negativa e quando estiver acima será positiva;
- V) Correção Bouguer: corrige o efeito das massas presentes entre o nível médio dos mares e a estação de medição, calculando-se a atração gravitacional extra exercida por uma camada de rocha, de espessura  $z$  e densidade  $\rho$ , lateralmente infinita;
- VI) Correção de Terreno: corrige os extremos locais de variações topográficas, tais como montanhas e vales, próximos das estações de medição. Realiza-se esta correção através das cartas de Hammer, que possibilitam calcular a atração gravitacional de cada setor de diversos cilindros ao redor da estação gravimétrica.

## 4.2 Método Magnetométrico

O método magnetométrico baseia-se na medição das variações do campo magnético terrestre, as quais são atribuídas às variações na estrutura da crosta ou na susceptibilidade magnética das rochas (Telford *et al.*, 1976). Além de identificar minerais economicamente importantes, este método pode ser aplicado na identificação de estruturas e contatos geológicos – falhas e dobras (Kearey *et al.*, 2009).

O campo magnético terrestre sofre algumas perturbações que podem ser originadas por variações nas propriedades magnéticas das rochas *in situ* (Telford *et al.*, 1976). Tais perturbações, denominadas de anomalias magnéticas, correspondem a diferença entre a intensidade do campo magnético medida em um ponto e a intensidade do campo de referência *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Essas anomalias são interpretadas segundo sua geometria, propriedades magnéticas dos possíveis corpos causadores e profundidade dos corpos.

A magnetização das rochas pode ser induzida e/ou residual remanescente. A magnetização induzida é originada pelo campo geomagnético atual, enquanto que a remanescente é adquirida pelas rochas durante a sua gênese.

Através da Lei de Coulomb pode-se calcular a força magnética (F) entre dois polos magnéticos (m1 e m2). K= constante proporcional à permeabilidade magnética do meio que separa os polos; r= distância entre os membros (LOWRIE, 2007):

$$F = K \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (7)$$

A força do campo magnético (H) é a força exercida por um polo de força m em um determinado ponto, expressa pela equação (KEAREY *et al.*, 2002):

$$H(r) = K \cdot \frac{m}{r^2} \quad (8)$$

O momento magnético de um dipolo pode ser definido como o produto entre dois polos de força (m) e a distância entre eles (L) (DOBRIN & SAVIT, 1988):

$$M = m \cdot L \quad (9)$$

Assim, todo o material magnético submetido a um campo externo terá, em sua superfície, polos magnéticos induzidos. Desta forma, a susceptibilidade magnética (K) de um material pode ser descrita como sendo a capacidade de um material em ficar magnetizado sob

a ação de um campo magnético (H) e uma intensidade de magnetização (J) (DOBRIN & SAVIT, 1988):

$$J = K \cdot H \quad (10)$$

Minerais como magnetita, pirrotita e ilmenita têm susceptibilidade magnética suficientemente forte para produzir anomalias significativas. Sendo assim, a susceptibilidade das rochas é proporcional a quantidade desses minerais (TELFORD *et al.*, 1990).

O levantamento magnético é uma técnica amplamente utilizada na busca de depósitos de minerais metálicos e em mapeamentos geológicos. Tal levantamento é realizado por magnetômetros, podendo ser efetuadas em terra, por aviões, satélite e em navios (KEAREY *et al.*, 2002).

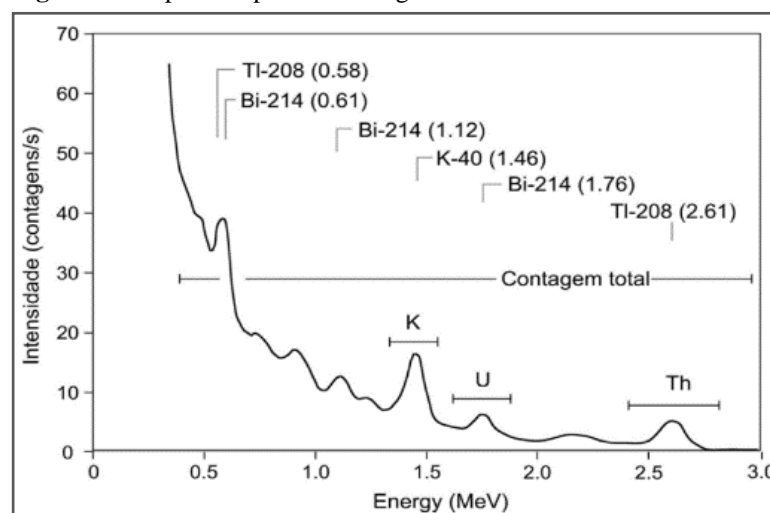
De acordo com Reeves (2005), a fim de isolar a componente do campo geomagnético derivada de corpos magnetizados em subsuperfície, bem como de ressaltar determinadas feições geológicas, faz-se necessária a realização das seguintes correções:

- I) Correção de Paralaxe: elimina a diferença dos tempos de medição do altímetro e do magnetômetro com o sistema de posicionamento, através da comparação entre duas linhas de voo com sentidos opostos;
- II) Correção Diurna: tendo em vista que o campo magnético da Terra está sujeito a oscilações, causadas por magnetopausa (ventos solares na ionosfera) e por tempestades solares, deve-se remover o efeito destas interações através da instalação de um magnetômetro base em local livre de interferências e com gradiente magnético suave;
- III) Nivelamento: consiste em nivelar os perfis magnéticos ajustando as diferenças entre as linhas de voo e de controle;
- IV) Micronivelamento: realizado com o intuito de remover dos dados os ruídos de alta frequência, causados pela aeronave durante o levantamento, a fim de minimizar as diferenças entre as linhas de voo que não foram removidas pelo nivelamento.
- V) Remoção do IGRF: realiza-se a subtração de uma superfície que expressa o comportamento do modelo do campo magnético terrestre na área do levantamento. A subtração dos valores do campo regional da Terra baseia-se no modelo IGRF, o qual depende da data em que o levantamento foi realizado e das coordenadas da área estudada, com o intuito de conservar somente as anomalias magnéticas relacionadas às heterogeneidades da crosta.

### 4.3 Método Gamaespectrométrico

O método gamaespectrométrico mede a intensidade de radiação gama emitida pelos isótopos radioativos naturais mais abundantes na superfície terrestre (potássio, urânio e tório), visando estimar a quantidade dos mesmos nas rochas (TELFORD *et al.*, 1990). Esta radiação emitida pode ser medida em duas modalidades: contagem total e individual. Nas medidas de contagem total, o valor obtido é referente ao campo de radiação, o que possibilita diagnosticar a presença de fontes anômalas. Já os espectros (Figura 11), medem a energia e intensidade da radiação, possibilitando identificar a fonte da mesma.

**Figura 11-** Espectro típico de raios gama.



Fonte: Minty (1997).

As principais fontes de radiação gama (Tabela 1), detectadas por esta técnica, são geradas pela desintegração dos isótopos  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{208}\text{Tl}$  presentes nas séries de decaimento radioativo dos canais do K, U e Th, respectivamente.

**Tabela 1-** Elementos radioativos e suas respectivas energias diagnósticas.

Elemento analisado	Concentração na natureza	Isótopo usado	Energia de raios Gama (MeV)
Potássio	2 – 2,5 %	$^{40}\text{K}$	1,46
Urânio	2 – 3 ppm	$^{214}\text{Bi}$	1,76
Tório	8 – 12 ppm	$^{208}\text{Tl}$	2,62

Fonte: modificada de Minty (1997).

A gamaespectrometria reflete a variação geoquímica de K, U e Th em até 50 cm nas rochas. Tal técnica é amplamente utilizada como apoio ao mapeamento geológico, visto que auxilia na identificação dos limites entre diferentes formações geológicas. Além desta aplicação, este método também é utilizado na prospecção mineral direta de minerais

radioativos, e indireta de sulfetos metálicos, dada a relação entre zonas mineralizadas, processos de alteração hidrotermal e desequilíbrios anômalos dos elementos U, Th e K (DICKSON & SCOTT, 1997). Em geologia, os radioelementos costumam ser apresentados em porcentagem ou em sua concentração nas rochas.

Cada radioisótopo possui uma taxa de desintegração, ou decaimento radioativo, proporcional ao seu número atômico, dada pela equação (MINTY, 1997):

$$\lambda = \text{constante de decaimento} \quad \frac{dN}{Dt} = -\lambda n$$

N= nº de radionuclídeos. (11)

O gamaespectrômetro é o instrumento utilizado para discriminar e detectar a intensidade das energias das radiações, o que possibilita visualizar o espectro de energia de decaimento dos isótopos de K, U e Th, permitindo identificar os radioelementos presentes nas rochas da área estudada (HANSEN, 1975).

Segundo Ribeiro (2014), as correções dos dados gamaespectrométricos obtidos em levantamentos terrestres ou aéreos, devem ir de acordo com as especificações dos relatórios técnicos da *International Atomic Energy Agency* (IAEA), publicados em 1991 e 2003. Para tal, consideram-se as seguintes correções:

- I) Correção de tempo morto: corrige-se os dados em relação ao tempo que o gamaespectrômetro leva para gravar as contagens medidas. Esta correção é realizada dividindo-se as contagens registradas nos canais pelo valor do tempo total de medida (*live-time*) registrado, obtendo-se os valores brutos de contagens por segundo nos diversos canais.
- II) Correção de altura efetiva de voo: levando-se em consideração que a altura de voo não é constante ao longo do levantamento, corrige-se esta variação com base na altura de voo medida pelo altímetro, na temperatura e pressões ambientais;
- III) Remoção do *background* da aeronave e do efeito da radiação cósmica: o *background* é removido somando-se as contribuições das influências da radiação cósmica e da aeronave em cada janela do gamaespectrômetro;
- IV) Correção do efeito do radônio: este efeito é determinado através das medições realizadas na janela do urânio;
- V) Efeito Compton: retira a influência das radiações de mais alta energia registradas nos canais de baixa energia (radiações de tório no potássio, tório no urânio, etc.);
- VI) Conversão para concentração de elementos: considera-se a razão entre as medições realizadas em terra e a bordo, a fim de identificar a sensibilidade dos detectores relacionadas às janelas dos elementos.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos empregados neste trabalho envolveram as etapas pré-campo, campo e pós campo. Para isto, este estudo contou com o auxílio de métodos geofísicos terrestres e aéreos, bem como de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e sensoriamento remoto.

A fim de compor o embasamento teórico deste estudo realizou-se um levantamento bibliográfico, que se estendeu ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, o qual englobou, essencialmente, o contexto geológico e histórico do distrito de Minas do Camaquã, bem como estudos referentes aos métodos geofísicos utilizados. Sequencialmente, iniciou-se a composição do banco de dados em SIG, aonde foram sendo incorporados os dados geofísicos adquiridos durante a etapa pré-campo.

Além dos métodos principais supracitados, fez-se necessário o uso de métodos acessórios, tais como sensoriamento remoto e SIG. Para a realização do processamento dos dados geofísicos pré-existentes e de campo, utilizou-se o *software Oásis montaj*<sup>TM</sup>.

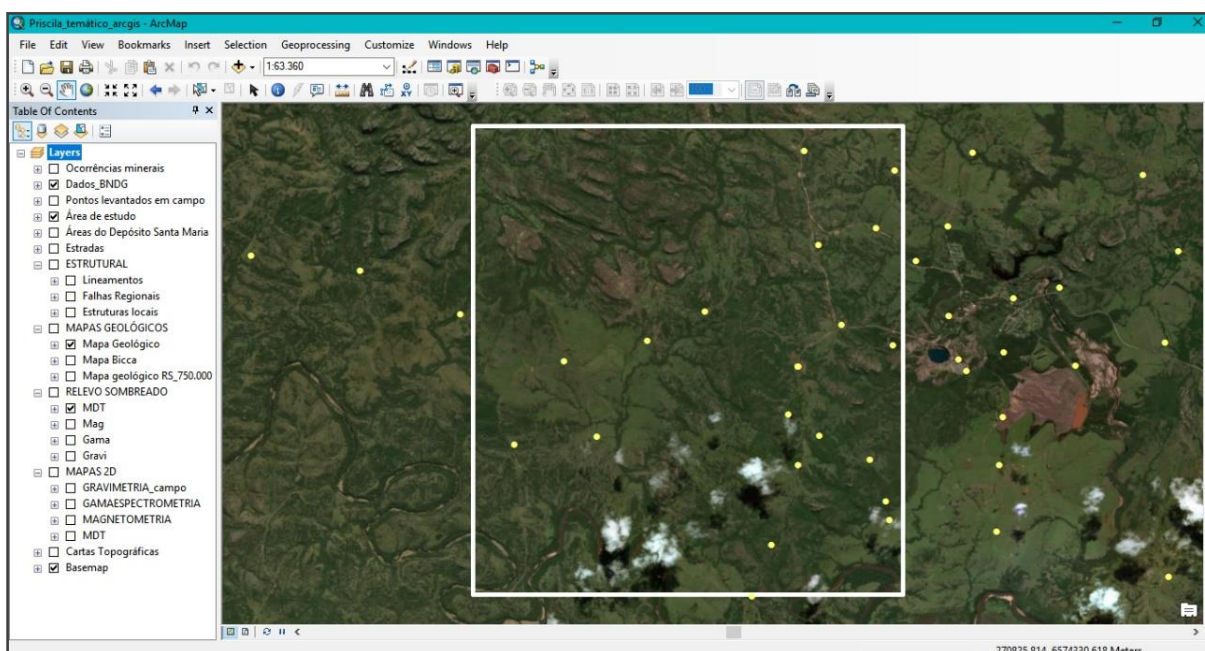
### 5.1 Composição do Banco de Dados

A composição do banco de dados em SIG se deu durante quase todo o desenvolvimento deste trabalho e foi elaborada no *software* ArcGIS<sup>®</sup> (Figura 12) – ferramenta fundamental para a realização de todas as etapas metodológicas do presente estudo. Integraram este banco, dados aerogeofísicos correspondentes aos levantamentos magnetométrico e gamaespectrométrico, da CPRM, e dados gravimétricos terrestres coletados pelo Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Além dos dados geofísicos, compuseram este banco, dados disponibilizados no site GeoSGB da CPRM, tais como: um mapa geológico do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000, *shapefiles* contendo as principais estruturas do ESRG e pontos aonde foram identificadas ocorrências mineralógicas na região. Posteriormente, também foi cedido, pela mineradora *Nexa Resources*, um mapa geológico de parte da Janela Bom Jardim, na escala 1:90.000, contendo as principais feições estruturais em escala local. Os dados gravimétricos coletados durante o trabalho de campo, após o processamento no Geosoft<sup>TM</sup>, também foram incorporados ao banco de dados em SIG.

### 5.1.1 Dados Gravimétricos Preliminares

Tendo em vista que o objetivo principal deste estudo se refere à identificação de assinaturas geofísicas capazes de auxiliar no reconhecimento de um possível corpo intrusivo em subsuperfície, característico de sistemas pórfiro-epitermais, a gravimetria foi o principal método geofísico utilizado neste trabalho. Dada a diferença de densidade entre um corpo intrusivo em profundidade e a encaixante sedimentar (Formação Arroio dos Nobres), obtém-se através deste método a identificação de anomalias Bouguer. Para isto, inicialmente foram adquiridos dados gravimétricos preliminares correspondentes a um levantamento realizado por professores do IGEO-UFRGS, cedidos pelo Banco Nacional de Dados Gravimétricos (BNDG). Este levantamento foi realizado em uma malha irregular com o gravímetro *Scintrex* CG-3, cuja precisão equivale a 0,005 mGals.

**Figura 12-** Banco de dados do projeto, onde os pontos amarelos correspondem aos dados gravimétricos preliminares, disponibilizados pelo BNDG, e o retângulo branco a área de estudos.



Fonte: elaborado pela autora no módulo ArcMap do software ArcGIS®.



### 5.1.2 Dados Aerogeofísicos

Para complementar o banco de dados, foram adicionados dados aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos referentes ao levantamento realizado pela CPRM concluído em dezembro de 2010, denominado Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (Figura 13). O projeto aerogeofísico abrangeu uma área de, aproximadamente, 75.000 km<sup>2</sup> e recobriu cerca de 159.790 km ao longo de perfis, com altura de voo fixa de 100 m sobre o terreno, em que as linhas de voo foram espaçadas de 500 m em 500 m nas direções N-S e as linhas de controle, realizadas nas direções E-W, tiveram um espaçamento de 10 km.

**Figura 13-** Mapa de localização da área recoberta pelo Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul.



Fonte: CPRM (2010).

O levantamento aeromagnetométrico, cuja resolução é de uma amostragem a cada 8 m (aproximadamente 1 amostragem/0,1 s), foi realizado através do magnetômetro Scintrex SC-2. A aquisição dos dados aerogamaespectrometria, com resolução de uma amostragem a cada 65 m do terreno (aproximadamente 1 amostragem/s), foi realizada com o gamespectrômetro Exploranium GR 820 (Quadro 2).

**Quadro 2-** Dados de aquisição de voo do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul.

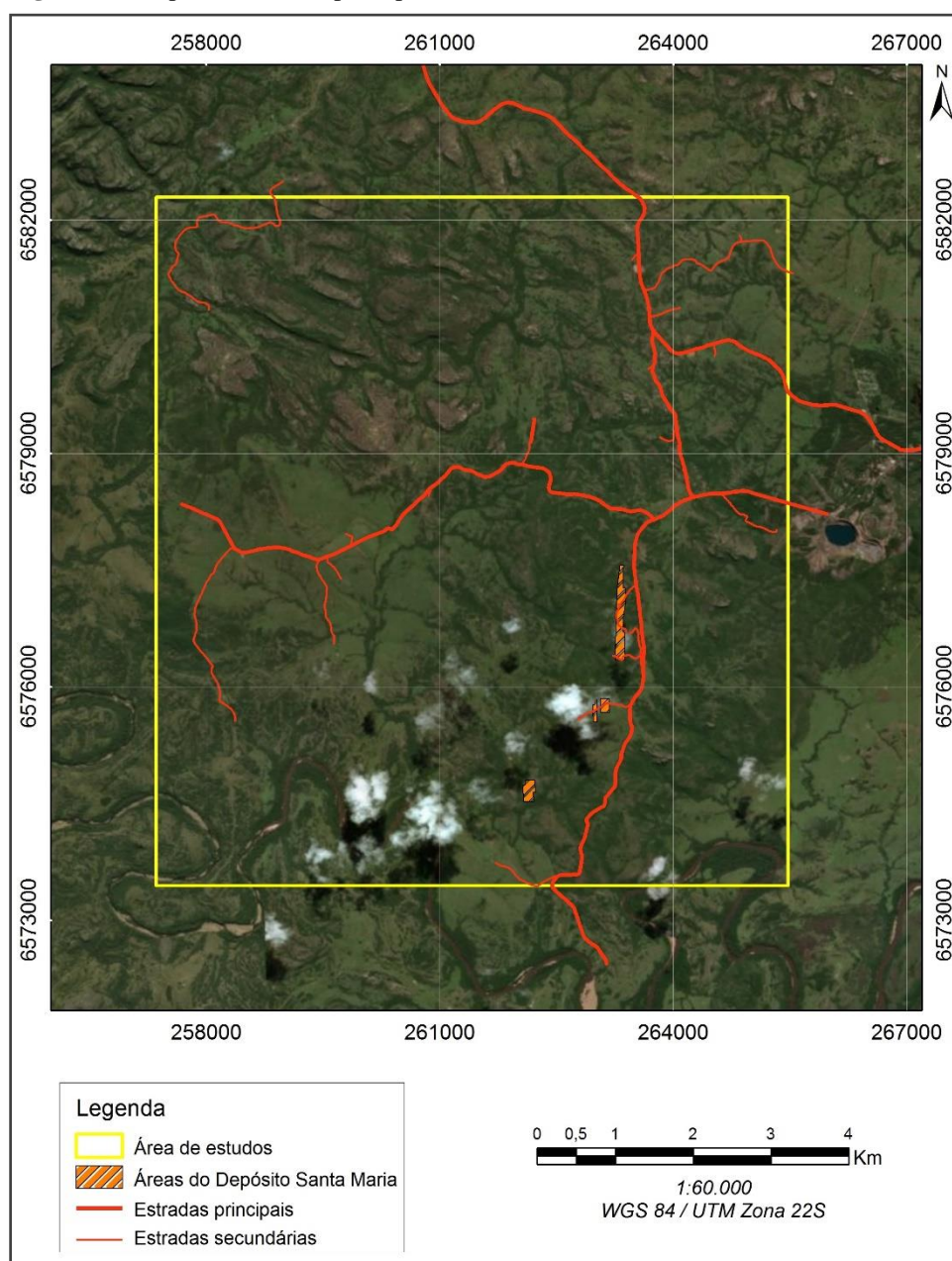
Empresa contratante	CPRM
Empresa contratada	LASA Engenharia e Prospecções S/A
Equipamentos	Gamaespectrômetro Exploranium GR 820 – 256 canais  Magnetômetro Scintrex SC-2
Espaçamento das linhas de aquisição	500 metros
Espaçamento das linhas de controle	10000 metros
Intervalo entre medições	Gamaespectrômetro – 1s / 65 metros do terreno  Magnetômetro – 0,1 s / 8 metros no terreno
Direções de voo	E-W aquisição N-S controle
Altura média do voo	100 metros
Sistema de navegação	GPS SERCEL NR 103

Fonte: CPRM (2010).

## 5.2 Métodos Acessórios: Sensoriamento Remoto e SIG

O sensoriamento remoto foi um dos métodos acessórios utilizado durante todo o desenvolvimento deste estudo. Durante o planejamento logístico da etapa de campo, realizou-se a análise de imagens de satélite disponibilizadas no Google Earth™ e no mapa base *World Imagery*, disposto no módulo ArcMap do ArcGIS®. A partir desta análise, foi definida a malha do levantamento gravimétrico a ser realizado durante o trabalho de campo, através da observação das características do relevo e identificação dos principais acessos da área de estudo, os quais foram traçados no ArcGIS® (Figura 14).

**Figura 14-** Mapa contendo os principais acessos da área de estudo.



Fonte: elaborado pela autora.

O SIG foi outro método acessório amplamente utilizado durante a realização deste estudo, através do qual foi criado um banco de dados no ArcGIS®, onde foram gerados mapas geofísicos e geológicos. Tendo em vista que a interpretação dos mapas geofísicos não é unívoca, através do SIG tornou-se possível a integração de dados, com o intuito de obter uma interpretação mais embasada dos mesmos. A análise dos mapas geofísicos preliminares, gerados no ArcGIS®, se deu durante a etapa pré-campo com o intuito de buscar assinaturas geofísicas capazes de apontar para a existência de um possível corpo intrusivo em profundidade.

Após a delimitação da área de estudo, foi estabelecido o caminhamento a ser realizado em campo para o levantamento de dados geofísicos terrestres. Auxiliaram no planejamento

logístico da etapa de campo, as cartas topográficas do Ministério do Exército (Folhas Caçapava do Sul, Minas do Camaquã e Arroio Carajá), na escala 1:50.000, disponibilizadas em modelo matricial no site GeoSGB da CPRM. Além destas cartas, também foi adquirido um mapa geológico do Estado na escala 1:750.000, realizado pela CPRM, o qual forneceu uma contextualização geológica regional da área estudada.

### 5.3 Trabalho de Campo

O trabalho de campo teve como objetivo principal detalhar, em escala local, a anomalia Bouguer identificada na etapa pré-campo, após a interpolação dos dados gravimétricos preliminares. Portanto, a gravimetria foi o método utilizado durante a aquisição de dados em campo (Figura 15), realizada seguindo o modo *Stop-and-Go*, através do gravímetro da marca Scintrex® (modelo CG-3) e do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) da marca Stonex® (modelo *S8 Plus*).

**Figura 15-** Aquisição dos dados de campo com o gravímetro Scintrex® CG-3 e rover (GNSS Stonex).

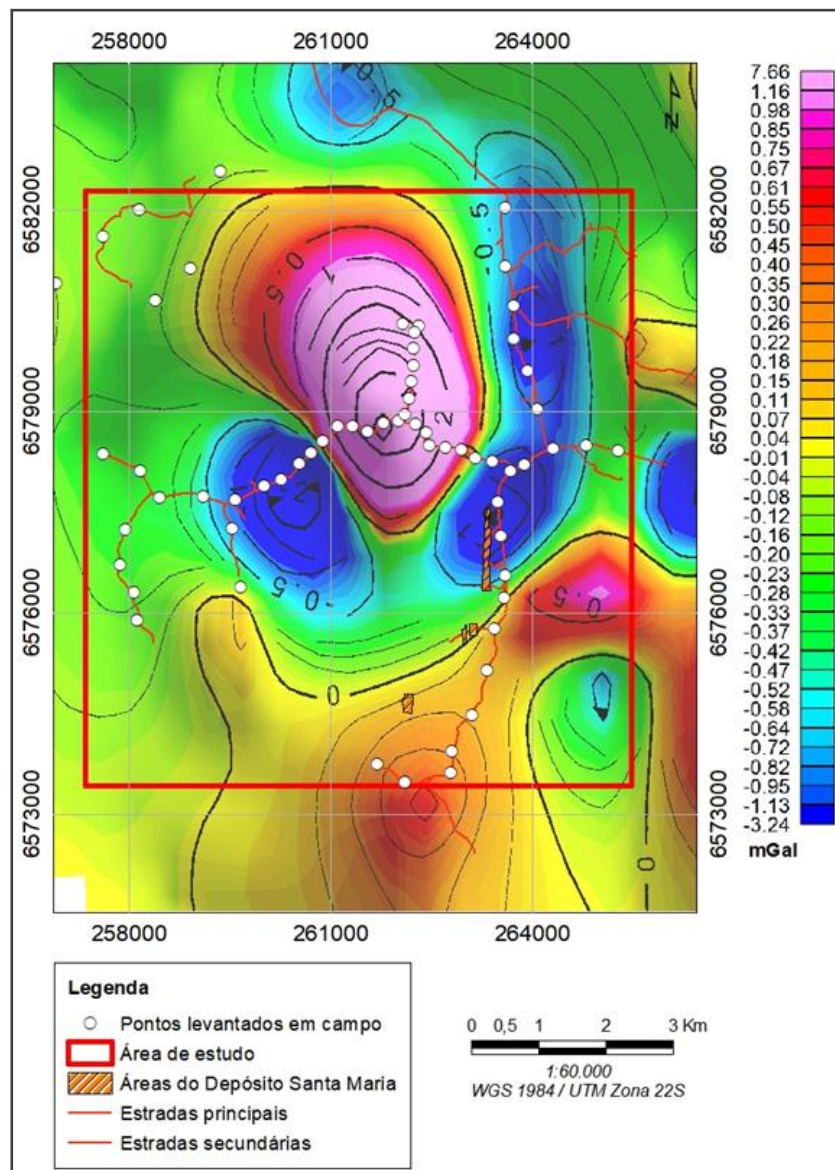


Fonte: a autora.

O levantamento gravimétrico foi executado, tendo como ponto de partida e chegada a estação base RN 1797 T, localizada na Igreja Matriz Nossa Senhora da Assunção, no município de Caçapava do Sul ( $-30^{\circ}31'02''S$  /  $-53^{\circ}30'02''W$ ), aonde foram coletados o primeiro e o último ponto do levantamento gravimétrico, durante todos os dias de campo. Além disso, o controle dos dados coletados foi realizado por meio de planilhas que continham informações importantes, como número do ponto, coordenadas, altitude, hora da aquisição, valor bruto da gravidade e observações relevantes. A aquisição dos dados gravimétricos foi realizada em uma

malha irregular, dada a acidentalidade do relevo e consequentes dificuldades de acesso, seguindo as estradas principais e secundárias, em uma área de 78 km<sup>2</sup>. Durante o levantamento, foram realizadas 66 estações de medida seguindo perfis paralelos e perpendiculares a direção da anomalia Bouguer identificada na etapa pré-campo (Figura 16). No perfil perpendicular à direção da anomalia, com cerca de 8 km, a resolução foi equivalente a uma amostragem a cada 250 m. Nos demais perfis, paralelos, a resolução foi de, aproximadamente, uma amostragem a cada 500 m do terreno.

**Figura 16-** Mapa de Anomalia Bouguer Residual dos dados pré-campo, disponibilizados pelo BNDG, o qual orientou a aquisição das 66 estações de medida realizadas durante o trabalho de campo.



Fonte: elaborado pela autora.

Para a posterior correção e processamento dos dados planialtimétricos, fez-se indispensável a utilização de um sistema de posicionamento de precisão visto que, para realizar estas correções, o controle de posicionamento, principalmente a altimetria, deve ser o mais preciso possível. Portanto, optou-se por um método relativo de posicionamento com pós processamento. A base do GNSS (Figura 17) foi instalada na sede da Mineradora *Nexa Resources* (UTM: 6578538 N / 267991 E), recebendo sinal de forma contínua. O levantamento gravimétrico foi realizado juntamente com a coletora de dados acoplada ao *rover* do GNSS, o qual se trata de um receptor móvel.

**Figura 17-** Base do GNSS, localizada na sede na Nexa Resources.



Fonte: a autora.

#### 5.4 Geoprocessamento dos Dados Geofísicos

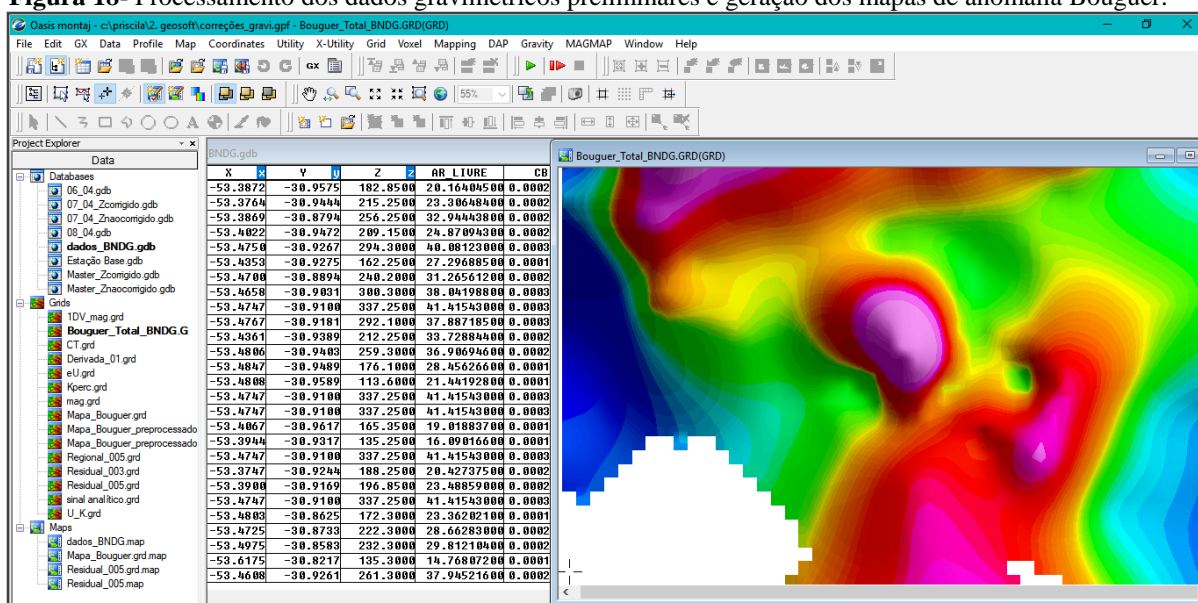
O processamento dos dados geofísicos foi realizado através do *software Oásis montaj*<sup>TM</sup>, produzido pela *Northwest Geophysical Associates* (NGA) para a plataforma Geosoft<sup>®</sup>. Estes dados foram gridados, com um tamanho de célula de 100 m, pelo método de interpolação da mínima curvatura, que se caracteriza por ser determinístico, local, exato e por utilizar polinômios capazes de criar uma superfície, cuja curvatura é minimizada, suavizada e que passa pelos pontos levantados. Além disso, todos os mapas geofísicos foram gerados em relevo sombreado, devido a aparência tridimensional conferida aos mapas.

Tendo em vista que o presente estudo contou com a aquisição de dados geofísicos preliminares e, posteriormente, com a coleta de dados gravimétricos realizada durante o trabalho de campo, o processamento destes dados se deu em duas etapas: (I) Durante a etapa pré-campo, através da interpolação e geração de mapas gravimétricos, a partir dos dados preliminares cedidos pelo BNDG; e através da interpolação e geração de mapas magnetométricos e gamaespectrométricos, a partir dos dados aerogeofísicos disponibilizados pela CPRM; (II) Durante a etapa pós-campo, após a coleta dos dados brutos de gravidade

durante o trabalho de campo, através das correções, interpolações e geração de mapas gravimétricos, bem como de um bloco diagrama em 3D da anomalia Bouguer residual e de perfis comparativos entre os dados pré e pós-campo de anomalia Bouguer total.

Os dados gravimétricos preliminares disponibilizados pelo BNDG durante a etapa pré-campo, encontram-se georreferenciados segundo o sistema de coordenadas geográfica no Datum WGS 84 e já se apresentavam corrigidos, entretanto, não há informações referentes ao sistema de posicionamento utilizado no levantamento e ao *software* empregado para a realização das correções. Estes dados foram interpolados no Geosoft™ (Figura 18), a fim de gerar mapas de anomalia Bouguer total, regional e residual para a área de estudo.

**Figura 18-** Processamento dos dados gravimétricos preliminares e geração dos mapas de anomalia Bouguer.

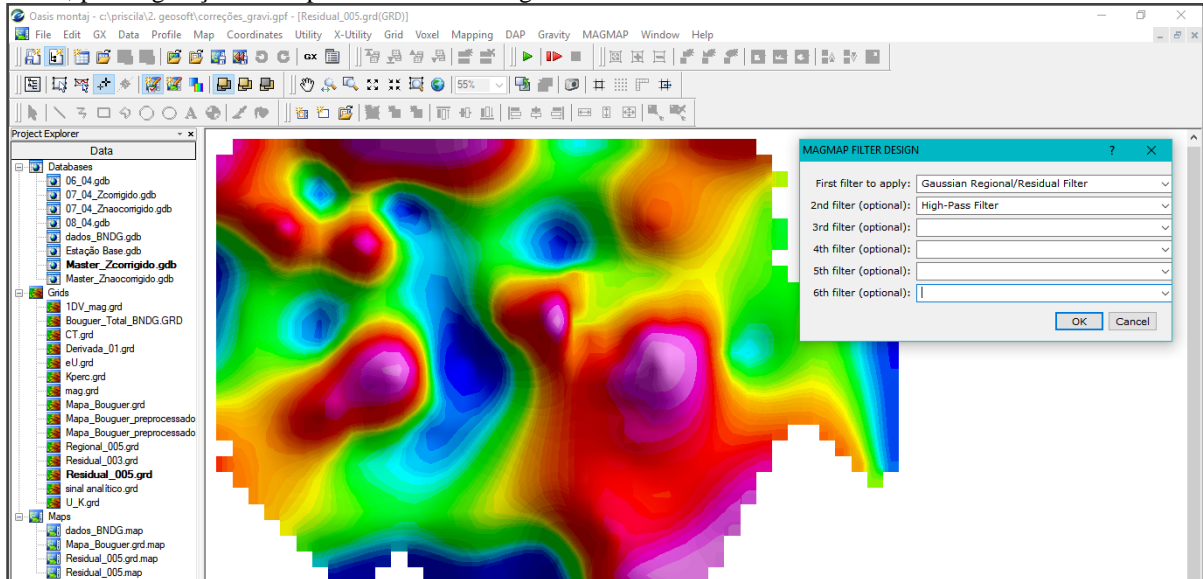


Fonte: elaborado pela autora no *software* Geosoft™.

Os dados brutos de gravidade adquiridos ao longo do trabalho de campo, foram exportados diretamente do gravímetro e ajustados para uma formatação compatível com o Geosoft™. Já os dados planialtimétricos coletados pelo GNSS foram exportados para o *software* GNSS Solutions®, onde foi realizada a correção diferencial dos dados de posicionamento. Posteriormente, realizou-se as correções de instrumento, maré, terreno, Ar livre e Bouguer, na plataforma Geosoft™. Depois de corrigidos, os dados foram interpolados com o intuito de confeccionar mapas de primeira derivada vertical, anomalia Bouguer total, regional e residual. A separação das componentes residual e regional, contou com a aplicação do filtro espectral gaussiano (Figura 19) com comprimento de onda de 0,05°. Este valor foi

estipulado, a partir da realização de testes de interpolação, tendo como base a distribuição das medidas e a resolução dos mapas obtidos.

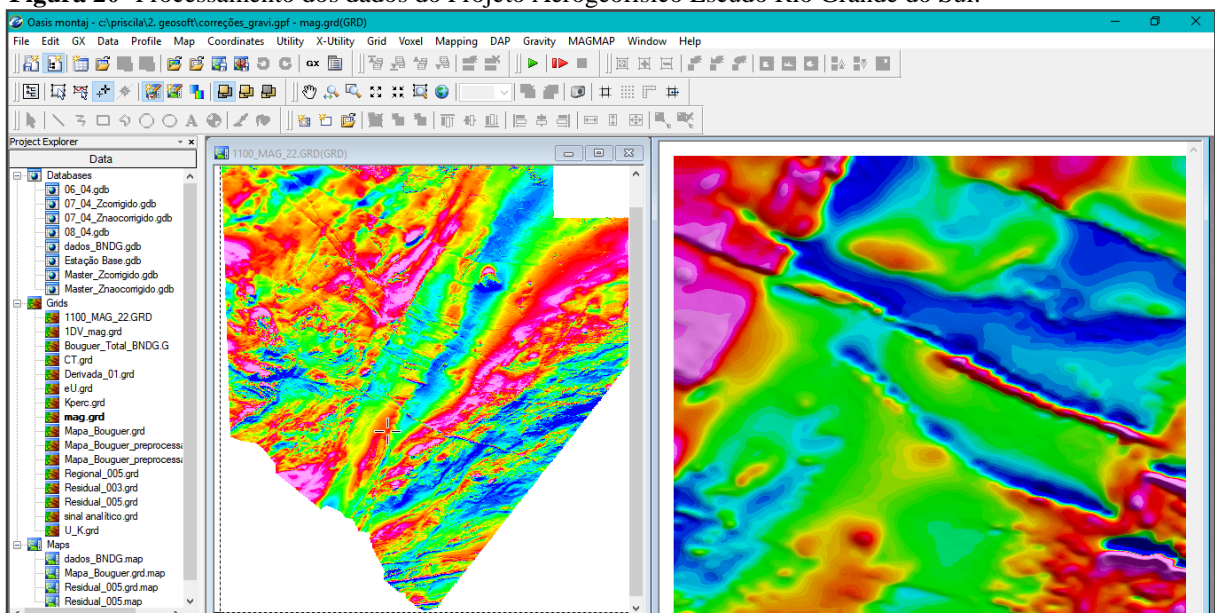
**Figura 19-** Processamento dos dados adquiridos em campo, mostrando a aplicação dos filtros gaussiano e Passa-baixa, para a geração do mapa de anomalia Bouguer residual.



Fonte: elaborado pela autora no *software* Geosoft™.

Os dados do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul, realizado pela CPRM (2010), já se apresentavam corrigidos e georreferenciados no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM). Além disso, estes dados foram disponibilizados no formato .GDB, compatível com a plataforma Geosoft®, onde foram gerados os mapas gamaespectrométricos (Contagem Total, Concentração de Potássio, Concentração de Tório e Composição Ternária RGB) e magnetométricos (Campo Magnético Total, Primeira Derivada Vertical e Amplitude do Sinal Analítico) em relevo sombreado (Figura 20).

**Figura 20-** Processamento dos dados do Projeto Aerogeofísico Escudo Rio Grande do Sul.



Fonte: elaborado pela autora no *software* Geosoft™.



## 6. RESULTADOS

Como resultado do processamento dos dados geofísicos, foram gerados mapas gravimétricos, magnetométricos e gamaespectrométricos, bem como um mapa geológico da Janela Bom Jardim. Tais resultados estão apresentados nos itens que seguem.

### 6.1 Gravimetria

Tendo em vista que o presente trabalho contou com a aquisição de dados gravimétricos preliminares, cedidos pelo BNDG na etapa pré-campo, e de dados coletados durante o trabalho de campo, foram gerados os seguintes resultados: (I) Etapa pré-campo: um mapa de Anomalia Bouguer Total; (II) Etapa pós-campo: mapas de Anomalia Bouguer Total, Anomalia Bouguer Regional, Anomalia Bouguer Residual e Primeira Derivada Vertical;

Além destes mapas, também foram confeccionados perfis comparativos (Anomalia Bouguer Total x Distância) entre os dados adquiridos nas duas etapas supracitadas. O mapa gerado a partir dos dados pré-campo apresenta escala 1:70.000, enquanto que os mapas referentes ao levantamento gravimétrico realizado no trabalho de campo deste estudo, têm escala 1:50.000. Todos os mapas foram gerados em relevo sombreado contendo os intervalos iso-anômalos representados em uma escala de cores, com curvas de contorno.

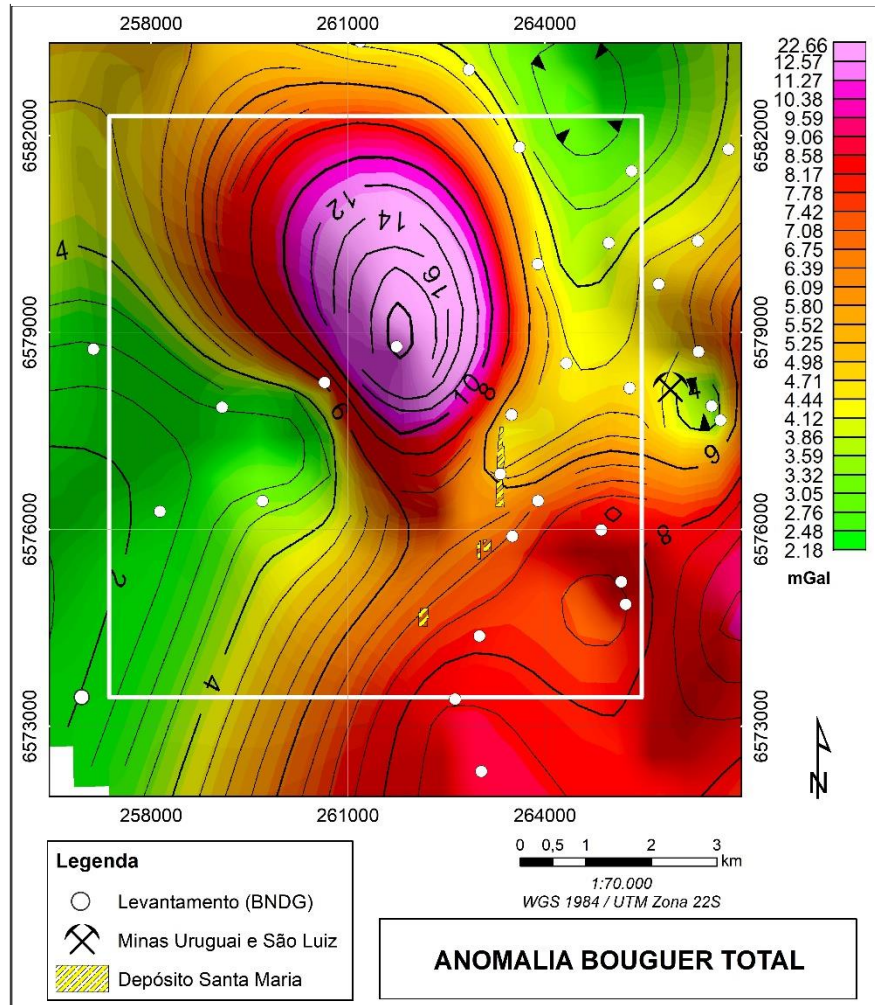
#### *6.1.1 Mapas de Anomalia Bouguer Total*

As figuras 21 e 22 apresentam, respectivamente, os mapas de Anomalia Bouguer Total gerados a partir do processamento dos dados obtidos na etapa pré-campo, disponibilizados pelo BNDG, e na etapa de campo durante o levantamento gravimétrico terrestre deste estudo.

Observa-se, na figura 21, que os valores de anomalia Bouguer variam de 22,66 a 2,18 mGals, o que caracteriza um amplo intervalo de variação, equivalente a 20,42 mGals. Na área de estudo destacam-se duas regiões com valores elevados de anomalia Bouguer: a região sudeste, aonde o valor mais alto é de 8,75 mGals, e a região central, cuja anomalia foi objeto

de investigação por apresentar o valor mais elevado de anomalia Bouguer da área de estudo, correspondente a um único ponto com valor de 22,66 mGals. Este alto gravimétrico da região central apresenta forma alongada na direção NNW-SSE, com cerca de 5,8 km de comprimento. Os menores valores de anomalia Bouguer registrados, encontram-se nas regiões nordeste e sudoeste, aonde os valores mais baixos são de 3,37 e 2,18 mGals, respectivamente.

**Figura 21-** Mapa de Anomalia Bouguer Total gerado a partir dos dados disponibilizados pelo BNDG, na etapa pré-campo.

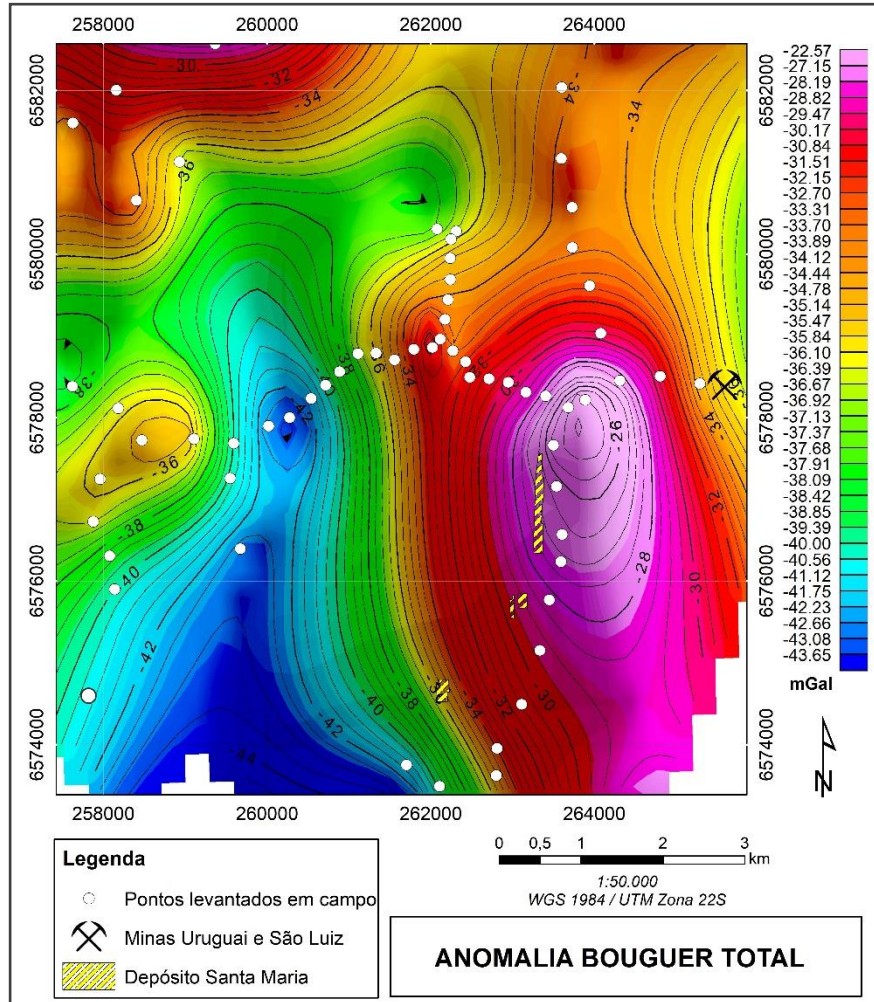


Fonte: elaborado pela autora.

A figura 22 traduz o resultado do geoprocessamento dos dados obtidos durante o levantamento gravimétrico terrestre de campo, através de um mapa de Anomalia Bouguer Total, no qual todos os valores são negativos e variam de -22,57 a -43,65 mGals. Destacam-se três regiões anômalas positivas: a porção noroeste, aonde o valor mais alto corresponde a -26,8 mGals; a porção central, aonde há uma pequena anomalia com cerca de 800 m de extensão e valor máximo de -26,3 mGals; e a porção mais a leste da área de estudo, aonde há uma anomalia expressiva, com cerca de 6 km de comprimento e valor máximo de anomalia Bouguer de -22,57

mGals, alongada na direção N-S. Os menores valores encontram-se a oeste da anomalia positiva de maior dimensão, com valores entre -38,7 e -43,65 mGals, igualmente alongados na direção N-S.

**Figura 22-** Mapa de Anomalia Bouguer Total gerado a partir dos dados coletados durante o levantamento realizado no trabalho de campo deste estudo.



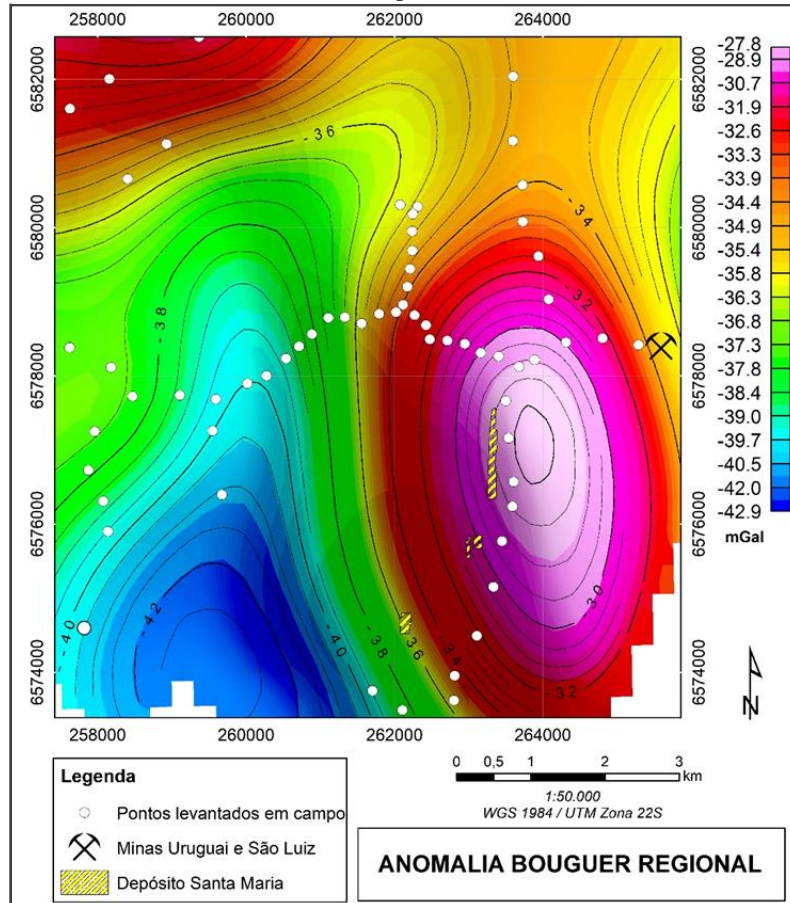
Fonte: elaborado pela autora.

### 6.1.2 Mapa de Anomalia Bouguer Regional

O mapa da componente regional da anomalia Bouguer (Figura 23) foi gerado através do processamento dos dados levantados em campo, a fim de realçar as tendências anômalas regionais da área, as quais se apresentam alongadas na direção N-S. Neste mapa é possível identificar uma região anômala positiva, cuja forma é ovalada e o valor máximo corresponde a

-27,8 mGal, e uma região anômala negativa na porção oeste do mapa, na qual os valores variam de -38,4 a -42,9 mGals.

**Figura 23-** Mapa de Anomalia Bouguer Regional gerado a partir dos dados coletados durante o trabalho de campo.



Fonte: elaborado pela autora.

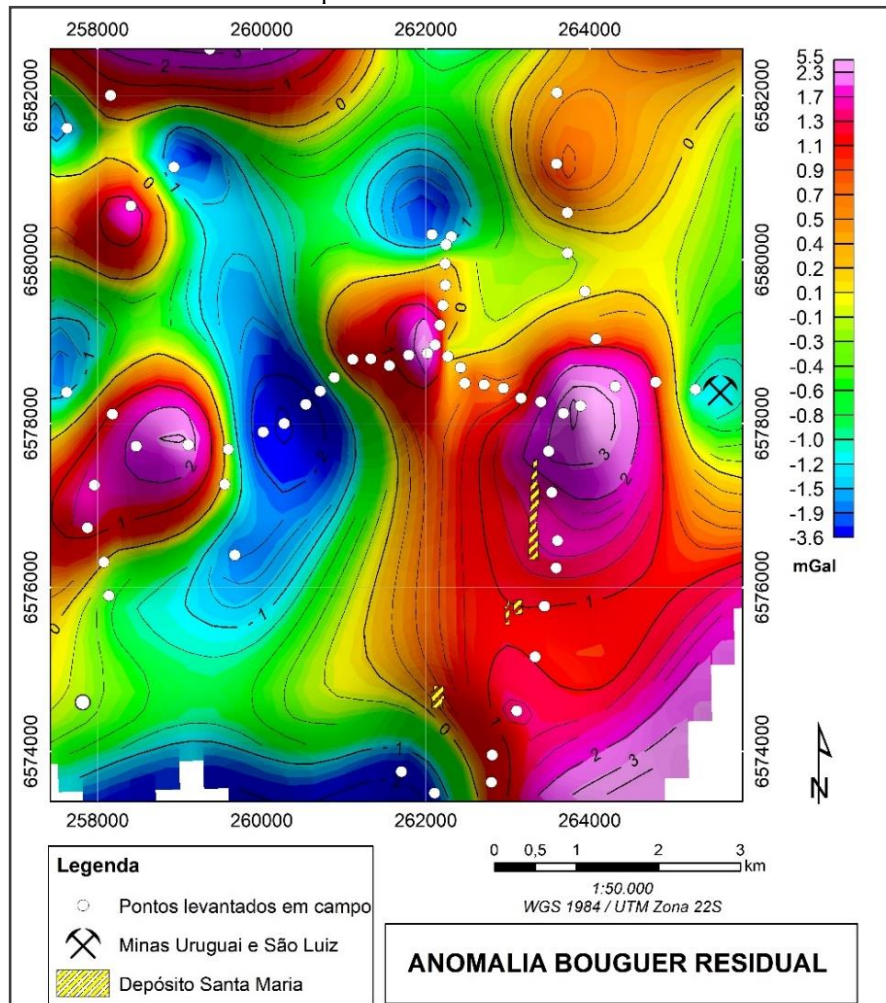
### 6.1.3 Mapa de Anomalia Bouguer Residual

O mapa de anomalia Bouguer residual (Figura 24) foi gerado com o intuito de retirar desta componente a influência do gradiente regional, ressaltando anomalias de fontes rasas. Desta forma, a assinatura gravimétrica é definida, na área de estudo, por cinco máximos e três mínimos gravimétricos. Os cinco altos gravimétricos apresentam forma, aproximadamente, circular e valores entre 5,5 e 0,3 mGals. Três destes altos são seccionados pelo perfil E-W, realizado perpendicularmente a direção das anomalias, e estão localizados nas porções oeste, central e leste deste perfil, sendo: o alto gravimétrico leste o mais expressivo, com cerca de 4,7 km de extensão, compreendido entre o Depósito Santa Maria e as Minas do Camaquã (Uruguai

e São Luiz), alongado na direção N-S, com valores compreendidos entre 0,1 e 5,5 mGals; o alto gravimétrico central, o qual pode estar associado àquele identificado no mapa de anomalia Bouguer total preliminar (Figura 21), com valores entre 0,6 e 2,3 mGals; e o alto gravimétrico oeste que têm valores entre 0,9 e 3,1 mGals e encontra-se alongado na direção NE-SW. Os outros dois altos estão localizados na região noroeste da área estudada, sendo um deles alongado na direção E-W, com valores entre 0,3 e 3,1 mGals, e outro com valores entre 0,4 e 2,3 mGals, cuja forma é circular.

Os três baixos gravimétricos principais estão situados na metade oeste do mapa, sendo: o baixo gravimétrico menos expressivo, com cerca de 1,5 km, localizado a norte do alto gravimétrico central, o qual apresenta formato aproximadamente circular e valores entre -0,9 e -1,9 mGals; o baixo gravimétrico de maior dimensão alongado, preferencialmente, na direção NNW-SSE, com cerca de 7 km de comprimento e valores entre -0,8 e -3,1 mGals; e o baixo gravimétrico da porção norte, alongado na direção E-W, com valores compreendidos entre -0,8 e -3,6 mGals.

**Figura 24-** Mapa de Anomalia Bouguer Residual gerado a partir dos dados coletados no trabalho de campo.

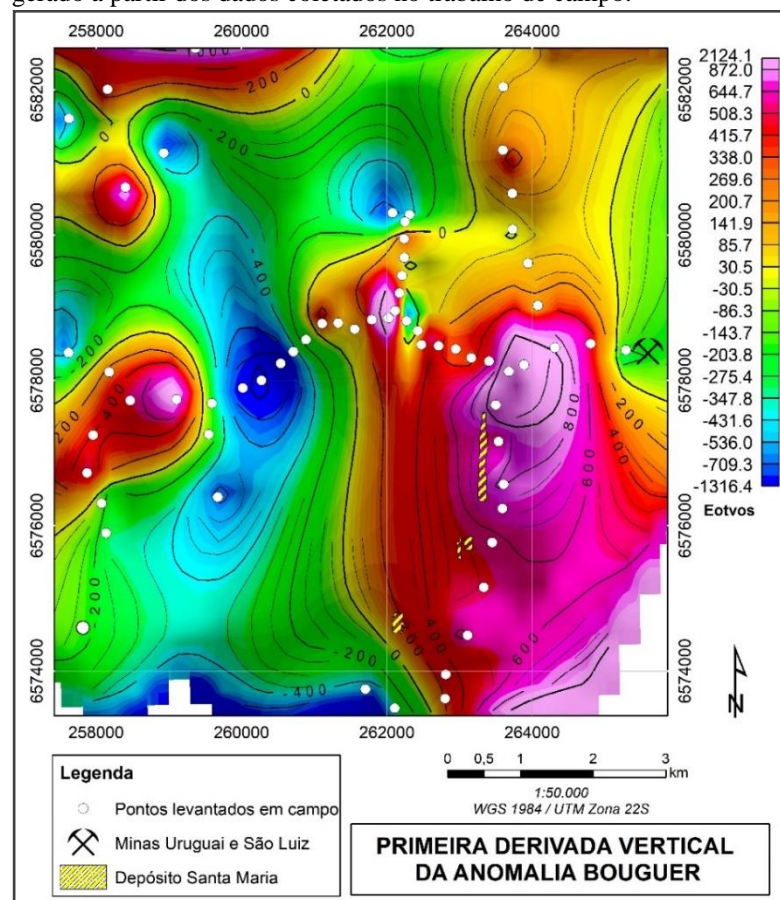


Fonte: elaborado pela autora.

### 6.1.4 Mapa de Primeira Derivada Vertical

Através do mapa de Primeira Derivada Vertical da anomalia Bouguer (Figura 25) é possível obter uma acentuação das anomalias de alta frequência ou de baixo comprimento de onda geradas por corpos rasos, que geralmente são mascarados por anomalias regionais, cujas fontes são mais profundas. Portanto, este mapa equivale ao de Anomalia Bouguer Residual (Figura 24) e apenas ressalta os altos e baixos gravimétricos descritos anteriormente.

**Figura 25-** Mapa de Primeira Derivada Vertical da Anomalia Bouguer gerado a partir dos dados coletados no trabalho de campo.



Fonte: elaborado pela autora.

### 6.1.5 Perfis: Anomalia Bouguer Total x Distância

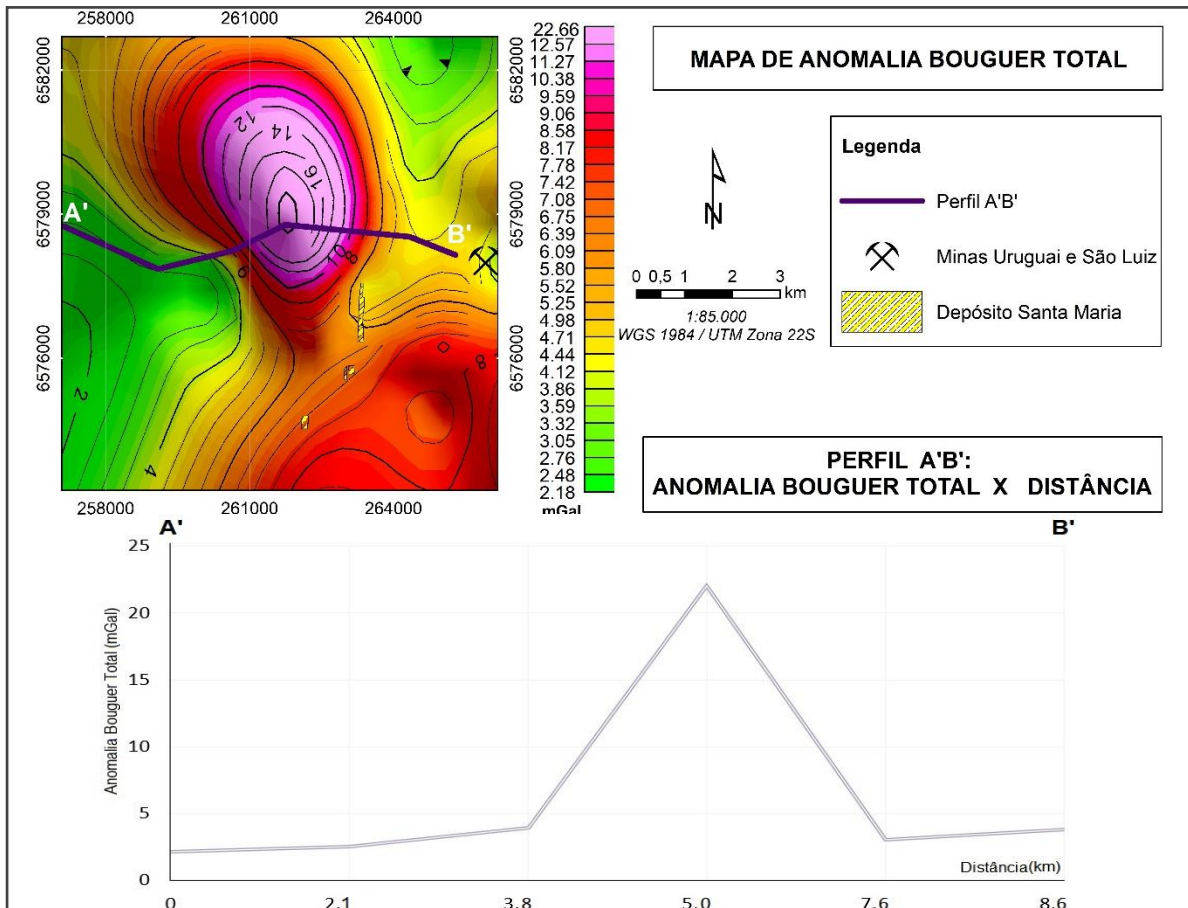
O levantamento gravimétrico terrestre deste estudo foi realizado seguindo perfis, paralelos e perpendiculares a direção da anomalia identificada a partir dos dados preliminares (Figura 16), ao longo das estradas principais e secundárias da área de estudo. Entretanto, dada

a divergência entre os valores de anomalia Bouguer dos dados gravimétricos preliminares e daqueles coletados durante o trabalho de campo deste estudo, fez-se necessária a geração de gráficos de Anomalia Bouguer Total x distância, a fim de quantificar e comparar as amplitudes das anomalias identificadas nestes dois levantamentos. Para isto, foram gerados quatro perfis, sendo que dois deles correspondem ao levantamento realizado pelo IGEO-UFRGS, cujos dados foram cedidos pelo BNDG (perfis A'B' e C'D'); e dois correspondem ao levantamento gravimétrico realizado no presente trabalho (perfis AB, CD).

### 6.1.5.1 Perfil A'B'

O Perfil A'B' (Figura 26) apresenta 8,6 km e foi realizado a partir dos dados preliminares, perpendicularmente a direção do alto gravimétrico identificado na etapa pré-campo. Ao longo deste perfil, observou-se que a anomalia Bouguer tem 4,5 km e amplitude de 18,06 mGals, com valores variando entre 22,66 e 4,6 mGals.

**Figura 26-** Perfil A'B' realizado a partir dos dados preliminares cedidos pelo BNDG.

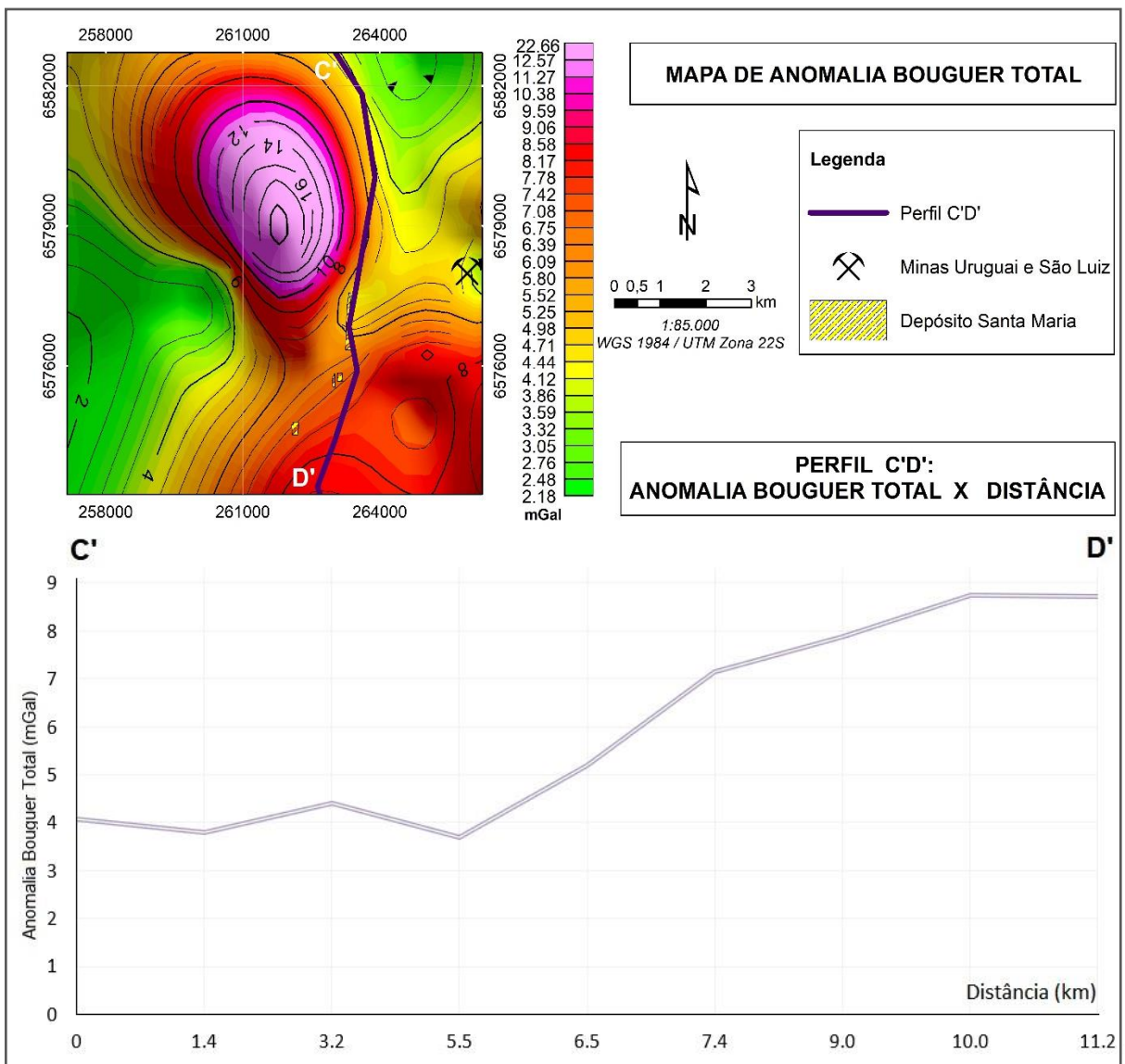


Fonte: elaborado pela autora.

### 6.1.5.2 Perfil C'D'

O Perfil C'D' (Figura 27) foi realizado a partir dos dados preliminares, com o intuito de compará-lo posteriormente com o perfil CD, gerado a partir dos dados de campo. Este perfil, cuja extensão é de 11,2 km, apresenta valores entre 8,75 e 3,68 mGals. Os últimos 4,7 km deste perfil passam por uma porção da anomalia localizada a sudeste da área de estudo, registrando uma amplitude de 4,95 mGals, com valores variando de 8,75 a 3,8 mGals.

**Figura 27-** Perfil C'D' realizado a partir dos dados preliminares cedidos pelo BNDG.



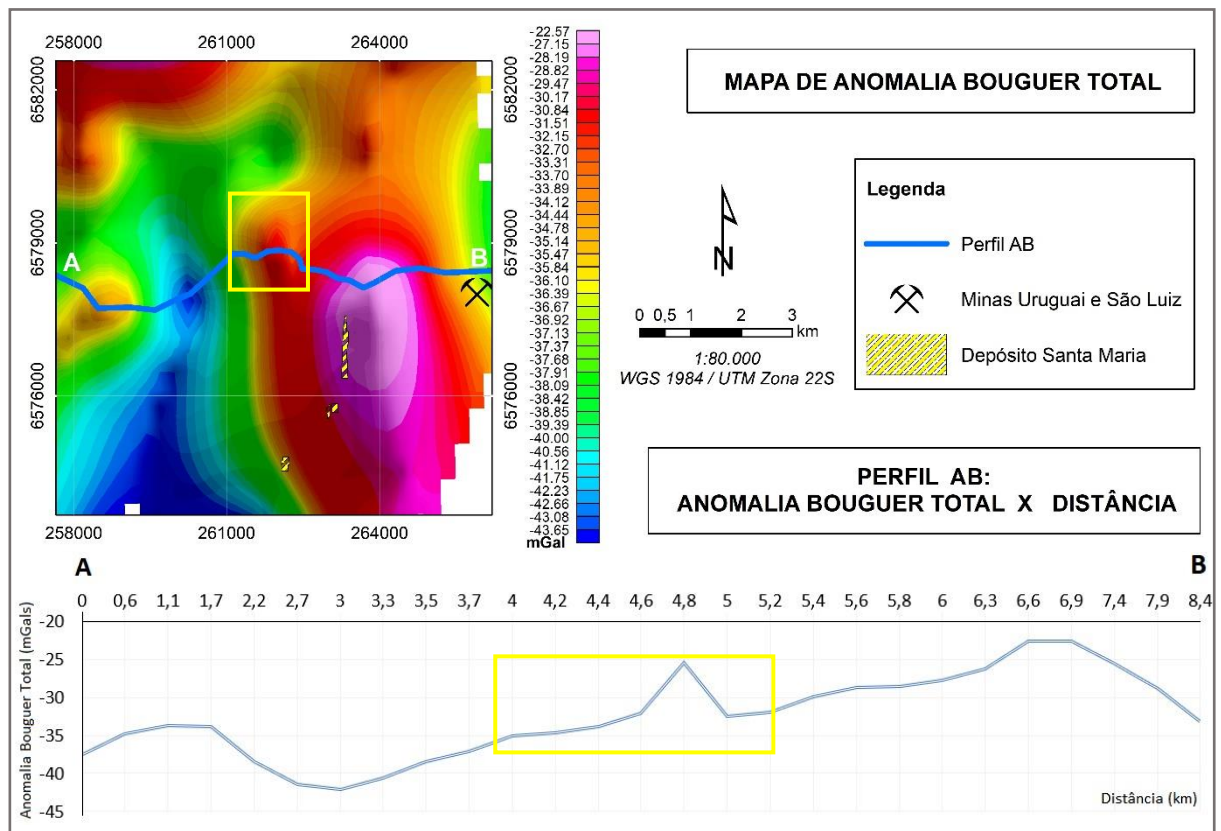
Fonte: elaborado pela autora.



### 6.1.5.3 Perfil AB

O perfil AB (Figura 28), realizado no levantamento gravimétrico terrestre deste trabalho, apresenta 8,7 km de extensão e valores de anomalia Bouguer total compreendidos entre -42,2 e -22,6 mGals. Este perfil secciona um baixo e dois altos gravimétricos, perpendicularmente, sendo: (I) um baixo gravimétrico situado a oeste do perfil, com amplitude de 8,3 mGals; (II) um alto gravimétrico localizado na porção central da área de estudo, envolto pelo retângulo amarelo, e que pode estar relacionado àquele identificado no perfil A'B'. Entretanto, no perfil AB, esta anomalia encontra-se bem menos expressiva, com apenas 1,4 km, e com menor amplitude (cerca de 10,62 mGals); (III) o segundo alto gravimétrico, situado na porção leste do mapa, trata-se da anomalia positiva mais expressiva da área de estudos. Esta anomalia é seccionada em sua porção norte pelo perfil AB, nos últimos 3,4 km do mesmo, aonde apresenta amplitude de 14,5 mGals.

**Figura 28-** Perfil AB realizado durante o levantamento gravimétrico da etapa de campo.

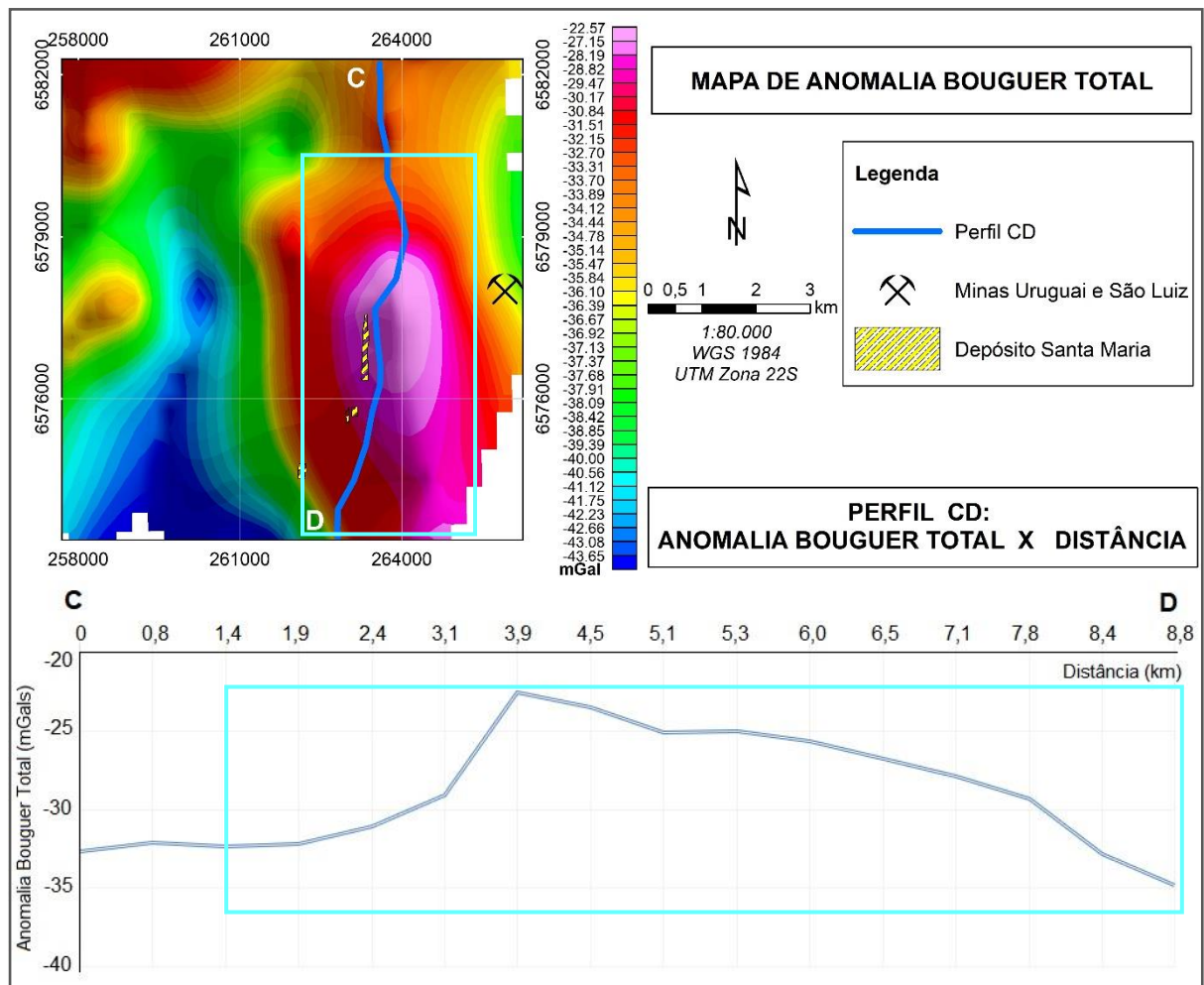


Fonte: elaborado pela autora.

#### 6.1.5.4 Perfil CD

O perfil CD (Figura 29) foi realizado ao longo de 8,8 km, durante a aquisição de dados gravimétricos na etapa de campo. Com direção N-S, este perfil foi efetuado paralelamente a anomalia positiva mais expressiva da área de estudo, a qual encontra-se destacada no mapa da figura 27 pelo retângulo verde. Este alto gravimétrico compreende cerca de 7,4 km do perfil CD e apresenta valores de anomalia Bouguer total entre -22,5 e -32,3 mGals, o que caracteriza uma amplitude de 9,8 mGals.

**Figura 29-** Perfil CD realizado durante o levantamento gravimétrico da etapa de campo.



Fonte: elaborado pela autora.

## 6.2 Magnetometria

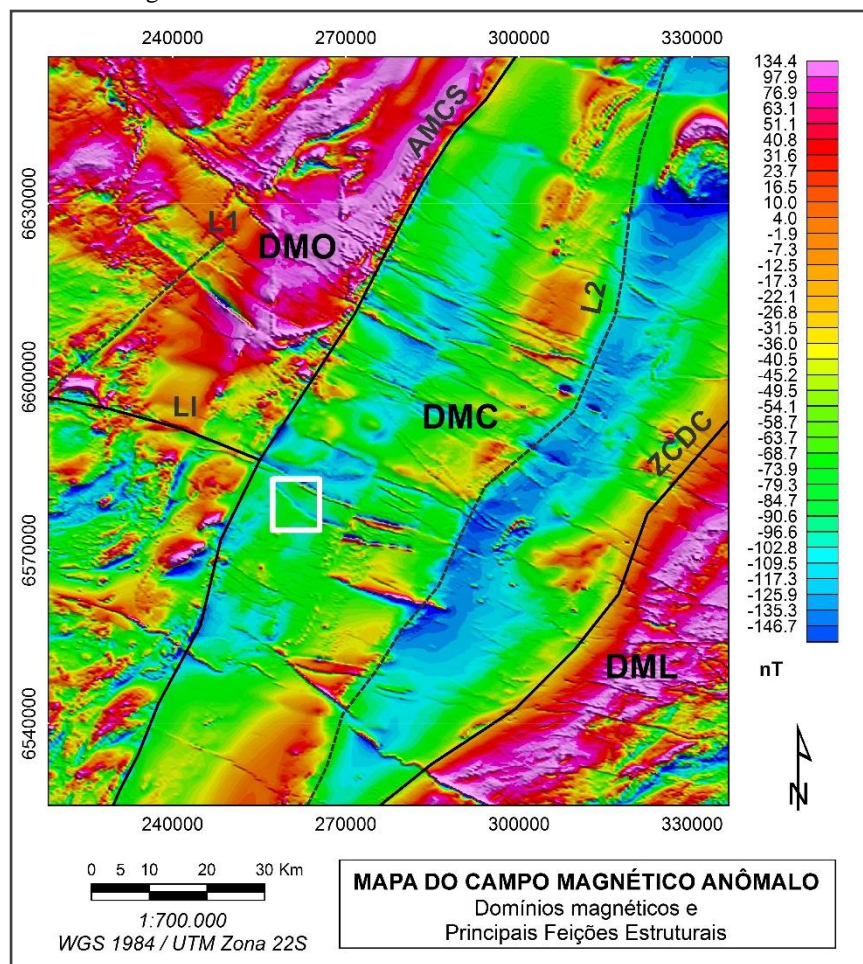
Com o intuito de detectar as principais feições estruturais da área estudada, bem como regiões magnéticas anômalas, foram gerados mapas do Campo Magnético Anômalo, de Amplitude do Sinal Analítico e de Primeira Derivada Vertical, na escala 1:60.000, os quais foram sobrepostos pelas principais estruturas e ocorrências mineralógicas da região. Através da análise destes mapas, também buscou-se identificar um possível controle estrutural na área estudada, característico de sistemas pórfiro-epitermais.

### 6.2.1 Mapas do Campo Magnético Anômalo

O mapa do CMA (Figura 30), na escala 1:700.000, foi realizado com o objetivo de contextualizar a área de estudo em termos regionais, no que diz respeito aos domínios e lineamentos magnéticos definidos por Costa (1997), no ESRG. A região estudada situa-se no Domínio Magnético Central (DMC), aonde ocorrem os valores magnéticos mais baixos, entre 0 e -150 nT. Além disto, o DMC é limitado a oeste pela Anomalia Magnética Caçapava do Sul (AMCS) e a leste pela Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu (ZSDC).

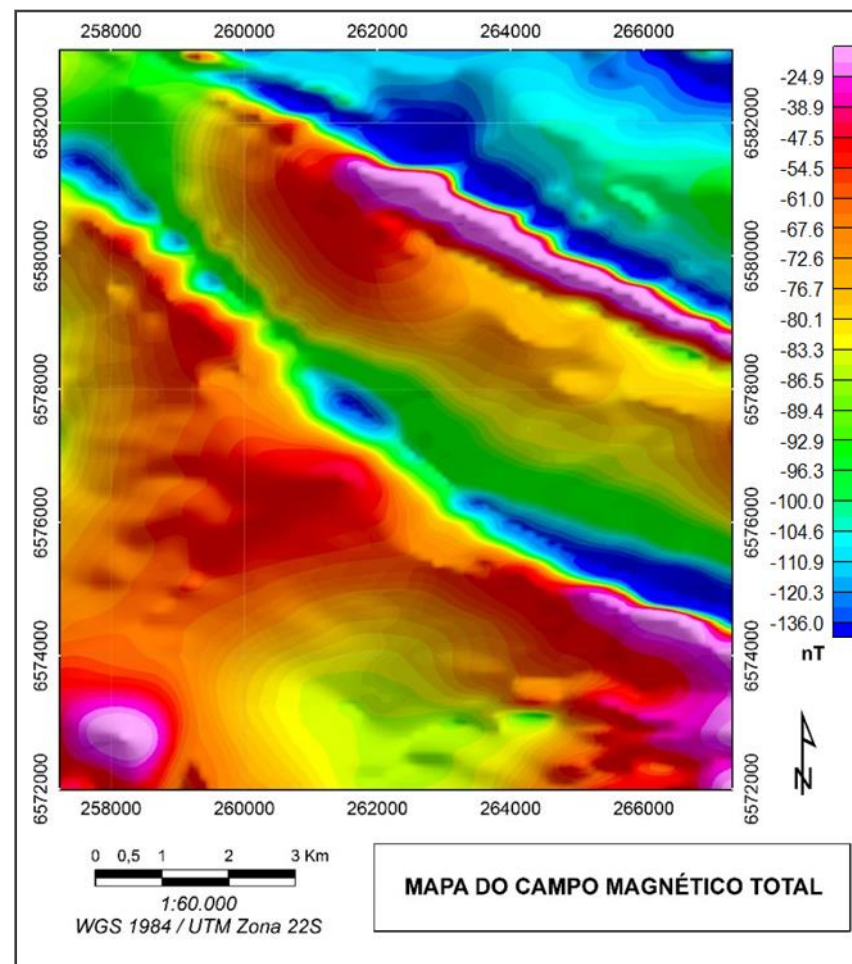
Através do Campo Magnético Anômalo (CMA), o qual apresenta as anomalias com padrão dipolar, pode-se obter uma resposta magnética de natureza rasa ou profunda. O mapa do CMA da área de estudo (Figura 31) foi realizado na escala 1:60.000 e apresenta valores magnéticos negativos, com intensidade entre -24,9 e -136,0 nT, aproximadamente. Estes valores negativos podem ser atribuídos as rochas sedimentares da Bacia do Camaquã que recobrem o embasamento. Neste mapa, são identificados dois dipolos magnéticos, alinhados segundo a direção NW-SE. Tendo em vista que o caráter dipolar destas anomalias pode dificultar as posteriores interpretações, foram gerados mapas de produtos derivados.

**Figura 30-** Mapa do Campo Magnético Anômalo de parte do ESRG, contendo as principais feições estruturais e os domínios magnéticos definidos por Costa (1997). A área de estudo está representada pelo retângulo branco. LI= Lineamento de Ibaré; L1= Lineamento 1; L2= Lineamento 2; AMCS= Anomalia Magnética Caçapava do Sul; ZCDC= Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu; DMO= Domínio Magnético Oeste; DMC= Domínio Magnético Central; DML= Domínio Magnético Leste.



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 31-** Mapa do Campo Magnético Anômalo.

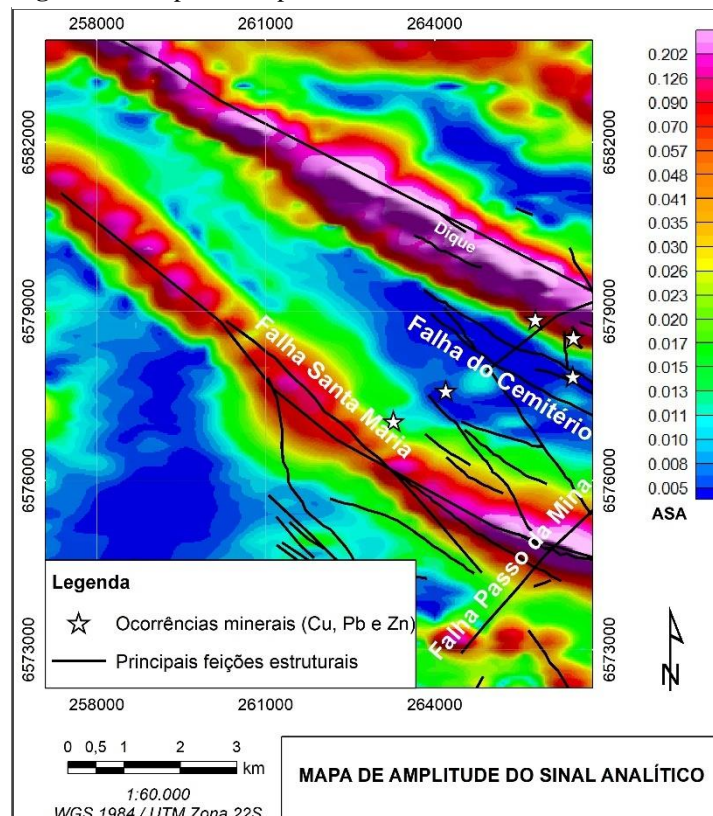


Fonte: elaborado pela autora.

### 6.2.2 Mapa de Amplitude do Sinal Analítico

Neste trabalho, optou-se pela realização de um mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) por ser uma técnica alternativa à redução ao polo, a qual tem como característica principal o fato de que as anomalias magnéticas resultantes estão posicionadas imediatamente acima dos limites das estruturas. O sinal analítico exhibe um valor de amplitude máximo sobre contatos de fontes magnéticas largas ou sobre o centro de fontes estreitas, como falhas e lineamentos, sendo fundamental na localização de estruturas e limites geológicos. Após a geração do mapa de ASA (Figura 32), foram sobrepostas as principais feições estruturais mapeadas na área com o objetivo de correlacionar estas informações com a geofísica e analisar o quão eficiente esta técnica pode ser na identificação de um possível controle estrutural. Neste mapa, foram reconhecidas duas estruturas principais, representadas pelas anomalias magnéticas alongadas na direção NW-SE, cujos valores variam entre 0,035 e pouco mais que 0,202 ASA. Estas anomalias correspondem a duas falhas, sendo uma delas denominada Falha Santa Maria e a outra, mais a norte, parcialmente preenchida por diques de diabásio. Na porção sudeste do mapa, as estruturas menos expressivas, bem como a falha do Cemitério, encontram-se em zonas aonde o valor de amplitude magnética varia de intermediário a baixo (0,03 a 0,005 ASA).

**Figura 32-** Mapa de Amplitude do Sinal Analítico.

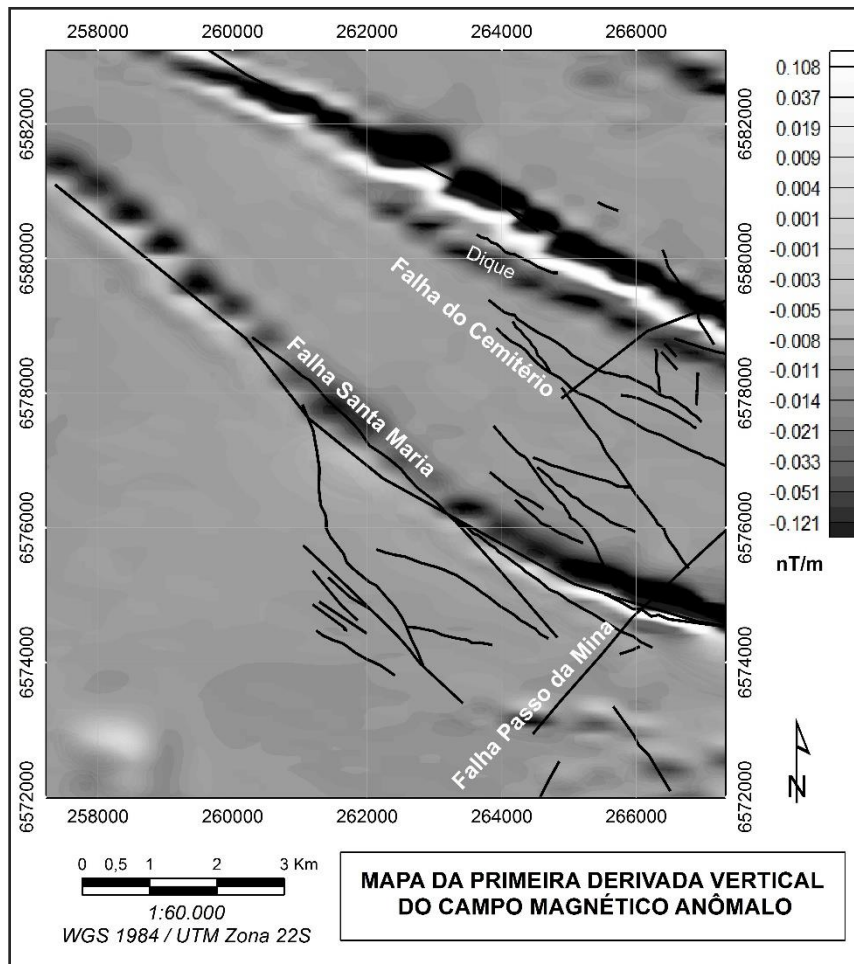


Fonte: elaborado pela autora.

### 6.2.3 Mapa de Primeira Derivada Vertical

Através da aplicação do filtro de primeira derivada vertical do campo magnético anômalo, obtém-se um realce de fontes geológicas mais rasas, aonde o sinal magnético é de alta frequência, além de estruturas e contatos litológicos mais nítidos. O mapa de Primeira Derivada Vertical (Figura 33) foi gerado em tons de cinza e relevo sombreado para tornar as estruturas de direção NW-SE, identificadas anteriormente, ainda mais visíveis. Neste mapa, os valores variam entre 0,122 e pouco mais de -0,108 nT/m. A análise conjunta dos mapas de Derivada Vertical e de Amplitude do Sinal Analítico (Figura 32), permitiu identificar com mais precisão as feições estruturais representadas pelos dipolos no mapa de CMA (Figura 31).

**Figura 33-** Mapa da Primeira Derivada Vertical do Campo Magnético Anômalo.



Fonte: elaborado pela autora.

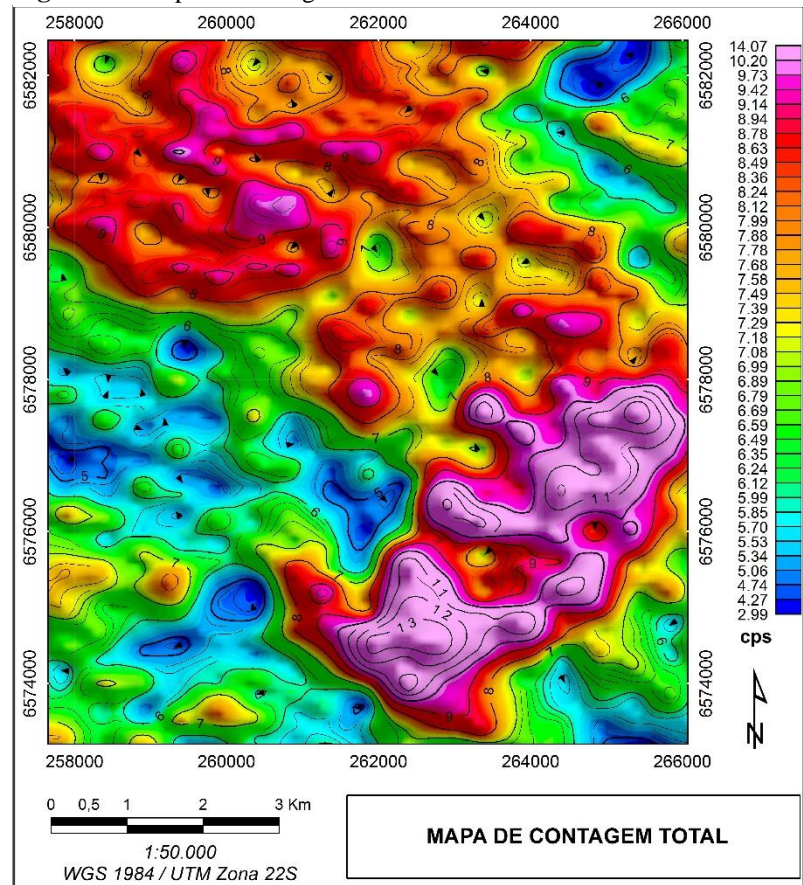
### 6.3 Gamaespectrometria

Como resultado do processamento dos dados aerogamaespectrométricos, foram gerados mapas em relevo sombreado de Contagem Total, Concentrações de Potássio e Tório, na escala 1:50.000, bem como um mapa de Composição Ternária RGB, na escala 1:150.000. Através deste trabalho, buscou-se identificar regiões anômalas de potássio que possam indicar possíveis zonas de alteração hidrotermal, geradas pela percolação de fluidos alcalinos através de falhas e fraturas em profundidade, típicas de um sistema pórfiro-epitermal.

#### 6.3.1 Mapa de Contagem Total

No mapa de Contagem Total (Figura 34), em que os valores estão entre 14,07 e 2,99 cps, os valores mais elevados, principalmente, na porção sudeste (14,07 – 7,36 cps) e, subordinadamente, na porção noroeste (9,53 – 7,41 cps), puderam ser associados as concentrações elevadas de potássio identificadas no mapa da figura 35. Os valores intermediários a baixos concentram-se nas porções nordeste e sudoeste, com valores entre 6,99 e 2,99 cps.

**Figura 34-** Mapa de Contagem Total com contorno.

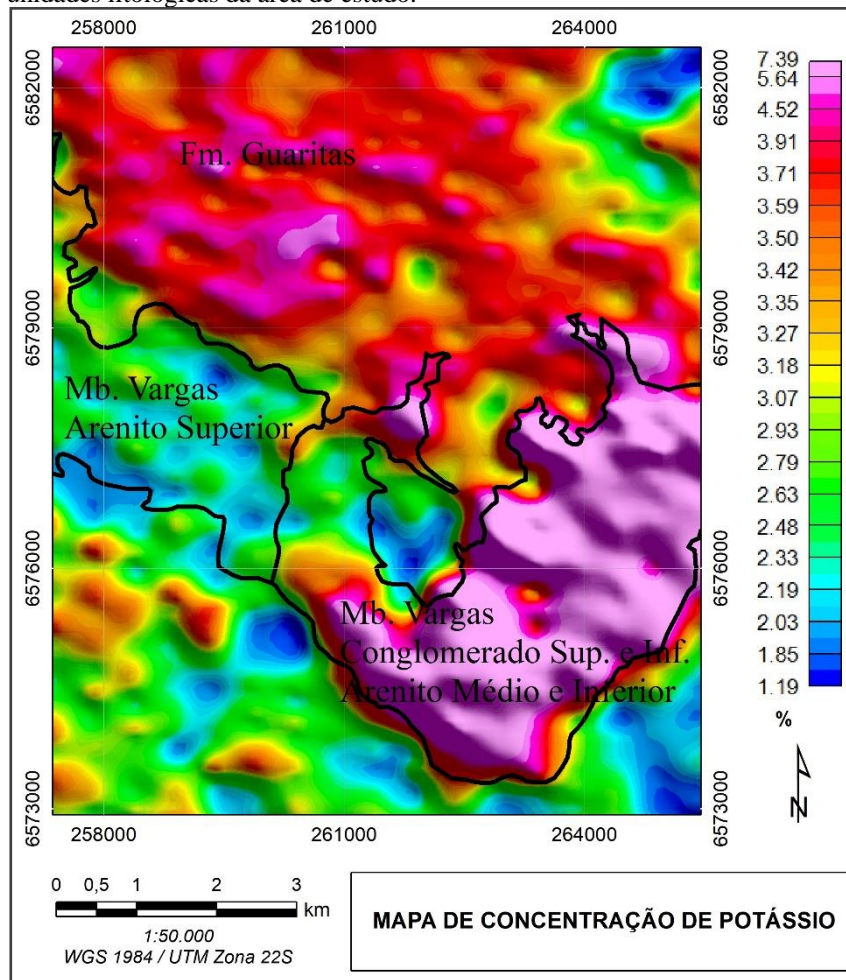


Fonte: elaborado pela autora.

### 6.3.2 Mapa de Concentração de Potássio

O mapa de Concentração de Potássio (Figura 35), foi sobreposto pelo mapa geológico da Janela Bom Jardim, com o intuito de analisar possíveis correlações entre as zonas anômalas de potássio e as unidades litológicas da área estudada. Neste mapa, observou-se que as maiores concentrações de potássio, compreendidas entre 7,39 e 4,17 %, encontram-se na região sudeste, a qual corresponde aos arenitos (médio e inferior) e conglomerados (superior e inferior) do Membro Vargas, pertencente a Formação Arroio dos Nobres (Grupo Santa Bárbara). Outras concentrações elevadas de potássio, entre 5,02 e 3,62%, são identificadas nas regiões noroeste e central do mapa, aonde estão situados os arenitos e conglomerados da Formação Guaritas (Grupo Camaquã). O Arenito Superior do Membro Vargas, o qual se trata da única unidade litológica deste Membro que não se encontra mineralizada, apresentou correlação com teores intermediários a baixos, variando de 3,0 a 1,2% de potássio.

**Figura 35-** Mapa de Concentração de Potássio sobreposto pelos contornos das unidades litológicas da área de estudo.

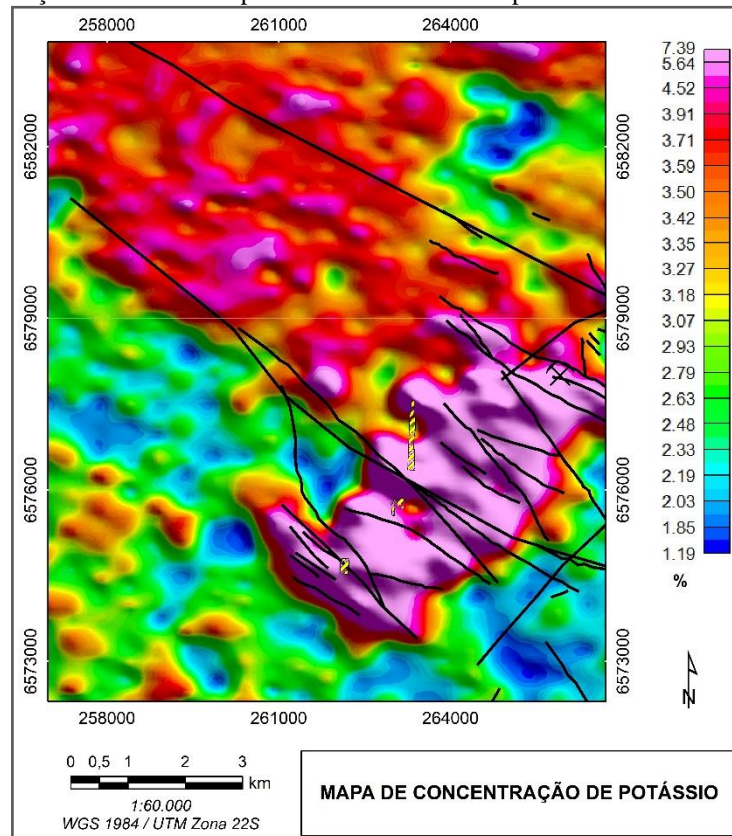


Fonte: elaborado pela autora.



Este mapa também foi sobreposto pelas feições estruturais (Figura 36), a fim de identificar uma possível correlação entre as estruturas e as zonas anômalas de potássio. Através deste mapa, foi possível observar que estas zonas, assim como as estruturas mapeadas na área estudada, apresentam direção NW-SE. Esta correlação pode ser atribuída a percolação de fluidos através de falhas e fraturas, provenientes de um corpo intrusivo alcalino.

**Figura 36-** Mapa de Concentração de Potássio sobreposto pelas feições estruturais mapeadas na área de estudo pela CPRM.

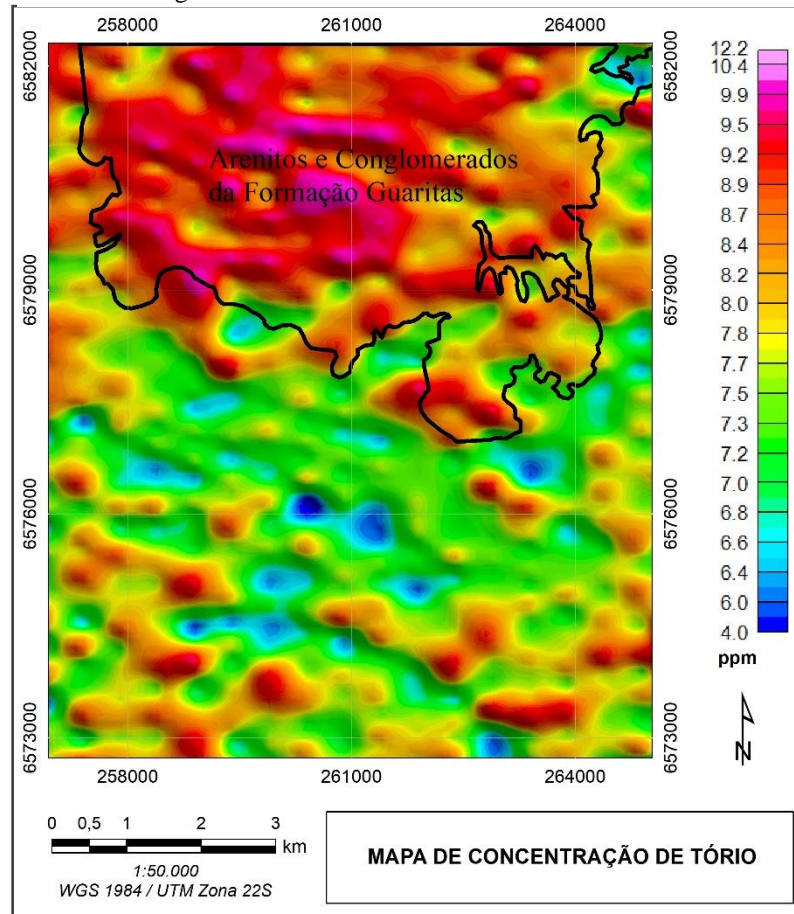


Fonte: elaborado pela autora.

### 6.3.3 Mapa de Concentração de Tório

O mapa de Concentração de Tório (Figura 37), assim como o de potássio, foi sobreposto ao mapa geológico (Figura 39) com o objetivo de correlacionar zonas anômalas deste radioelemento com a litologia da região estudada. Neste mapa, cuja escala é de 1:50.000, os teores de tório encontram-se no intervalo de 12,2 a 4,0 ppm. Além disso, foi possível relacionar os teores elevados a moderados de tório (entre 12,2 e 7,7 ppm), localizados essencialmente na porção noroeste do mapa, com os arenitos e conglomerados da Formação Guaritas.

**Figura 37-** Mapa de Concentração de Tório sobreposto pelo contorno das unidades litológicas da área de estudo.



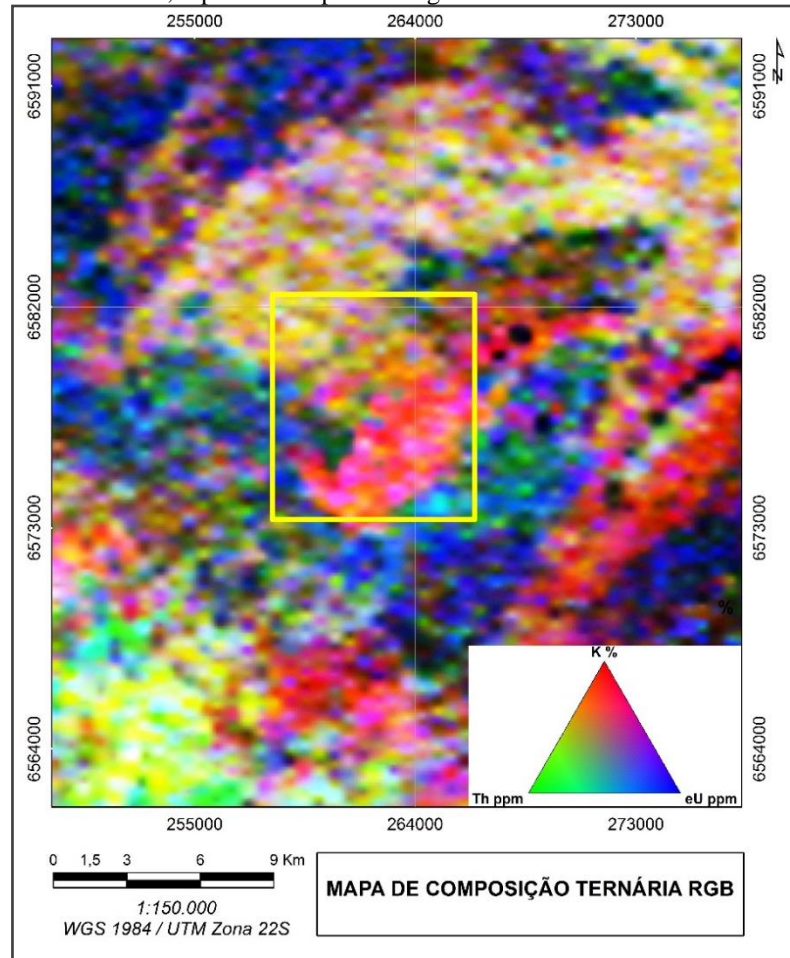
Fonte: elaborado pela autora.

#### 6.3.4 Mapa de Composição Ternária RGB

O mapa de Composição Ternária RGB (*Red, Green, Blue*) associa diferentes cores para cada um dos três elementos, sendo: o vermelho correspondente ao canal de potássio, o verde ao de tório e o azul ao de urânio. Altas contagens dos três radioelementos são representadas pela cor branca, enquanto baixas contagens associam-se à cor preta. Neste estudo, optou-se pela elaboração de um mapa de Composição Ternária RGB (Figura 38), visto que, através dele, é possível obter um maior contraste entre regiões com diferentes concentrações dos três elementos, podendo torná-las mais evidentes. Este mapa foi gerado na escala 1:150.000 pois não apresentou uma boa resolução em escalas maiores. As concentrações anômalas de potássio na porção sudeste da área de estudo, correspondem aos arenitos (médio e inferior) e conglomerados (superior e inferior) do Membro Vargas, aonde encontram-se hospedadas as

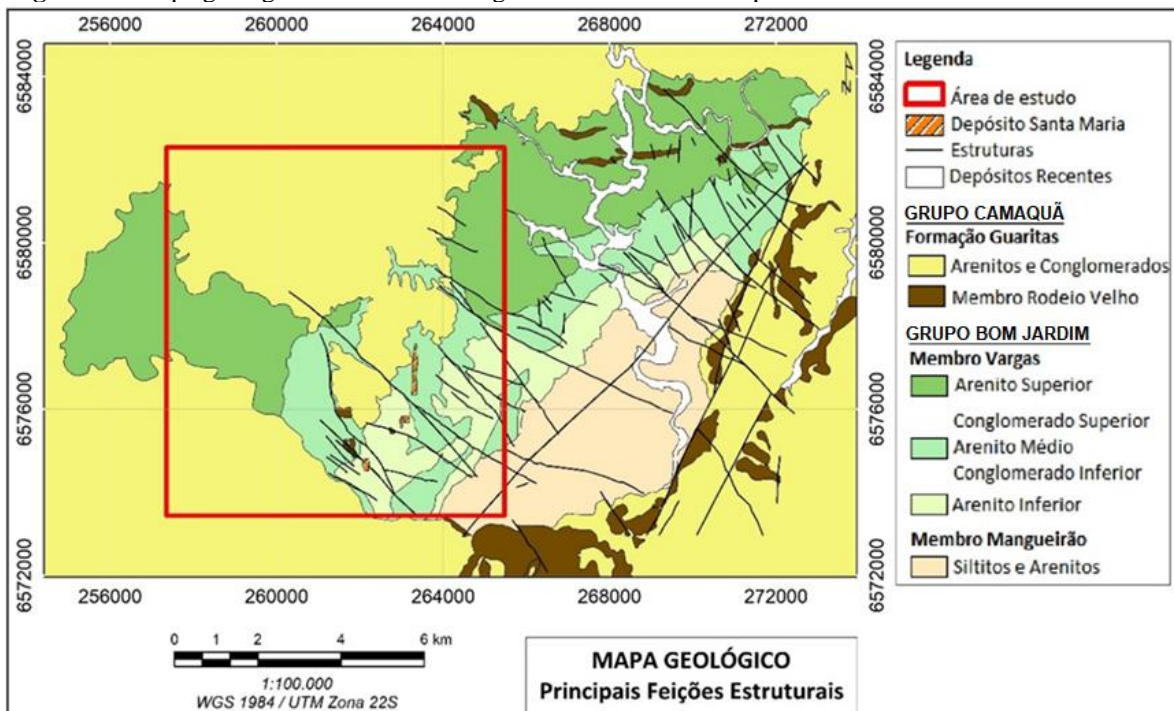
mineralizações. As altas concentrações de urânio na região sudoeste, podem ser associadas ao Arenito Superior, sendo esta a única unidade litológica do Membro Vargas que não se encontra mineralizada. Já na região noroeste, foram identificadas concentrações médias entre potássio e tório, as quais correspondem aos arenitos e conglomerados da Formação Guaritas, pertencente ao Grupo Camaquã.

**Figura 38-** Mapa de Composição Ternária RGB, com destaque para a área de estudo, representada pelo retângulo amarelo.



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 39-** Mapa geológico e estrutural da região de Minas do Camaquã.



Fonte: elaborado pela autora com base no mapa de Bicca (2013).

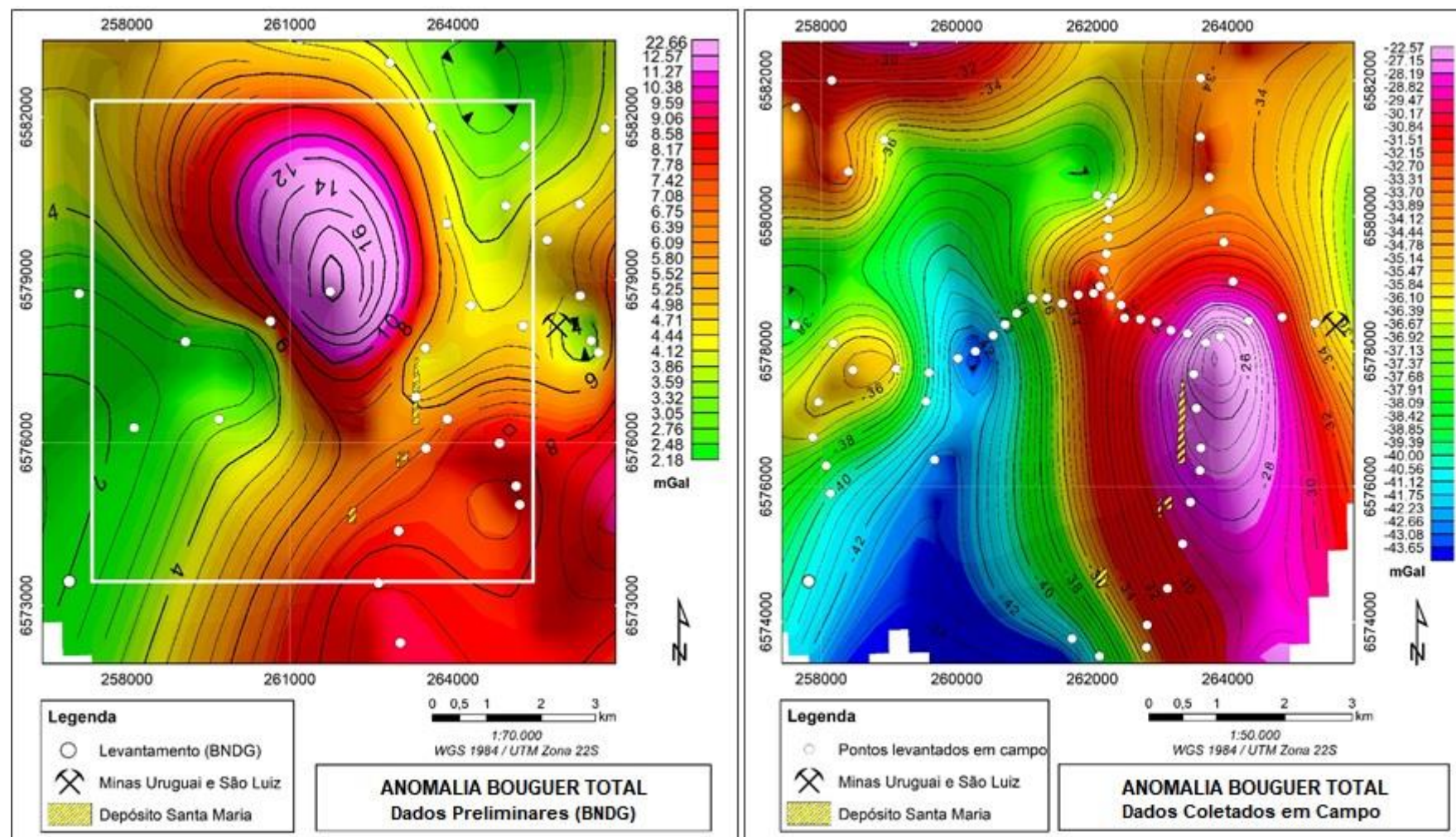
## 7. DISCUSSÕES

As discussões que seguem referem-se à discrepância entre os dados gravimétricos preliminares e os dados levantados durante o trabalho de campo deste estudo, bem como à análise e integração dos resultados apresentados. Também serão apontados dados de outros estudos, os quais colaboram com as hipóteses desta pesquisa.

### 7.1 Discrepâncias entre os Dados Gravimétricos Preliminares e os Dados de Campo

Inicialmente, foram utilizados os dados disponibilizados pelo BNDG, referentes a um levantamento gravimétrico realizado por professores do IGEO-UFRGS. Com isto, o trabalho de campo deste estudo visava adensar a malha deste levantamento, a fim de obter um maior recobrimento da área. Entretanto, após o geoprocessamento dos dados coletados em campo, identificou-se que os valores de anomalia Bouguer eram totalmente diferentes daqueles preliminares (Figura 40). Com o intuito de analisar e comparar as amplitudes das anomalias positivas identificadas nos dois levantamentos, foram realizados perfis sobre estas anomalias. Os perfis A'B' e AB apresentam os valores de amplitude das anomalias identificadas, respectivamente, a partir dos dados preliminares e dos dados coletados em campo. No perfil A'B', a anomalia apresenta 4,5 km de comprimento e amplitude de 18,06 mGals, enquanto que no perfil AB, há uma anomalia bem menos expressiva, que parece corresponder àquela do perfil A'B', com extensão de 1,4 km e amplitude de 10,62 mGals. Com isto, optou-se por descartar o uso dos dados cedidos pelo BNDG, dada a grande disparidade entre os dados preliminares e de campo, bem como a divergência entre as amplitudes comparadas nos dois perfis. Além disso, a confiabilidade dos dados preliminares encontra-se comprometida, tendo em vista que não há registro de informações referentes ao *software* empregado na realização das correções, à base gravimétrica e ao sistema de posicionamento utilizado no levantamento que, provavelmente, não tinha a mesma precisão que os atuais, comprometendo, também, a precisão dos dados planialtimétricos fundamentais para as correções. É importante, ainda, ressaltar que o valor máximo registrado no mapa de Anomalia Bouguer Total preliminar (Figura 21) corresponde a um único ponto discrepante, cujo valor é de 22,66 mGals.

**Figura 40-** Comparação entre os mapas de Anomalia Bouguer Total gerados a partir dos dados preliminares, cedidos pelo BNDG, e dos dados levantados em campo durante o presente estudo, ressaltando a discrepância entre ambos.

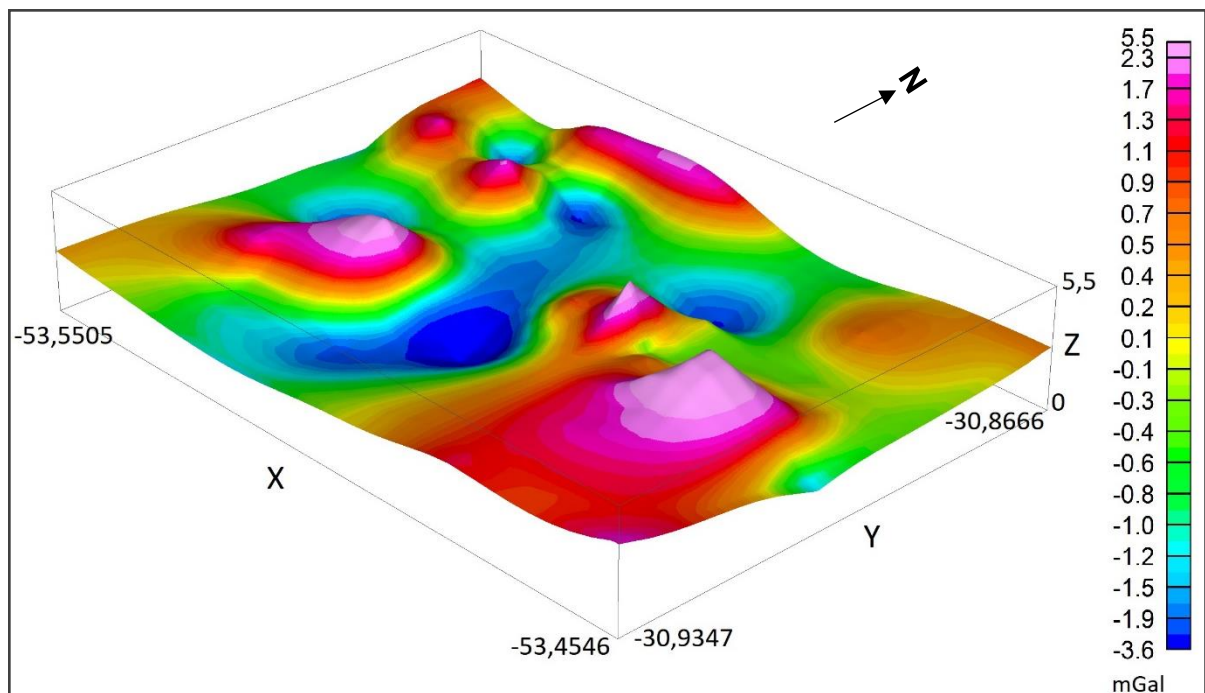


Fonte: elaborado pela autora.

## 7.2 Análise e Integração dos Resultados

A gravimetria foi o principal método geofísico deste estudo, pois através das diferenças de densidade entre um possível corpo intrusivo em subsuperfície e a encaixante sedimentar, obtém-se uma boa resposta com a identificação de anomalias Bouguer. Os valores de anomalia Bouguer negativos, referentes ao levantamento de campo, são comuns quando adquiridos em bacias sedimentares, devido à baixa densidade dos espessos pacotes. Os mapas gravimétricos gerados após a etapa de campo chamam atenção para a anomalia positiva mais expressiva, situada na porção sudeste da área de estudo, entre o Depósito Santa Maria e as minas Uruguai e São Luiz. Através do modelo 3D gerado a partir do mapa de Anomalia Bouguer Residual, que ressalta altos gravimétricos de fontes mais rasas, esta anomalia torna-se ainda mais evidente (Figura 41).

**Figura 41-** Modelo 3D realizado a partir do mapa de Anomalia Bouguer Residual da área de estudo.



Fonte: elaborado pela autora.

Sabendo que sistemas pórfiro-epitermais são estruturalmente controlados, os mapas magnetométricos gerados foram sobrepostos às ocorrências minerais (Cu, Pb e Zn) e às principais feições estruturais mapeadas pela CPRM na área de estudo, com o intuito de localizar possíveis correlações entre estas informações. Com isto, observou-se que a Falha Santa Maria e outra falha preenchida por diques de diabásio, ambas de direção NW-SE, mostram estreita correlação com os lineamentos magnéticos identificados com nitidez nos mapas de Amplitude do Sinal Analítico e de Primeira Derivada Vertical do campo magnético anômalo. Além disso,

as ocorrências minerais identificadas na área, pela CPRM, também apresentam correlação com as feições estruturais locais, cuja direção também é NW-SE.

Após a geração dos mapas de Concentrações de Potássio e Tório, realizou-se a sobreposição do mapa geológico, a fim de obter uma melhor visualização dos contrastes geofísicos e possíveis correlações com as unidades litológicas. Com isto, foi possível correlacionar os teores elevados de tório a Formação Guaritas; e a anomalia positiva de potássio com os conglomerados (superior e inferior) e arenitos (médio e inferior) do Membro Vargas, aonde se encontram hospedadas as mineralizações da região. Também foi possível correlacionar os valores com concentrações mais baixas de potássio ao Arenito Superior, pertencente ao mesmo Membro Vargas, o único que não se encontra mineralizado, segundo Bettencourt (1972) e Teixeira *et al.* (1978). Ribeiro & Araújo (1982) atribuem as regiões anômalas de potássio a presença de feldspatos detríticos nos arenitos arcoseanos da BC. Entretanto, a partir da análise dos resultados realizada no presente estudo, foram evidenciadas correlações entre as altas concentrações de potássio, as mineralizações e as feições estruturais presentes na região. Portanto, além da contribuição dos sedimentos arcoseanos, as altas concentrações de potássio também podem estar relacionadas a percolação de fluidos alcalinos, através de falhas e fraturas, provenientes de um possível corpo intrusivo em subsuperfície.

Outros estudos realizados na região, também denotam possíveis evidências da correlação entre as ocorrências polimetálicas e um depósito cobre pórfiro. Segundo Sawkins (1990), o modelo metalogenético de depósitos clássicos deste tipo requer um ambiente composto por arcos vulcano-plutônicos cálcio-alcalinos, tal como arco magmático relacionado a subducção. Segundo Nardi & Bonin (1991), o vulcanismo da BC de caráter cálcio-alcalino aponta para a presença de um arco magmático desenvolvido nas fases finais do Ciclo Brasileiro, ambiente favorável para depósitos cobre pórfiro.

De acordo com Ribeiro *et al.* (1980), as mineralizações cupríferas encontradas na região de Minas do Camaquã apresentam-se controladas por falhas de direção NW-SE sub-verticais; fato que, associado as interpretações obtidas pela análise dos mapas magnetométricos do presente estudo, indicam que as mineralizações desta região se apresentam estruturalmente controladas. Além disso, o modelo genético do tipo cobre pórfiro (Figura 8), proposto por Beckel (1990), caracteriza um halo de alteração hidrotermal coerente para o modelo, cuja forma é atribuída às condições de permeabilidade das encaixantes. Próximo a superfície, aonde a porosidade das rochas é mais elevada, este halo adquire forma estratiforme devido a circulação dos fluidos ao longo dos planos de estratificação.

Outra evidência encontrada refere-se a estudos de isótopos de enxofre em sulfetos, efetuados por Beckel (1990) e Remus *et al.* (1997), os quais demonstram que os valores de  $\delta^{34}\text{S}$  obtidos nas baritas (mineral depositados nos estágios finais da mineralização), compreendidos entre 10,15 e 14,24‰, sugerem que estes minerais foram gerados pela ação de fluidos meteóricos ou pela mistura de fluidos meteóricos e magmáticos, assim como nos depósitos do tipo cobre pórfiro (ROBB, 2004).

Com o intuito de comparar a amplitude da anomalia identificada nos mapas gravimétricos gerados neste estudo, buscou-se na literatura trabalhos anteriores que se utilizaram do método gravimétrico para caracterizar depósitos pórfiros em bacias sedimentares. Surpreendentemente, não existem muitos trabalhos com este propósito. Segundo Holliday & Cooke (2007), o método gravimétrico não é comumente utilizado na exploração de depósitos pórfiros pois os dados não podem ser coletados de forma relativamente barata em um padrão detalhado como, por exemplo, dados magnéticos. Estes autores sugerem, ainda, que o método possa tornar-se mais aplicável através de levantamentos aerogravimétricos com custos mais reduzidos.

Como exemplo análogo ao presente estudo, tem-se o trabalho publicado por Xiao & Wang (2017), realizado com o objetivo de interpretar e correlacionar os dados de anomalia Bouguer na área de um depósito pórfiro coberto pelo deserto de Gobi, na China. Neste trabalho, os valores de anomalia Bouguer regional obtidos para o distrito de Eastern Tianshan são todos negativos, dada a baixa densidade associada às bacias circundantes cobertas pelo deserto de Gobi. Os altos gravimétricos, por sua vez, encontram-se associados a rochas plutônicas intrusivas em profundidade e apresentam amplitude de anomalia Bouguer regional de, aproximadamente, 15 mGals. Segundo estes autores, o cinturão que compreende estes altos gravimétricos pode refletir uma grande massa plutônica, que possivelmente está geneticamente associada com sistemas hidrotermais de depósitos Cu-Mo pórfiros da região. As rochas vulcânicas e plutônicas, cobertas pelo deserto, apresentam grandes variações de densidade em função, principalmente, dos constituintes minerais. Por fim, pode-se concluir que o trabalho publicado por Xiao & Wang (2017) é um bom parâmetro para fins comparativos com o presente estudo, visto que apresenta valores de anomalia Bouguer regional igualmente negativos e amplitude em intervalo aceitável quando comparada a descrita no perfil da figura 28, a qual equivale a 14,5 mGals.



## 8. CONCLUSÕES

Esta monografia objetivou, através da análise e integração de dados geofísicos, geológicos e estruturais, a busca por indícios da possível existência de um corpo intrusivo, característico de sistemas pórfiro-epitermais, a fim de colaborar com outros estudos que se utilizaram deste modelo de sistema para melhor entender a gênese das ocorrências polimetálicas na região de Minas do Camaquã.

A primeira hipótese levantada por este trabalho, de que o depósito polimetálico Santa Maria, bem como as minas Uruguai e São Luiz, poderiam ter sua gênese associada a um corpo intrusivo em subsuperfície, pode ser considerada verdadeira a partir da análise de todos os resultados e discussões abordados anteriormente. Porém, deve-se levar em consideração que este estudo utilizou métodos indiretos e que, portanto, existem apenas indícios da possível associação entre as mineralizações e um corpo magmático. A maior contribuição dos resultados com relação a primeira hipótese, refere-se à correlação entre o alto gravimétrico mais expressivo na porção sudeste da área de estudo, à identificação de um controle estrutural a partir dos produtos derivados do campo magnético anômalo, sobrepostos às principais feições estruturais e ocorrências minerais, e às concentrações elevadas de potássio, coincidentes com a direção NW-SE das falhas e fraturas.

A incidência de uma anomalia Bouguer significativamente positiva e extensa na região compreendida entre o Depósito Santa Maria e as Minas do Camaquã sugere a presença de uma massa de maior densidade. Logo, recomenda-se que novos levantamentos gravimétricos sejam realizados na área com o intuito de recobrir melhor a região e adquirir, assim, maior veracidade para os mapas gerados por este projeto. Além disto, o fato de que os dados preliminares cedidos pelo BNDG, amplamente utilizados em diversos trabalhos, apresentaram-se incoerentes com os valores obtidos durante o levantamento deste estudo e com confiabilidade comprometida, reforçam a ideia de que novos levantamentos devam ser efetuados. Vale ressaltar a importância em realizar-se uma modelagem dos dados gravimétricos obtidos neste estudo, a fim de obter maior validação das hipóteses que orientaram este trabalho.

A segunda hipótese sugerida, de que os métodos gravimétrico, magnetométrico e gamaespectrométrico são capazes de auxiliar na prospecção de depósitos pórfiros, também pode ser considerada verdadeira desde que os produtos gerados sejam analisados de forma integrada. Os métodos geofísicos demonstraram resultados satisfatórios, pois permitiram correlacionar o alto gravimétrico mais expressivo da região, às concentrações elevadas de

potássio (associadas às litologias mineralizadas do Membro Vargas), bem como às principais feições estruturais e às ocorrências minerais mapeadas na área estudada.

Sendo assim, os objetivos gerais e específicos, relacionados à análise e integração dos dados levantados e à identificação de assinaturas geofísicas, foram atingidos. A análise integrada dos métodos geofísicos com informações geológicas e estruturais apontaram, portanto, para uma possível área-alvo de novos estudos prospectivos mais aprofundados nesta região.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. **The upper Precambrian of South America**. Bol. Inst. Geoc. Universidade de São Paulo, 1976. p. 45-80.
- ALMEIDA, F.F.M. & MELO, C. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: Bistrichi, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L. & PONCANO, W.L. (ed.). **Mapa geológico do Estado de São Paulo: nota explicativa**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. v.1. p. 46-77.
- BADI, W.S.R. **Mineralizações de Chumbo e Zinco em Arenitos do Distrito Camaquã, RS**. Dissertação de Mestrado, UFRGS. 1983. 137p.
- BECKEL, J. **Metalogênia Del Cu, Pt y Zn en La Cuenca de Camaquã durante el Ciclo Orogênico Brasileiro, Rio Grande do Sul (Brasil)**. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de Salamanca. Espanha, 1990. 275 p.
- BENHOMME, M.G. & RIBEIRO, M.J. Datações K-Ar das argilas associadas a mineralização de cobre da Mina Camaquã e de suas encaixantes. In: **SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1**. Porto Alegre. Atas...Porto Alegre, SBG. 1983. p. 82-88.
- BETTENCOURT, J. S. **A mina de cobre do Camaquã, RS**. Instituto de Geociências, USP. Tese de Doutorado. São Paulo, 1972. 176 p.
- BICCA, M. M.; CHEMALE, F.; JELINEK, A. R.; de OLIVEIRA, C. H. E.; GUADAGNIN, F.; ARMSTRONG, R. Tectonic evolution and provenance of the Santa Bárbara Group, Camaquã Mines region, Rio Grande do Sul, Brazil. In: **Journal of South American Earth Sciences**, v. 48, 2013. p. 173-192.
- BRITO NEVES, B. B. & CORDANI, U. G. **Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic**. Precambrian Research, 53. 1991. p. 34-40.
- CARVALHO, P. F. **Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul**. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. (Boletim 66). Rio de Janeiro, 1932. p. 1-72.
- CHEMALE Jr., F. **Tectonic Evolution of Southern Brazil and Southern Africa during the Neoproterozoic and Early Paleozoic**. Anais: 14<sup>th</sup>. International Conference on Basement Tectonics. Ouro Preto, 1997. p. 10-11.
- CHEMALE, F. Jr., MALLMANN, G., BITENCOURT, M. F., KAWASHITA, K. **Times constrains on magmatism along the Major Hercino Shear Zone, southern Brazil: Implications for West Gondwana reconstruction**. Gondwana Researsch, 22. 2012. p. 184-199.
- COSTA, A. F. U. **Teste e Modelagem Geofísica da Estruturação das Associações Litotectônicas Pré-Cambrianas no Escudo Sul-riograndense**. Tese de Doutorado, IG / UFRGS Porto Alegre, RS. 1997. 291 p.

COSTA, A. F. U., CHEMALE Jr. F., MAGRO F.H.S., DIAS N.L. **Modelagem gravimétrica da Bacia do Camaquã, RS**. Simp. Nac. Estudos Tectônicos, 5. Gramado: SBG. Bol. Res. Expandidos. 1995. p. 234-235.

COSTA FILHO, J. H. **Prospecção da mina de cobre de Camaquã no RGS**. Divisão de Fomento da Produção Mineral. (Boletim 59). 1944. p. 11-85.

DICKSON, B. L.; SCOTT K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. In: **Journal of Australian geology & geophysics**, Austrália: v. 17. n. 2. 1997. p. 187-200.

DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. **Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul**. 2010.

DOBRIN, M. B.; SAVIT, C. H. **Introduction to geophysical prospecting**. 4 eds., McGraw-Hill, 1988, 882 p.

ERNESTO, Marcia; USSAMI, Naomi. **Introdução à Geofísica**. 1983.

FACCINI, U.F.; PAIM, P.S.G; FRAGOSO-CESAR, A.R.S. Análise faciológica das molassas brasileiras na Região das Minas do Camaquã, RS. In: **Simpósio Sulbrasileiro de Geologia**, 3. SBG. Atas... Curitiba, 1987. v.1. p. 75-91.

FAMBRINI, G. L., JANIKIAN, L., DE ALMEIDA, R. P., FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **Evolução Estratigráfica e paleogeográfica do grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Central, RS**. Geologia USP. Série Científica, 7(2). 2007. p. 1-24.

FRAGOSO-CÉSAR, A. R. S.; MACHADO, R.; SAYEG, H. S. & FAMBRINI, G. L. Bacias orogênicas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul e Uruguai. In: **Workshop sobre bacias molássicas brasileiras**. Boletim de Resumos expandidos, 1992. p. 47-53.

GRESSE, P. G.; CHEMALE Jr. F.; SILVA, L. C.; WALRAVEN, F.; & HARTMANN, L. A. **Late to post orogenic basins of the Pan Africa Brasileiro collision orogen in Southern Africa and Southern Brazil**. Basin research. 1966.

HANSEN DA. **Geological Applications Manual for Portable Gamma Ray Spectrometers**. Toronto, Exploranium G. S. Limited, 87p. 1975.

HARRES, M. M. Minas do Camaquã (Caçapava do Sul - RS): A exploração do cobre no Rio Grande do Sul. In: RONCHI, L. H.; LOBATO, A. O. C. (ed.). **As Minas do Camaquã**. São Leopoldo: Unisinos, 2000. p. 21-53.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE Jr., F.; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANNUZZI, Roberto; FRANTZ, José Carlos (Ed.). **50 anos de Geologia, Instituto de Geociências**. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 97-141.

HEDENQUIST, J. W., ARRIBAS, R.A. & GONZALES, U.E. Exploration for epithermal gold deposits. Reviews in Economic Geology. 13(2), 2000. p. 45-77.

HOLLIDAY, J. R.; COOKE, D. R. Advances in geological models and exploration methods for copper±gold porphyry deposits. In: **Proceedings of exploration**. 2007. p. 791-809.

JANIKIAN, L., De ALMEIDA, R. P., Da TRINDADE, R. I. F., FRAGOSO-CESAR, A. R. S., D' AGRELLA-FILHO, M. S., DANTAS, E. L., & TOHVER, E. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. **Terra Nova**, 20(4). 2008. p.259-266.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to geophysical exploration**. ed. 3, Oxford: Blackwell Scientific Publications Ltd., 2002. 272 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M. & HILL, I. **Geofísica de Exploração**. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos. Título Original: An introduction to geophysical exploration. 2009. 438p.

IAEA. Airborne gamma ray spectrometer surveying. Technical Reports Series nº 323. Viena: Intern. **Atomic Energy Agency**. 1991.

IAEA. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. Viena: Intern. **Atomic Energy Agency**. 2003. 179 p.

LAUX, J. H. **Caracterização da Mineralização Cupro-aurífera de uma parte da Mina Uruguai, Caçapava do Sul – RS**. Dissertação de Mestrado, UNISINOS. São Leopoldo, 1999. 132 p.

LEINZ, V. & ALMEIDA, S. **Gênese da Jazida de Cobre de Camaquã**. DPM. Secretaria dos Negócios de Agricultura Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul. (Boletim 88). Porto Alegre, 1941. 56 p.

LICHT, O. 1980. A descoberta da Jazida Santa Maria (Zn, Pb, Cu), Rio Grande do Sul - Brasil: Um caso histórico de prospecção geoquímica. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 31. Balneário de Camboriú, Anais... Balneário de Camboriú, SBG. 1980. v.1, p. 141-153.

LIMA, E.; SOMMER, C.A.; NARDI, L. V. S. O Vulcanismo Neoproterozóico-Ordoviciano no Escudo Sul-riograndense: Os Ciclos Vulcânicos da Bacia do Camaquã. In: **50 anos de Geologia: Instituto de Geociências**. Contribuições. 2007. p. 79-95.

LOSS, E. L. & ROISSENBERG, A. **Contribuição à caracterização geotectônica da sequência sedimentar eo-paleozóica do Rio Grande do Sul**. Pesquisas, 1. 1972. p. 7-12.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. ed. 2, Cambridge: Cambridge University Press. 2007. 392 p.

MINTY, B. R. S. **Fundamentals of airborne gamma ray spectrometry**. Journal of Australian geology and geophysics, v. 17, n. 2, 1997. p. 39-50.

NARDI, L.V.S. & BONIN, B. **Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil – A case study**. Chemical Geology. 1991. 92(1/3): 197-211.

PAIM, P. S. G. 2000. Minas do Camaquã, RS. Marco na história da mineração de cobre no Brasil. In: SCHOBENHAUS, C; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BOM, M. L. C. (ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. DNPM/CPRM – SIGEP. Brasília, 2002. p. 501-510.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE Jr., F.; LOPES, R. C. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (ed.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1999. p. 231-274.

PAIM, P. S. G., JUNIIR, F. C., & WILDNER, W. **Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS)**. Ciência e Natura, 36(3). 2014. p. 183-193.

REEVES, C. **Aeromagnetic Surveys, Principles, Practice & Interpretation**. Earthworks Geosoft, e-Published book, Toronto. 2005, p. 155.

REMUS, M.V.D.; McNAUGHTON, N.J.; HARTMANN, L.A.; GROVES, D.I. Pb and S isotope signature of sulphides and constraints on timing and sources of Cu (Au) mineralization at the Camaquã and Santa Maria Mines, Caçapava do Sul, southern Brazil. In: **SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ISOTOPIC GEOLOGY (SSAGI)**. São Paulo – Brazil, Extended Abstracts. 1997. p: 253-255.

RIBEIRO M. J. & ARAÚJO L. **Anomalias de potássio associadas a rochas sedimentares do Eo-Paleozóico mineralizado do Rio Grande do Sul e implicações para a prospecção**. Ciências da Terra, 5. 1982. p. 8-12.

RIBEIRO, M. J.; BADI, W. S. E.; GONZALEZ, A. P.; GONZALEZ, M.A.; LICHT, O.B.; TEIXEIRA, G. Jazida Santa Maria, chumbo e zinco estratiformes no Grupo Bom Jardim, Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 31. Balneário de Camboriú, Anais... Balneário Camboriú, SBG. v. 3. 1980. p. 1725-1742.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; TESSARI, R. I. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil. In: **Boletim da divisão de Geologia e Mineralogia**. DNPM, v.127. 1966. 232 p.

RIBEIRO, V. B., MANTOVANI, M. S., & LOURO, V. H. A. **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico**. Terræ Didática, 10(1). 2014. p. 29-51.

RIOS, F. S. **Caracterização petrográfica e mineralógica da alteração hidrotermal no depósito de Pb-Zn (Cu-Ag) de Santa Maria, distrito mineiro de Camaquã (RS)**. Monografia (Graduação) – Inst. de Geociências, Curso de Graduação em Geologia, USP. São Paulo, 2012. 104 p.

ROBB, L. **Introduction to ore-forming processes**. Blackwell Publishing, 2004. 373 p.

SAWKINS, F.J. **Metal Deposits in Relations to Plate Tectonics. Second Edition**. Springer-Verlag. 1990. Cap. 1, p. 17- 70.

SILLITOE, R.H. **The tops and bottoms of porphyry copper deposits**. Economic Geology. 1973. 68: 799-815.

SOARES, R. D. **Modelagem 2D de dados gravimétricos do Rife Guaritas como contribuição ao conhecimento da evolução tectônica da Bacia do Camaquã**. 2011.

SUSZCZYNSKI, E. **Os Recursos Minerais Reais e Potenciais do Brasil e sua Metalogenia**. Livraria Interciências Ltda. 1975. 532 p.

TEIXEIRA, E. **Cobre no Rio Grande do Sul**. DNPM, Divisão de Fomento da Produção Mineral. (Avulso 22). Rio de Janeiro, 1937. 29 p.

TEIXEIRA, G.; GONZALEZ, A. P.; GONZALEZ, M. A.; LICHT, O A B. Contribuição ao estudo das mineralizações cupríferas disseminadas no Distrito das Minas do Camaquã. In: SBG, **XXX Congresso Brasileiro de Geologia**, Anais, 4. 1978. p. 1644-1654.

TEIXEIRA, G. & GONZALES, M. Minas do Camaquã, Município de Caçapava do Sul, RS. In: C. SHOBBENHAUS (ed.). **Principais depósitos Minerais do Brasil**. DNPM. 3 v. 1988. p. 34-40.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. **Applied Geophysics**. Cambridge: Cambridge University. 1976. 860p.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIF, R. E.; KEYS, D. A. 1990. **Applied geophysics**, ed. 2, Cambridge, Cambridge University Press, 1990. 860 p.

TONIOLO, J. A.; GIL, C. A. A.; SANDER, A. **Metalogenia das bacias neoproterozóico-eopaleozóicas do Sul do Brasil**. 2007.

VEIGEL, R. **Evolução Diagenética e Mineralização Cu-Pb-Zn dos "Red-Beds" do Distrito de Camaquã - RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília - UnB. 1989. 185 p.

XIAO, F., & WANG, Z. **Geological interpretation of Bouguer gravity and aeromagnetic data from the Gobi-desert covered area, Eastern Tianshan, China: Implications for porphyry Cu-Mo polymetallic deposits exploration**. Ore Geology Reviews, 80, 2017. p. 1042-1055.