

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JÉSSICA GODOY PINTO**

**UTILIZAÇÃO DE AEROGEOFÍSICA PARA CORRELAÇÃO GEOLÓGICA NO  
MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS.**

**CAÇAPAVA DO SUL  
2017**

**JÉSSICA GODOY PINTO**

**UTILIZAÇÃO DE AEROGEOFÍSICA PARA CORRELAÇÃO GEOLÓGICA NO  
MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS.**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristiane Heredia  
Gomes

**CAÇAPAVA DO SUL  
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

---

P659u Pinto, Jessica Godoy

Utilização de aerogeofísica para correlação  
geológica no município de São Sepé - RS / Jessica  
Godoy Pinto.

70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--  
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2017.  
"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. Geofísica. 2. Geologia. I. Título.

---

---

JÉSSICA GODOY PINTO

UTILIZAÇÃO DE AEROGEOFÍSICA PARA CORRELAÇÃO GEOLÓGICA NO  
MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS.

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05/07/2017.

Banca examinadora:

*Cristiane Gomes*

Prof. Dr. Cristiane Heredia Gomes  
Orientadora  
UNIPAMPA

*Igor Clemente*

Prof. Dr. Igor Clemente  
UNIPAMPA

*Rafael Lima Dessart*

Prof. Dr. Rafael Lima Dessart

Dedico este trabalho aos meus amados pais,  
incentivadores incansáveis na minha  
jornada e a minha filha razão do meu viver.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, pai de infinita bondade que me abençoa e ilumina e a todos amigos de luz que contribuíram para minha evolução.

Aos meus queridos pais Nádia e Carlos Alberto, meus irmãos Daniela e Marcus, por me proporcionarem as maiores riquezas deste mundo, o amor e o conhecimento.

Ao meu companheiro da vida Nelson e a minha filha amada Maria Clara, obrigada pela paciência, amor e incentivo de todos os dias.

A Minha orientadora Cristiane Gomes, que me ajudou muito com seu conhecimento, paciência e carinho, meu eterno agradecimento.

Ao meu querido professor Felipe Guadagnin e Sissa, que muito me auxiliaram na graduação, gratidão!

Aos meus anjo-amigos, Feliciano, Lennon, Maristela, Nara, Rafa e Dudu que muito me ajudaram.

Aos meus irmãos de rocha Débora, Gleice, Karine, Índio, Petita, Sô e Thiago que levarei pra sempre em meu coração.

## RESUMO

Os métodos geofísicos, nos últimos anos, vêm sendo muito usados com a finalidade de detectar e analisar descontinuidades e limites geológicos servindo assim, como subsidio na caracterização de uma área. A gamaespectrometria e a magnetometria tem grande potencial na delimitação de estruturas geotectônicas e na delimitação de litologias. Esses métodos quando relacionados produzem resultados satisfatórios para a caracterização geológica e geofísica de áreas extensas, por isso são muito utilizados em campanhas de mapeamentos geológicos. A região de São Sepé, na região Sudoeste do Rio Grande do Sul compõe o Domínio São Gabriel no Sul do Brasil e é constituída por litologias com grande interesse exploratório. Deste modo, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), no projeto executado em 2010, forneceu uma grande quantidade de informações geológicas e geofísicas através do Projeto Aerogeofísico do Rio Grande do Sul (AERO). Este estudo, através dos dados aéreos de magnetometria e gamaespectrometria disponibilizados por este projeto, busca caracterizar e analisar informações geológicas e geofísicas para compreender melhor a sua evolução geológica, limitando as litologias e analisando as descontinuidades. A metodologia baseia-se na interpretação de dados em escala regional correlacionando com a geologia local e regional. A partir disto, foram gerados diferentes mapas geofísicos que auxiliaram para uma melhor visualização da geologia, assim como a delimitação da litologia da área e identificação de estruturas e lineamentos. Os mapas gamaespectrometricos possibilitaram a caracterização das anomalias obtidas relacionadas com a mineralogia das rochas, gerando uma melhor visualização da distribuição de elementos radiativos presentes nos minerais constituintes das rochas e a diferenciação da Suíte Granítica São Sepé, onde foi identificado o Monzogranito Rincao dos Coqueiros e o Granito São Sepé. Já os mapas magnetometricos permitiram a identificação de lineamentos principais e suas continuidades na área estudada. A análise dos mapas geofísicos gerados proporcionou avanço no conhecimento geológico da região, já que possibilitou a identificação dos domínios de unidades geológicas e a caracterização geológica, apresentando contribuições para o aprimoramento de informações para área estudada.

Palavra Chave: mapas geofísicos, projeto AERO, magnetometria e gamaespectrometria.

## ABSTRACT

In recent years, geophysical methods have been widely used for the purpose of detecting and analyzing discontinuities and geological boundaries, thus serving as a subsidy in the characterization of an area. The gamma spectrometry and magnetometry have great potential in the delimitation of geotectonic structures and the delimitation of lithologies. These methods, when related, produce satisfactory results for the geological and geophysical characterization of large areas, so they are widely used in geological mapping campaigns. The São Sepé region, in the Southwest region of Rio Grande do Sul, composes the São Gabriel Domain in the South of Brazil and is constituted by lithologies with great exploratory interest. In this way, the Mineral Resources Research Company (CPRM), in the project executed in 2010, provided a large amount of geological and geophysical information through the Aerogeofísico Project of Rio Grande do Sul (AERO). This study, through the aerial data of magnetometry and gamaspectrometry provided by this project, seeks to characterize and analyze geological and geophysical information to better understand its geological evolution, limiting the lithologies and analyzing the discontinuities. The methodology is based on the interpretation of data on a regional scale correlating with local and regional geology. From this, different geophysical maps were generated that helped to better visualize the geology, as well as the delimitation of the lithology of the area and identification of structures and lineaments. The gamma - spectrometric maps enabled the characterization of the anomalies obtained related to the mineralogy of the rocks, generating a better visualization of the distribution of radiative elements present in the minerals constituent of the rocks and the differentiation of the Granítica São Sepé Suite, where Monzogranito Rincao dos Coqueiros was identified and the Granite São Sepé. The magnetometric maps allowed the identification of main lineaments and their continuities in the studied area. The analysis of the geophysical maps generated provided advance in the geological knowledge of the region, since it allowed the identification of the geological units domains and the geological characterization, presenting contributions for the improvement of information for the studied area.

**Keywords:** geophysical maps, AERO project, magnetometry and gammaspectrometry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	15
Figura 2 - Mapa aproximado da localização da área de estudo (retângulo preto), com vias de acesso e principais rodovias (em amarelo). ....	16
Figura 3 - Aeronave com equipamento geofísico.....	18
Figura 4 - Mapa de localização da Área do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) com destaque para o Município de São Sepé. ....	18
Figura 5 - Abundância dos isótopos de Th, K e U em diferentes tipos de rochas.....	22
Figura 6 - Dipolo cujo campo é uma aproximação do campo magnético terrestre. ....	28
Figura 7 - – Mapa geológico da área. ....	39
Figura 8 - Mapa gamaespectrométrico de Contagem Total (CT) evidenciando a somatória dos elementos Urânio, Tório e Potássio e mapa geológico da área.....	43
Figura 9 – Mapa gamaespectrométrico Ternário evidenciando as ocorrências dos elementos Urânio, Tório e Potássio e mapa geológico da área. ....	45
Figura 10 - Mapa gamaespectrométrico do Canal do Potássio (K) e mapa geológico da área.....	46
Figura 11 - Mapa da Contagem do canal do Urânio (U) e mapa geológico da área. ....	48
Figura 12 – Mapa de contagem do canal do Tório (Th) e mapa geológico da área. ....	49
Figura 13 - Mapa da razão U/Th e mapa geológico da área.....	51
Figura 14 - Mapa da razão U/K e mapa geológico da área. ....	53
Figura 15 - Mapa da razão Th/K e mapa geológico da área.....	55
Figura 16 - Mapa do parâmetro F e mapa geológico da área. ....	57
Figura 17 - Mapa de amplitude de sinal analítico e mapa geológico da área.....	59
Figura 18 - Mapa de redução ao polo magnético e mapa geológico da área.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Configurações dos equipamentos utilizados na aquisição dos dados aerogeofísicos. ....	19
Tabela 2 - Exemplos de Minerais que podem conter elementos radioativos em suas estruturas químicas. ....	21
Tabela 3 - Suscetibilidade magnética de rochas. ....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>Teoria dos Métodos</b> .....	<b>17</b>
5.2.1	<i>Geofísica</i> .....	17
5.2.2	<i>Aerogeofísica</i> .....	17
5.2.3	<i>Gamaespectrometria</i> .....	20
5.2.4	<i>Magnetometria</i> .....	27
<b>5.3</b>	<b>Contexto Geológico</b> .....	<b>34</b>
5.3.1	<i>Geologia Regional</i> .....	34
5.3.2	<i>Geologia Local</i> .....	35
<b>5.4</b>	<b>Validação dos dados aéreos</b> .....	<b>39</b>
<b>5.5</b>	<b>Filtragem dos dados e interpretação dos mapas geofísicos</b> .....	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>6.1</b>	<b>Mapas geofísicos – Aerogamaespectrometria</b> .....	<b>41</b>
6.1.1	<i>Contagem Total</i> .....	42
6.1.2	<i>Mapa Ternário</i> .....	44
6.1.3	<i>Mapa de Concentração de Potássio (K)</i> .....	44
6.1.4	<i>Mapas de Concentração do Canal do U e do Th</i> .....	47
6.1.5	<i>Razão U/Th</i> .....	50
6.1.6	<i>Razão U/K</i> .....	52

6.1.7 Razão Th/K.....	54
6.1.8 Parâmetro F.....	56
<b>6.2 Mapas Geofísicos Aeromagnetométrico.....</b>	<b>58</b>
6.2.1 Amplitude do Sinal Analítico (ASA).....	58
6.2.2 Redução ao Polo Magnético .....	60
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem buscou os recursos minerais para aperfeiçoar suas ferramentas e melhorar a sua condição de vida. Com essa busca incessante, vários foram os métodos de prospecção criados para facilitar a exploração e para o conseqüente avanço da civilização.

A utilização de geotecnologias tem subsidiado crescentemente campanhas de mapeamento geológico e exploração mineral (e.g., Souza Filho & Crósta, 2003; Almeida et al., 2003; Crósta et al., 2003; Silva et al., 2003). Os métodos geofísicos possibilitam o acesso à informação da subsuperfície terrestre através da medição de propriedades físicas da rocha a ser estudada, como a densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, entre outros (KEAREY et al., 2009).

A aerogeofísica é uma área da geofísica que usa aeronaves para caracterizar principalmente áreas de grande extensão com interesse exploratório. Os métodos aerogeofísicos mais utilizados são: a magnetometria e a gamaespectrometria. A magnetometria se baseia na susceptibilidade magnética dos minerais que formam a rocha e a gamaespectrometria nos elementos radioativos presente nos minerais (KEAREY et al., 2009).

Este trabalho refere-se à caracterização geológica de uma área no município de São Sepé na região central do estado do Rio Grande do Sul. A área possui aproximadamente 680 km<sup>2</sup> e abrange diversas rochas do Domínio São Gabriel no Escudo Sul-rio-grandense.

O principal objetivo deste estudo é a utilização das imagens aerogeofísicas do Projeto Aerogeofísico do Escudo Sul-rio-grandense do ano de 2010, fornecidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) para caracterizar e obter contrastes litológicos da geologia da área a ser estudada. A partir destas imagens foram gerados mapas geofísicos através do *software Oasis Montaj*<sup>TM</sup> para que facilitasse a interpretação e caracterização da área. Deste modo juntamente com informações geológicas, foi possível delimitar as litologias e caracterizar a área pelos contrastes geofísicos.

## 2 OBJETIVO

### a) Objetivo Geral:

O objetivo geral deste estudo consiste na detecção e análise de descontinuidades e limites litológicos através de dados aerogeofísicos em uma área no município de São Sepé.

### b) Objetivo Específico:

O trabalho deu-se por:

- Gerar mapas a partir dos dados aerogeofísicos;
- Obter contrastes geofísicos para delimitar as litologias da área.

## 3 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho tem importância por contribuir como auxílio em campanhas de prospecção, pois a área de estudo pode conter mineralizações. A área já possui estudos geoquímicos, porém a geofísica pode agregar informações em uma maior escala, podendo evidenciar a localização das possíveis mineralizações. Os métodos geofísicos utilizam o contraste de propriedades físicas entre os materiais e concentrações minerais para detectar e caracterizar anomalias que permitem a identificação de ocorrências minerais, geometria dos corpos e os limites deles.

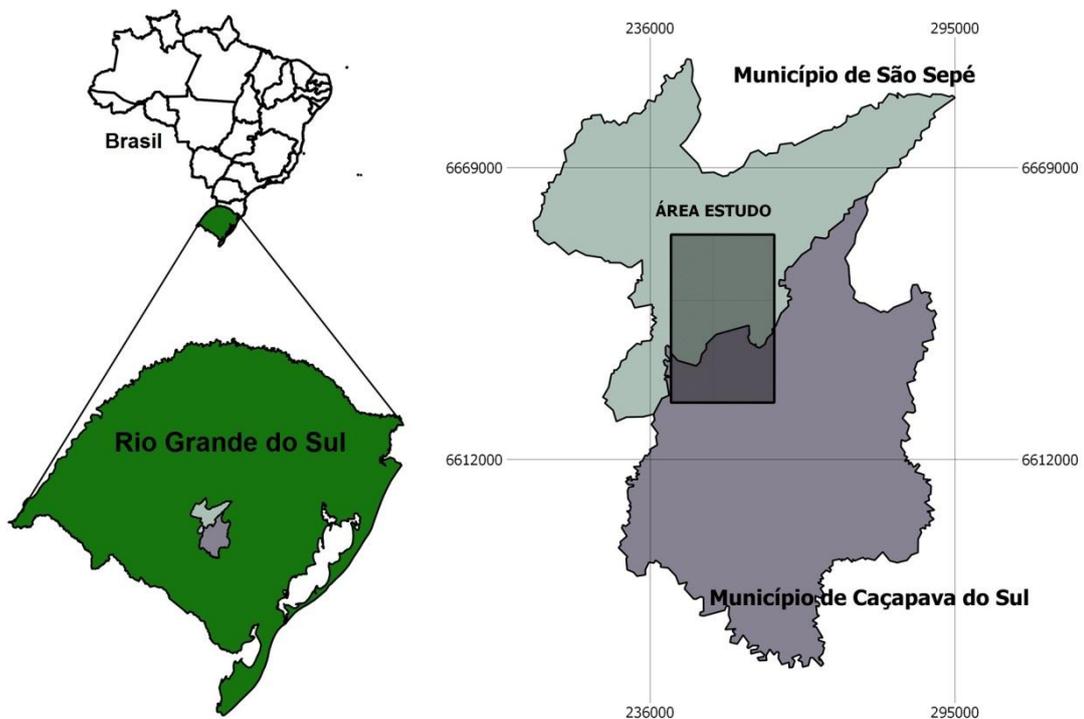
Os métodos escolhidos foram a gamaespectrometria e a magnetometria. A gamaespectrometria detecta as assinaturas gamaespectrométricas nos minerais presentes nas rochas, assim caracterizando e mapeando em superfície por evidenciar a geoquímica das rochas; e a magnetometria, através da susceptibilidade magnética das rochas, gera contrastes derivados da variação petrográfica ou de estruturas das rochas.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de São Sepé (Figura 1), região central do estado do Rio Grande do Sul-Brasil, entre as cidades de Caçapava do Sul e Santa Maria. A área possui cerca de 680 km<sup>2</sup> e o acesso, partindo de Caçapava do Sul se dá pela Br-392, cerca de 40 km até o trevo de acesso a São Sepé (Figura 2).

São Sepé distante 265 km de Porto Alegre, encontra-se no escudo Sul-rio-grandense, com altitude média de 85 m e população em torno de 24 mil habitantes (IBGE, 2013).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Extraído e modificado da CPRM.

Figura 2 - Mapa aproximado da localização da área de estudo (retângulo preto), com vias de acesso e principais rodovias (em amarelo).



Fonte: extraído do Google Earth Pro (2016).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento e a realização deste trabalho consistem em revisão bibliográfica, teoria dos métodos, contexto geológico, validação dos dados, filtragem dos dados e interpretação dos mapas geofísicos.

### 5.1 Revisão Bibliográfica

Foi utilizado neste estudo uma revisão bibliográfica, que constitui uma etapa importante para o desenvolvimento deste trabalho. Ela agrega conhecimento, informações para a interpretação geológica e geofísica dos dados que foram obtidos. Para tanto, foram utilizados artigos científicos de revistas especializadas, livros e capítulos de livros, teses e monografias, e outras informações pertinentes para aprofundar a pesquisa sobre a área.

## 5.2 Teoria dos Métodos

### 5.2.1 Geofísica

Segundo Kearey et al. (2009), a Geofísica é uma ciência que aplica os fenômenos da física no estudo da Terra. Os métodos geofísicos podem ser aplicados a vários tipos de investigação, do estudo de toda a Terra à exploração de uma região localizada na crosta superior, para fins de engenharia ou outros propósitos. Há dois tipos de métodos de levantamentos geofísicos: os que usam os campos naturais da Terra, e aqueles que envolvem a aplicação na superfície de energia gerada artificialmente. Os campos naturais geralmente fornecem informações sobre propriedades da Terra em profundidade e utilizam os campos gravitacional, magnético, elétrico e eletromagnético da Terra. Os métodos de fontes artificiais envolvem a geração de campos elétricos ou eletromagnéticos de modo análogo ao dos campos naturais, como a geração de ondas sísmicas, produzindo mais detalhes da geologia em grandes profundidades (KEAREY et al., 2009).

### 5.2.2 Aerogeofísica

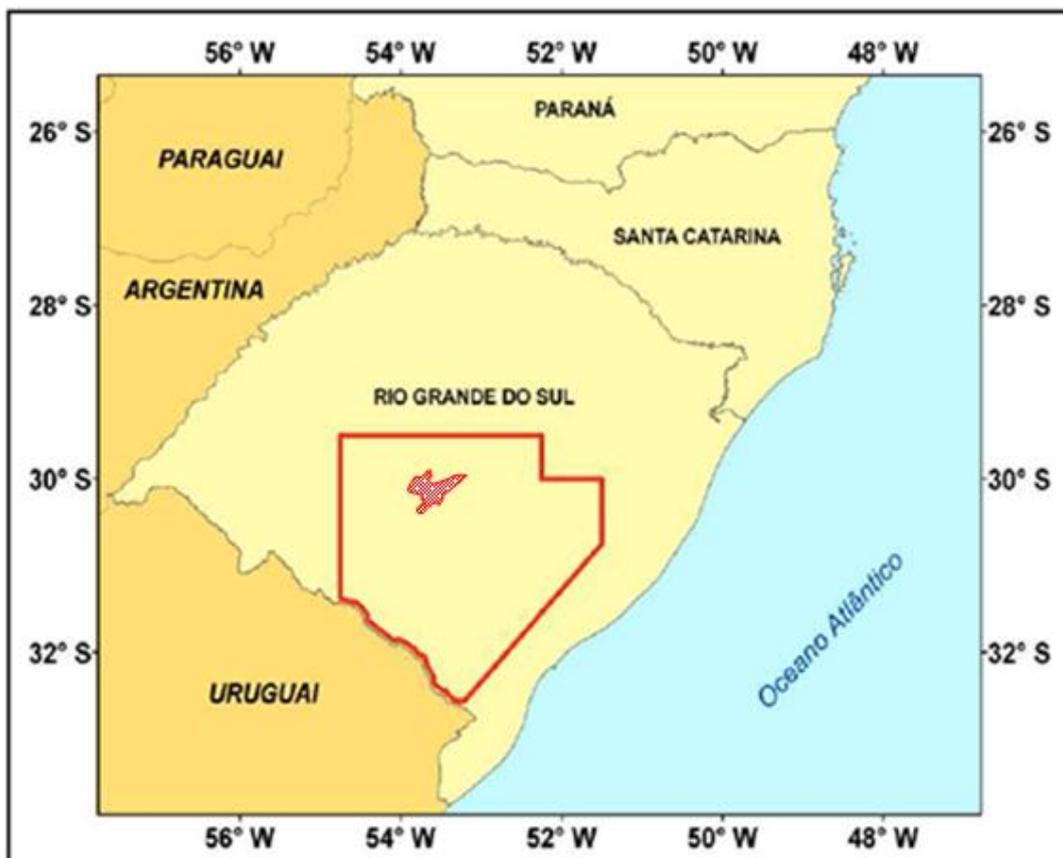
A Aerogeofísica é a área da geofísica que utiliza aeronaves na obtenção de dados (Figura 3) de modo a caracterizar grandes áreas de interesse exploratório, objetivando aumentar a quantidade de informações disponíveis em áreas previamente estudadas. Para a realização deste trabalho usou-se imagens do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) que recobriu 159.789,21 km de perfis aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos de alta resolução. A empresa que executou o projeto foi a LASA Engenharia e Prospecções S/A. As linhas de voo abrangem parte sudeste do estado do Rio Grande do Sul, e foram espaçadas de 500 m em 500 m de direções N-S e de 10km em 10 km de direções E-W, com altura do voo fixada em 100 m sobre o terreno (Figura 4). Os dados fornecem informações sobre os níveis de magnetometria, contagem total de emissões radioativas, emissões radioativas de potássio, tório e urânio, georreferenciados através do sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), (BUFFON, 2002).

Figura 3 - Aeronave com equipamento geofísico.



Fonte: CPRM, 2000.

Figura 4 - Mapa de localização da Área do Projeto Aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) com destaque para o Município de São Sepé.



Fonte: CPRM, 2010.

Durante o levantamento de dados aeromagnetométricos as leituras foram realizadas com amostragem por segundo com o auxílio do posicionamento via GPS de precisão. Para o controle da variação diurna do campo magnético terrestre foram instaladas bases de operações nas cidades de Santa Maria e Pelotas (RS) (CPRM, 2010).

As configurações dos equipamentos utilizados pelas aeronaves são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Configurações dos equipamentos utilizados na aquisição dos dados aerogeofísicos.**

Prefixo da Aeronave	PR-SSB	PT-MEP	PT-WOT
Modelo da Aeronave	C-208B Caravan	C-208B Caravan	Navajo PA31-310
Fabricante	Cessna	Cessna	Piper
Aeromagnetômetro	Scintrex CS-2	Scintrex CS-2	Scintrex CS-2
Gamaespectrômetro	Radiation Solutions Inc./RS500	Exploranium GR-820	Exploranium GR-820
Volume dos Cristais detectores de Iodeto de Sódio	2.048 pol <sup>3</sup> <i>down</i> e 512 pol <sup>3</sup> <i>up</i>	2.048 pol <sup>3</sup> <i>down</i> e 512 pol <sup>3</sup> <i>up</i>	2.560 pol <sup>3</sup> <i>down</i> e 512 pol <sup>3</sup> <i>up</i>
Sistema de navegação	FASDAS	FASDAS	FASDAS
Sistema de aquisição	Trimble AgGPS 132 DGPS ' <i>Realtime</i> '	Trimble AgGPS 132 DGPS ' <i>Realtime</i> '	Trimble AgGPS 132 DGPS ' <i>Realtime</i> '
Câmera de Vídeo	Panasonic WV-484	Sony DXC-107A	Panasonic WV-484
Radar Altimetro	King - 405	Collins ALT-50	Collins ALT-50
Altimetro Barométrico	Fugro/Enviro	Fugro/Enviro	Fugro/Enviro
Magnetômetro Terrestre	GEM Systems GSM-19	GEM Systems GSM- 19	GEM Systems GSM- 19
Sistema de Aquisição	FASDAS	FASDAS	FASDAS

Fonte: CPRM, 2010.

A velocidade aproximada dos voos para a aeronave PR-SSB foi de 227 km/h, para a aeronave PT-WOT foi de 272 km/h e para a aeronave PT-MEP foi de 235 km/h.

A totalidade do projeto em quilômetros abrangidos de perfis geofísicos foi dividida em 633 linhas de voo, com 152.100,66 km, e 34 linhas de controle, com 7.688,55 km (CPRM, 2010).

### 5.2.3 Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é muito utilizada como apoio ao mapeamento geológico regional e a prospecção mineral. Segundo Dickson & Scott (1997), a gamaespectrometria auxilia na identificação dos limites entre diferentes formações geológicas em escala regional e no mapeamento de zonas de alteração hidrotermal, assim como no mapeamento de depósitos minerais ricos em minerais que contêm radioelementos de potássio, urânio e tório.

Para Fornazzi et al. (2001), a gamaespectrometria, aérea e terrestre, possibilita a identificação de áreas alteradas hidrotermalmente e exploração de suas relações com processos de mineralizações em vários ambientes geológicos.

Segundo Soares et al. (2004) os métodos gamaespectrométricos tem um papel importante na pesquisa de depósitos minerais auríferos associados às alterações hidrotermais.

Segundo Bastos (2002) a gamaespectrometria consiste na detecção dos raios gamas emitidos por isótopos radioativos presentes naturalmente na composição das rochas, visando à estimativa da quantidade dos mesmos. Embora existam vários elementos naturalmente conhecidos, os radioelementos naturais mais abundantes na superfície terrestre são: o potássio, o tório e o urânio (TELFORD et al., 1990).

Segundo Silveira (2014), a radioatividade das rochas está diretamente relacionada ao material originário que a gerou, bem como os processos que atuaram na sua formação. O levantamento gamaespectrométrico reflete a variação geoquímica do potássio (K), do tório (Th) e do urânio (U) até 50 centímetros nas rochas. As principais fontes de radiação gama que são detectadas provém da desintegração dos isótopos de potássio (K-40), Bismuto (Bi-214) e Tório (Th-232), que estão presentes nas séries de decaimento radioativo dos canais do K, U e Th, respectivamente.

Geralmente, o Th mostra um aumento muito maior que o U e as razões de U/Th podem ser utilizadas para investigar o grau de diferenciação das rochas. Segundo Dickson & Scott (1997), as rochas formadas nos últimos estágios de diferenciação magmática tendem a concentrar mais U e Th.

O isótopo de potássio (K) é bastante comum em rochas ricas em potássio, que podem não estar associadas a concentrações de U e Th. O potássio pode assim, obscurecer a presença de depósitos economicamente importantes e constitui uma forma de ruído geológico nesse tipo de levantamento (DICKSON & SCOTT, 1997).

Cada radioisótopo possui uma taxa de desintegração específica que é proporcional ao seu número atômico, sendo expressa pela equação 5.1 (MINTY, 1997).

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \text{Eq. 5.1}$$

Onde,

$\lambda$  = é a constante de decaimento;

N = é o numero de radioisótopos;

t = tempo.

A gama de minerais que podem conter elementos radioativos em suas estruturas químicas é extensa, mas os mais comuns podem ser observados na Tabela 2.

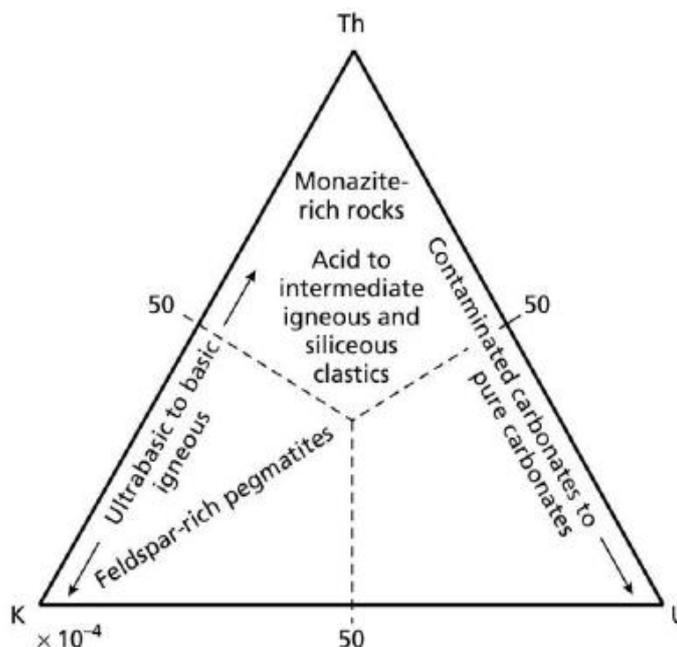
**Tabela 2 - Exemplos de Minerais que podem conter elementos radioativos em suas estruturas químicas.**

<b>Potássio</b>	
Mineral	(i) Ortoclasio e Microclínio [ $KAlSi_3O_8$ ] (ii) Muscovita [ $H_2KAl(SiO_4)_3$ ] (iii) Alunita [ $K_5Al_6(OH)_{12}SiO_4$ ] (iv) Sylvita, Carnalita [ $KCl, MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ]
Ocorrência	(i) Principal constituinte em rochas ácidas e pignatíticas (ii) Principal constituinte em rochas ácidas e pignatíticas (iii) Alteração em vulcânicas ácidas (iv) Depósitos salinos sedimentares
<b>Tório</b>	
Mineral	(i) Monzanita [ $ThO_2 + \text{fosfato de Terras raras}$ ] (ii) Torianita [ $(Th, U) O_2$ ] (iii) Torita, Uranotorita [ $ThSiO_4 + U$ ]
Ocorrência	(i) Granitos, pegmatitos e Gnaisses (ii), (iii) Granitos, pegmatitos e placers
<b>Uranio</b>	
Mineral	(i) Uraninita [óxido de U, Pb, Ra + Th, terras raras] (ii) Carnotita [ $K_2O \cdot 2 \cdot UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 2H_2O$ ] (iii) Gummita [alteração uraninita]
Ocorrência	(i) Granitos, pegmatitos e veios com depósito de Ag, Pb, Cu, etc. (ii) Arenitos (iii) Associados a uraninita

Fonte: adaptado de Telford et al. (1990).

Na figura 5 é possível observar a abundância relativa dos isótopos de Th, K e U em diferentes tipos de rochas.

Figura 5 - Abundância dos isótopos de Th, K e U em diferentes tipos de rochas.



Fonte: Retirado de Telford et al. (1990).

No resultado final dos levantamentos gamaespectrométricos são obtidas as concentrações médias dos radioisótopos e as razões entre eles para uma determinada área.

O potássio utilizado para este fim está relacionado, principalmente, com as rochas ácidas, sendo elas ricas em feldspato potássico e micas. O urânio está presente em minerais como a monazita e o zircão, bem como silicatos tipo a uraninita e uranotorita. Já o tório é pouco solúvel em meios aquosos e, geralmente está associado com minerais hidratados ou oxidados ricos em ferro ou titânio oriundos de intemperismo (TELFORD et al., 1990).

Devido ao fato de o potássio ser correlacionado a eventos hidrotermais associados a depósitos de cobre e o tório ser o oposto disso, a razão K/Th é utilizada para delimitar zonas que sofreram hidrotermalismo (SHIVES et al., 1997).

De qualquer forma, através de estudos envolvendo dados gamaespectrométricos é possível produzir mapas individuais de concentração de radioisótopos e suas razões, bem como mapas ternários que auxiliam na correlação geológica-geofísica de determinada região (ROLIM, 2001; GOTTARDO, 2003).

A gamaespectrometria tem sido utilizada ao longo dos anos como uma ferramenta para correlacionar mineralizações metálicas, dentre este assunto destacam-se os trabalhos de Carrino et al., (2008), Dickson & Scott (1997), Fornazzari Neto & Ferreira (2003), Saunders et al (1987) e Soares (2001). Este último autor faz referência à integração de dados de

gamaespectrometria e magnetometria na caracterização de ocorrências auríferas na região do Complexo Bossoroca, em São Sepé-RS.

O gamaespectrômetro é um equipamento que separa a radiação gama em duas ou mais componentes de energia. Os sinais elétricos, que são pulsos luminosos causados pelo cristal de iodeto de sódio que age como um detector ativado pelo Tálcio (NaI (Ti)), são proporcionais à intensidade da luz. Logo, as medidas em volts são separadas em classes, dependendo da magnitude, de modo a se obter um espectro de energia dos raios gama incidentes (Hansen, 1975).

Um processo de calibração permite que a quantidade da radiação com energias de 1,46 MeV, 1,76 MeV e 2,62 MeV, medida em cintilações por segundo (cps), seja expressa em percentagem ou ppm. Costuma-se usar o termo "canal" para classes estreitas, às vezes com um único valor, e o termo "janelã" para classes mais largas (Hansen, 1975).

O gamaespectrômetro utilizado no levantamento aéreo foi o Radiation Solutions, modelo RS-500, de 256 canais espectrais, onde o espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para determinação precisa dos fotopicos de Potássio, Urânio e Tório. As radiações gama detectadas são somadas e as leituras reduzidas a uma única saída de 256 canais espectrais. As leituras são realizadas a cada segundo, resultando em amostragens a cada 63 metros (CPRM, 2010).

Neste método, os fatores mais relevantes que devem ser corrigidos após um aerolevante são: redução da radiação de fundo atmosférico (conhecido como *background*), correção do efeito Compton, correção altimétrica, correção do tempo morto e conversão dos dados corrigidos em concentrações (ppm e %) (Ferreira & Souza, 2002). Também devem ser considerados os efeitos ambientais que podem influenciar no espectro de raios gama.

Na radiação do *background*, segundo Minty (1997), as radiações que não são originárias do terreno recebem o nome de *background*, pois elas não têm ligação com a geologia local e devem ser removidas dos dados em campo. Existem quatro tipos de *background*: fluxo atmosférico, do radônio, da aeronave, cósmico e produtos oriundos de explosões atômicas e acidentes nucleares (Ferreira & Souza, 2002).

O gás Radônio se escapa dos solos e das fissuras das rochas e vai para atmosfera devido a mudanças de temperatura e pressão, aumentando assim o *background*. Já a razão espectral acontece onde a intensidade relativa do fotópico da série do urânio é usada para determinar a contribuição ao espectro do U no terreno e do Rn no ar, necessitando assim, de

um espectro multicanais que tenham a correção do tempo morto, calibragem de energia e remoção dos *backgrounds* da aeronave e cósmico (Ferreira & Souza, 2002).

Usa-se também os detectores *upward-looking*, que requer somente uma janela de dados. Então o espectro de um segundo pode ser integrado sobre as janelas dos quatro canais convencionais depois da calibração da energia, sendo suficiente apenas a calibração e remoção do *background* cósmico e da aeronave nos quatro canais (MINTY et al., 1997).

A radiação cósmica e *background* da aeronave é empregada pelo fato de existirem radiações secundárias que são geradas pelas reações do sol com os átomos e moléculas na atmosfera, provenientes do sistema solar. Esta radiação relaciona-se com a aeronave e com o detector e produz uma radiação gama conhecida como *background* cósmico (FERREIRA & SOUZA, 2002). Na porção mais baixa da atmosfera esta radiação tem uma distribuição constante de energia, mas decresce em amplitude com o decréscimo da altitude. O *background* da aeronave refere-se à radiação devida a quantidade traços de K, U e Th na aeronave e equipamentos, bem como do próprio detector. Esta componente de *background* é constante (MINTY, 1997).

Segundo Ferreira & Souza (2002), o efeito Compton pode interferir nas janelas de baixa energia do U e do K em virtude do espalhamento Compton na superfície e no ar, uma energia de 2,62 MeV do  $^{208}\text{Ti}$ , pode interferir nas janelas de baixa energia do U e do K. O mesmo pode ocorrer com fontes de U que interferem no espectro de baixa energia do K, assim como na janela de alta energia do Th, em resposta a radiação do  $^{214}\text{Bi}$  na série do decaimento do U.

Devido ao pequeno poder de resolução dos detectores de NaI, as contagens decorrentes de uma fonte pura de k podem ser registradas no canal U. As taxas de contagens nas janelas de baixa energia oriundas de fontes puras de U e Th são conhecidas como *Stripping factors* e denominadas  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , onde:  $\alpha$  é igual a taxa das contagens nas janelas de U e Th, a partir de uma fonte pura de Th;  $\beta$  é igual a taxa das contagens nas janelas de K e Th, a partir de uma fonte pura de Th;  $\gamma$  é igual a taxa das contagens nas janelas de K e U, a partir de uma fonte pura de U. Foi introduzido os termos a, b e c para denominar os *stripping factors* inversos. Assim,  $\alpha$  é a interferência do U na janela do Th;  $\beta$  é a interferência do K na janela do Th;  $\gamma$  é a interferência do K na janelado U (FERREIRA & SOUZA, 2002).

Estas constantes de calibração são importantes porque permitem transformar as contagens medidas em levantamentos aerogamaespectrométricos em concentrações (ppm e %) (FERREIRA & SOUZA, 2002).

A correção altimétrica é necessária devido a temperatura e a pressão. Elas afetam a densidade e consequentemente, as propriedades atenuantes do ar. Segundo Minty (1997), em topografias planas e alturas que variam entre 50 e 250 metros a equação 5.2, representa as contagens de cada janela para o intervalo de alturas empregado em levantamentos aerogamaespectrométricos.

$$N = N_0 e^{-\mu^{H-h}} \quad \text{Eq. 5.2}$$

Onde:

$\mu$  – derivado empiricamente do coeficiente de atenuação de altura para uma dada energia;

$N_0$  – Contagem observada em condições normais de temperatura e pressão a uma altura  $h$ ;

$h, H$  – altura;

$N$  – Contagem corrigida para uma altura  $H$ ;

$e$  – constante de Euler.

A altura da equação citada anteriormente pode ser corrigida de acordo com normas da IAEA (1991). A altura equivalente no padrão de temperatura (273,15 K) e pressão (101,325 kPa), ou seja,  $h$  em CNTP, é dada pela equação 5.3:

$$h_{CNTP} = \frac{273,15 P h_{obs}}{(T+273,15)+(101,325)} \quad \text{Eq. 5.3}$$

Onde:

$h_{obs}$  – Altura observada sobre o nível do terreno;

$h_{CNTP}$  – Altura equivalente em condições normais de temperatura e pressão;

$T$  – Temperatura do ar em °C;

$P$  – Pressão barométrica.

Já o tempo morto deve ser corrigido, pois durante o tempo que os espectrômetros estão adquirindo dados, o detector deste precisa de um tempo para processar cada pulso recebido. Se um pulso chega ao detector enquanto ele está processando outro pulso, este é imediatamente rejeitado (MINTY et al., 1997). Um tempo morto típico é da ordem de 515  $\mu$ s/pulso e pode ser corrigido de acordo com a equação 5.4:

$$N = \frac{n}{(1-t)} \quad \text{Eq. 5.4}$$

Onde:

N – Taxa de contagem corrigida (contagem/segundo);

n- taxa de contagem observada (contagem/segundo);

t – tempo morto total para o intervalo de amostragem de um segundo.

Segundo IAEA (1991), o tempo morto pode ser experimentalmente medido pela conexão do espectrômetro a dois detectores idênticos. O total da taxa de contagem é, primeiramente, medido com cada detector conectado ao espectrômetro separadamente, e posteriormente com ambos conectados ao espectrômetro. A diferença entre a taxa de contagem medida com ambos os detectores conectados e individualmente, resulta numa medida direta do tempo morto do equipamento. A equação que representa o tempo morto por pulso é a equação 5.5:

$$t = \frac{(2N - N_t)}{Nn_t} \quad \text{Eq. 5.5}$$

Onde:

N – Média da taxa de contagem total do detector individual

N<sub>t</sub> – total da taxa de contagem medida com ambos os detectores conectados;

t- tempo morto por pulso.

Através de voos sobre áreas-teste, onde são conhecidas as concentrações dos radioelementos, é possível transformar as contagens por segundo em concentrações de ppms.

Minty et al. (1997) defende que as contagens dos radioelementos não são dependentes apenas de suas concentrações no terreno, mas também dos equipamentos usados e da altura do levantamento, como já dito anteriormente. Logo, para uma melhor interpretação de dados, as contagens são convertidas para concentração (nível médio de abundância dos radioelementos). A conversão é feita pela divisão de cada um dos três canais corrigidos pelo coeficiente de sensibilidade. O coeficiente de sensibilidade de cada janela é calculado pela equação 5.6:

$$S = \frac{N}{c} \quad \text{Eq. 5.6}$$

Onde:

N- Background médio corrigido e contagem corrigida pela altura nominal do levantamento;

C – Concentração média no terreno;

S – Coeficiente de sensibilidade.

Outra correção que deve ser feita são os efeitos ambientais que, segundo Ferreira & Souza (2002), podem influenciar a espectrometria de raios gama. A vegetação por exemplo pode influenciar pois, dependendo do tamanho da cobertura vegetal podem reduzir a radiação emitida em até 35%. A temperatura e a pressão afetam diretamente na densidade do ar, afetando em cerca de 30% a radiação.

Ferreira & Souza (2002) apontam que a precipitação radioativa de partículas geradas pelos filhos do Rn pode induzir a um aumento de mais de 2000% na concentração de U do terreno, a umidade do solo também pode alterar a radiação emitida. Ferreira & Souza (2002) ressaltam que outros fatores podem influenciar nas medidas aerogamaespectrométricas, como o equilíbrio radioativo que influencia nas medidas quando se tem um sistema geoquimicamente fechado, ou seja, tem que ser em um sistema onde se saiba qual é o total do pai na série de decaimento apenas sabendo a medida de qualquer filho.

Os detectores portáteis ou aerotransportáveis são considerados de geometria  $2\pi$  e geometria  $4\pi$ , ou seja, aquela que a fonte engloba todo o detector afetando assim as medidas e o volume das amostras que é afetado devido à densidade e coeficiente de absorção. E por fim, a soma e o empilhamento de pulsos que ocorrem quando dois raios gama alcançam simultaneamente o detector e são interpretados pelo aparelho como apenas um raio (FERREIRA & SOUZA, 2002).

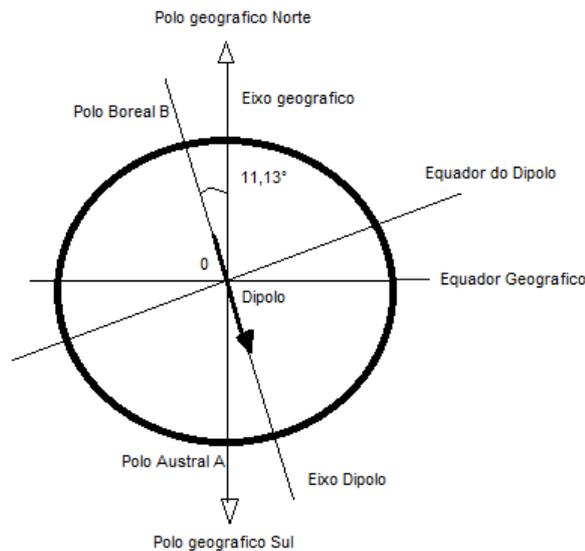
#### 5.2.4 Magnetometria

Segundo Kearey et al. (2009), medidas efetuadas na superfície da Terra sugerem que o campo magnético terrestre pode ser aproximado pelo campo produzido por um momento de um dipolo localizado no seu centro. Este momento aponta para o Pólo Sul geográfico e

localiza-se sobre um eixo que forma um ângulo de 11,5 graus com eixo de rotação da Terra (Figura 6).

O objetivo de um levantamento magnético é investigar a geologia com base nas anomalias do campo magnético da Terra resultante de propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície. Tem ampla aplicação, desde engenharia, arqueologia ate investigação geológica regional (KEAREY et al., 2009).

Figura 6 - Dipolo cujo campo é uma aproximação do campo magnético terrestre.



Fonte: adaptado de Silveira (2014).

A magnetização das rochas pode ser classificada em dois tipos: magnetização induzida e/ou residual remanescente. A induzida é provocada pelo campo da Terra e a remanescente é adquirida ao longo da história geológica das rochas. A força magnética (F) entre dois polos magnéticos ( $m_1$  e  $m_2$ ) pode ser expressa pela lei de Coulomb, como mostra a equação 5.7 (LOWRIE, 2007):

$$F = K \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad \text{Eq. 5.7}$$

Onde,

K = constante proporcional à permeabilidade magnética do meio que separa os polos;

r = distância entre os mesmos.

A força do campo magnético (H) é definida como a força exercida por um polo de força m em um determinado ponto, sendo expressa pela equação 5.8 (KEAREY et al., 2002):

$$H(r) = K \frac{m}{r^2} \quad \text{Eq. 5.8}$$

O momento magnético de um dipolo é o produto entre dois polos de força (m) e a distância entre eles (L), podendo ser representada pela equação 5.9 (DOBRIN E SAVIT, 1988).

$$M = m \cdot L \quad \text{Eq. 5.9}$$

Deste modo, qualquer material magnético submetido a um campo externo apresentará polos magnéticos induzidos em sua superfície. Essa magnetização tem a mesma direção do campo indutor e sua intensidade (J) é considerada a força induzida por unidade de área, podendo ser expressa pela equação 10 (DOBRIN E SAVIT, 1988).

$$J = K \cdot H \quad \text{Eq. 5.10}$$

Onde,

K = susceptibilidade magnética.

Neste contexto, a susceptibilidade magnética é a medida da capacidade de um determinado material se magnetizar a partir de um campo magnético. Na geologia sabe-se que minerais como magnetita, pirrotita e ilmenita têm susceptibilidade magnética suficientemente forte, estão presentes na maioria das rochas cristalinas, em superfícies rúpteis (falhas e fraturas) e produzem anomalias detectáveis (Tabela 3). Assim sendo, a susceptibilidade das rochas é proporcional a quantidade e distribuição desses minerais (TELFORD et al., 1990).

Então, as medidas magnéticas podem estar relacionadas com aspectos do embasamento ou ocorrências de rochas intrusivas básicas. Diques, *sills* falhados, deformados e truncados e corpos mineralizados são causas frequentes de anomalias magnéticas (TELFORD et al., 1990).

O levantamento magnético é uma técnica relativamente rápida, econômica e utilizada amplamente na busca de depósitos de minerais metálicos, mapeamentos geológicos, entre outros (KEAREY et al., 2002).

Todavia, para que as feições geológicas sejam ressaltadas é necessário fazer-se algumas correções nos dados magnetométricos com vistas a eliminar as variações sistemáticas que ocorrem durante a aquisição dos dados (REEVES, 2005). Após esta etapa ainda são utilizados filtros que realçam os alvos de interesse (ROLIM, 2001). Desta forma, o sinal analítico pode ser utilizado para delimitar os contatos geológicos auxiliando no mapeamento geológico (BLAKELY, 1996).

**Tabela 3 - Suscetibilidade magnética de rochas.**

	Susceptibilidade Magnética (k) $10^{-3}$ SI	
	Variação	Média
<b>Rochas sedimentares</b>		
Dolomita	0 – 0.9	0.1
Calcário	0 – 0.3	0.3
Arenito	0 – 20	0.4
Folhelhos	0.01 – 15	0.6
<b>Rochas Metamórficas</b>		
Anfibolito		0.7
Xisto	0.3 – 3	1.4
Filíto		1.5
Gnaisse	0.1 – 25	
Serpentinito	3 – 17	
Quartzito	0 – 35	4
Ardósia		6
<b>Rochas Ígneas</b>		
Granito	0 – 50	2.5
Riolito	0.2 – 25	
Olivina-Diabásio	0 – 50	2.5
Dolerito	1 – 35	17
Diabásio	1 – 160	25
Pórfiro	0.3 – 200	55
Gabro	1 – 90	60
Basalto	0.2 – 175	70
Diorito	0.6 – 120	70
Piroxênio	85	125

Fonte: adaptado de Telford et al., (1990).

O magnetômetro é formado por uma série de equipamentos utilizados para medir o momento magnético de cada uma das amostras para um determinado valor de campo aplicado. Os componentes básicos deste equipamento são: o sensor de campo magnético, fonte de corrente, eletroímã e sistema para movimentação da amostra (KEAREY et al., 2002).

O magnetômetro funciona basicamente deste modo: a fonte fornece corrente elétrica para bobinas do eletroímã que geram um campo magnético na região onde se encontra a amostra. A amostra é magnetizada e produz um campo induzido que é captado pelo sensor. Através deste campo induzido e de um modelo teórico, obtemos o momento magnético da amostra para cada valor de campo aplicado (KEAREY et al., 2002).

No levantamento aéreo foi utilizado um magnetômetro do tipo Vapor de Césio. Este possui um conjunto de sensor haste acoplado à cauda da aeronave (CPRM, 2010).

A interpretação dos dados magnetométricos também é orientada de acordo com o objetivo de análise e interpretação. Depende diretamente das feições, lineamentos e componentes rasas ou profundas a serem destacadas. Diferentes mapas são gerados por meio dos *softwares*, a fim de que a melhor interpretação possa ser obtida.

A integração de dados geológicos e geofísicos auxilia na visualização e interpretação. No método magnetométrico, adota-se os seguintes tipos de mapas:

- Mapa das Anomalias Regionais e Residuais - Para a separação das componentes regional e residual foi aplicado um filtro gaussiano, que funciona como uma passa banda. Porém, os dados de saída apresentam uma distribuição gaussiana (normal) e o ponto de corte escolhido é o desvio padrão da função gaussiana (OLIVEIRA, 2008). Antes da aplicação desse filtro, após o pré-processamento, foi gerado o espectro de potência radial médio dos dados. A sua análise permitiu a escolha dos intervalos de número de ondas adequados para a separação das componentes em rasas e profundas. Esse número de onda corresponde a um ponto onde a curva do espectro, aproximada por retas, corresponde à junção da reta, cujos parâmetros (inclinação e intercepto) correspondem às componentes espectrais.

- Mapa de Campo Magnético Anômalo Total (CMA) - O campo magnético anômalo representa as anomalias magnéticas situadas na superfície e em subsuperfície. É obtido pela remoção do campo magnético terrestre do campo magnético total medido no levantamento. A resposta magnética observada no campo magnético anômalo pode ser de natureza tanto profunda, quanto de natureza rasa. O mapa do campo magnético anômalo (CMA) apresenta as

anomalias com padrão dipolar. Este caráter dificulta sua interpretação e faz com que os produtos derivados sejam mais adequados (BLAKELY, 1996).

- Mapa de Anomalias Reduzidos - O método de redução ao polo (BARANOV, 1957) é utilizado em áreas de altas e médias latitudes, recalculando a intensidade dos dados como se os dados estivessem localizados no polo, onde a magnetização induzida é vertical, com o objetivo de tornar independente da direção da indução do campo geomagnético (TELFORD et al., 1990). A redução ao polo geralmente ajuda na interpretação, pois transforma uma anomalia de caráter dipolar em uma anomalia monopolar. Este filtro desloca o máximo da anomalia, fazendo com que se localize exatamente em cima do corpo causador. Este filtro, quando aplicado aos dados, não produz bons resultados onde a magnetização não é induzida pelo campo magnético atual, a não ser que se conheça a atitude da magnetização remanescente.

- Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) dos Valores Magnéticos Anômalos - O sinal analítico é formado por uma combinação de gradientes horizontais e verticais de uma anomalia magnética. Segundo Nabighian (1972), uma importante característica do sinal analítico é que ele independe da direção de magnetização da fonte. A amplitude do sinal analítico está simplesmente relacionada com a amplitude de magnetização. Nabighian (1972) também mostra que o sinal analítico direciona para os limites do corpo magnético. A imagem do sinal analítico determina parâmetros geométricos, como localização de limites (geológicos e estruturais), profundidade dos corpos, com o realce dessas estruturas (anomalias). As amplitudes do sinal analítico apresentam como sua principal característica o posicionamento das anomalias magnéticas resultantes imediatamente acima dos limites da estrutura.

- Aplicação da Transformada de Fourier - A filtragem é uma operação matemática que procura ressaltar ou atenuar feições de interesse, suprimindo as de caráter indesejável ou ruidosas. Antes da aplicação da transformada de Fourier é necessário a criação de um *grid* inicial, de maneira que atenda às seguintes propriedades: seja quadrado, tenha dimensões aceitáveis ao procedimento da transformada de Fourier e não possua amostragens irrealis (*dummies*) (Geosoft, 2010). A transformada rápida de Fourier é um método que decompõe o sinal dentro de uma série de funções senos e cossenos de diferentes frequências. Esta pode ser calculada rapidamente em computadores, com a utilização de algoritmos baseados nesta

transformada, sendo o mais conhecido denominado de transformada rápida de Fourier, em inglês *Fast Fourier Transform* - FFT.

- Espectro de Potência Radial - O espectro de potência radial é um método que oferece a possibilidade da melhor determinação das frequências de corte (altas e baixas) em função do filtro escolhido. Esta análise realiza-se no domínio da frequência (BONGIOLO, 2011). O espectro de potência radial é criado através de uma malha, onde se evidencia energia relativa ao número de onda e a sua direção, por meio de uma função bidimensional. O cálculo do espectro radial tem como resultado um gráfico que contém o número de onda no eixo x e o logaritmo do espectro de potência no eixo y (BONGIOLO, 2011). Spector e Grant (1970) criaram equação 5.11, a fim de correlacionar o espectro de energia de anomalias e a profundidade média dos corpos:

$$(E(K)) = 4\pi M^2 (e^{-2hk})(1 - e^{-tk})(S^2(k)) \quad \text{Eq. 5.11}$$

Onde:

E(k) – energia potencial do sinal;

M – Momento magnético;

h- profundidade estatística do topo das fontes;

k – número de onda radial;

t – altura do corpo causador da fonte;

S(k) – comprimento horizontal do corpo.

Ao comparar o fator de profundidade ( $e^{-2hk}$ ), com o fator horizontal ( $S^2(k)$ ) e com o fator de extensão do corpo ( $1 - e^{-tk}$ ), Spector e Grant (1970) concluíram que o fator profundidade do topo das fontes domina o espectro, principalmente em bandas de baixa frequência. Dessa maneira, o espectro de energia pode ser simplificado conforme as equações 5.12 e 5.13:

$$E(r) \approx Ae^{-2hk} \quad \text{Eq. 5.12}$$

$$\ln(E(r)) \approx -2hk + A' \quad \text{Eq. 5.13}$$

Onde:

A e A' - coeficientes constantes;

h – profundidade média do topo do corpo fonte;

k – número de onda radial.

A análise do espectro radial pode ser utilizada como estimativas na determinação de profundidade de fontes, separando-as através de seu espectro em fontes rasas, profundas e intermediárias (Bongiolo, 2011).

### 5.3 Contexto Geológico

#### 5.3.1 Geologia Regional

O Escudo Sul-rio-grandense abrange o centro-sul do estado do Rio Grande do Sul. Constitui-se de rochas ligadas aos estágios da orogênese Brasileira compreendendo grande parte sul da Província Mantiqueira (HEILBRON et al., 2004).

Segundo Heilbron et al. (2004), a Província Mantiqueira estende-se do sul do Uruguai ao nordeste do Brasil e apresenta o registro de unidades tectônicas arqueanas, paleoproterozóicas, mesoproterozóicas e a evolução do Neoproterozóico na América do Sul. No Rio Grande do Sul, no Escudo Sul-rio-grandense o Cinturão Dom Feliciano é a faixa aflorante da Província Mantiqueira.

Segundo Chemale Jr (2000), o Escudo Sul-rio-grandense pode ser subdividido em quatro unidades geotectônicas que pertencem ao Cráton Rio de La Plata e ao Cinturão Dom Feliciano. A parte representada pela Cráton Rio de La Plata é o Bloco Taquarembó e as porções representadas pelo Cinturão Dom Feliciano são os terrenos São Gabriel, Tijuca e o Batólito de Pelotas.

A área de estudo compreende parte do Terreno São Gabriel, granitos tardi a pós-orogênicos e Bacia do Camaquã. O Terreno São Gabriel, também chamado de Cinturão Vila Nova (CHEMALE Jr., 2000), é o único terreno neoproterozóico de assinatura juvenil do Escudo Sul-rio-grandense (BORBA, 2006), e corresponde a um terreno acrescionário do escudo no ciclo Brasileiro (HARTMANN et al., 2000). É composto por gnaisses cálcico-alcalinos juvenis cortados por metagranitóides, ambos englobados no Complexo Cambá, intrusivos em uma sequência Vulcano-sedimentar (Complexos Palma/Bossoroca) (HARTMANN et al., 2007).

### 5.3.2 *Geologia Local*

A geologia da área de estudo (Figura 7) é composta pelo Complexo Bossoroca Bacia do Camaquã, Bacia do Paraná, Complexo Metamórfico Vacacaí, Complexo Estratiforme Máfico-ultramáfico, Complexo Cambaí, Suíte Granítica Caçapava do Sul e Granito São Sepé.

#### Complexo Bossoroca

O Complexo Bossoroca é dividido em duas Sequências: Campestre e Arroio Lajeado. A Sequência Campestre é constituída por rochas vulcanoclásticas do Neoproterozóico, intercaladas com rochas porfiríticas provenientes de derrames de lava com composição andesítica. As rochas vulcanoclásticas são representadas por fragmentos que variam de pó a lápili, com domínio de tufos a pó. O metamorfismo predominante nesta região é da fácies xisto verde, porém, posteriormente com a intrusão de corpos graníticos foi gerado uma auréola de metamorfismo de grau mais elevado (fácies hornblenda e hornfels).

Segundo Soares (2014), a sequência Arroio Lajeado é composta por xistos magnesianos, serpentinitos, metabasaltos, metagabros, metacherts, formações ferríferas bandadas, metatufos e metargilitos. É composta, também, por rochas ultrabásica e básicas, com corpos lenticulares de serpentinito associados a xistos magnesianos (PORCHER & LOPES, 2000). Essa sequência faz contato com a Sequência Campestre por meio de uma falha transcorrente com movimentação dextral associada a uma zona de cavalgamento.

Remus (1998) a partir de estudos em zircões determinou que os metadacitos da Sequência Campestre têm idade de cristalização de  $756 \pm 14$  Ma (U-Pb em zircão via SHRIMP) e cerca de 700 Ma para o metamorfismo regional dinamo-termal, que afetou essa sequência. Vieira (2015) a partir do método Sm/Nd obteve idades de extração do manto de cerca de 1,7 Ga para a Sequência Arroio Lajeado, onde evidências geoquímicas indicam a divisão do embasamento Transamazônico na região.

#### Complexo Metamórfico Vacacaí

O Complexo Metamórfico Vacacaí é dividido por Porcher e Lopes (2000) em associações metassedimentares agrupadas no Complexo Passo Feio e Sequência Metamórfica Arroio da Porteira, bem como o Complexo Bossoroca. Segundo Bitencourt (1983), o Complexo Passo Feio compreende uma sequência de metapelitos, rochas metavulcanoclasticas, metavulcanicas anfíbolitos, mármore, rochas calcissilicáticas, quartzitos xistos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas metamorfizadas. A Sequência

Metamórfica Arroio da Porteira foi designada por Ramgrab & Wildner (1999) como uma associação de ardósias, filitos, quartzitos que formam uma sucessão de estratos pelíticos e arenopelíticos intercalados.

#### Complexo Estratiforme Máfico-Ultramáfico

O Complexo Estratiforme Máfico-Ultramáfico é representado pelo Gabro Mata Grande, Maciço Pedras Petras e Gabro Santa Catarina. São corpos formados por rochas grabróicas e ultramafitos, tipo dunitos, peridotitos e, subordinadamente, piroxenitos (Porcher e Lopes, 2000).

#### Complexo Cambaí

O Complexo Cambaí é formado por rochas gnáissicas, sendo dividido em três unidades por Porcher e Lopes (2000): i) Associação Básico-Ultrabásica Cerro da Mantiqueira; ii) Sequência Metamórfica Arroio Marmeleiro; e iii) Gnaisse Cambai. A primeira unidade é composta por rochas ultramáficas e anfibolitos que formam faixas alongadas com direção E-W a sudeste de Lavras do Sul. A segunda unidade é descrita por Kraemer (1995) sendo composta por xistos aluminosos, magnesianos e quartzitos intrudidos por apófises de rochas graníticas cálcio-alcálicas. E por fim, a terceira unidade que é a maior em termos de distribuição geográfica, compreende os gnaisses quartzo-feldspáticos com lentes de anfibolitos intercalados.

#### Bacia do Paraná

Segundo Gordon Jr. (1947), a Formação Rio Bonito, inserida no Grupo Guatá e se estende desde o Rio Grande do Sul até São Paulo. Medeiros & Thomaz (1973) definiram três intervalos para esta formação, sendo eles, o Membro Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis. A unidade correspondente ao primeiro registro pós-glacial da Bacia do Camaquã, tendo sido depositada diretamente sobre os depósitos glaciais do Grupo Itararé. A unidade composta por siltitos e folhelhos cinza, com intercalações de camadas de arenito (Schneider et al. 1974), com lentes de folhelhos carbonosos, argilitos e níveis de cimentação carbonática.

#### Bacia do Camaquã

Segundo Almeida et al. (2005) o Supergrupo Camaquã compõe a unidade estratigráfica que abrange todos os depósitos da Bacia do Camaquã. Ele se caracteriza como uma bacia *rift*, situada na região centro-sul do Rio Grande do Sul, aflorando cerca de 3.200

km<sup>2</sup> e com cerca de 10.000 m de espessura com falhas e dobras. Tem idade situada entre o Edicariano e o Eocambriano e preserva grande parte de suas estruturas sedimentares. Segundo Paim et al. (2000), a Bacia do Camaquã pode ser dividida em: Alogrupos Guaritas, Santa Bárbara, Cerro do Bugio, Bom Jardim e Maricá.

O Alogrupo Maricá ocorre somente no Terreno São Gabriel (BORBA et al., 2008) com aproximadamente 4000 m de espessura (PAIM et al., 2000) e idade máxima de deposição de  $601 \pm 13$  Ma, proposta a partir de determinações com zircões detríticos de arenitos arcoseanos (ALMEIDA et al., 2012). Segundo Pelossi et al. (2005) este Alogrupo divide-se em Passo da Promessa, São Rafael, Arroio América. A Formação São Rafael é composta por até 900 m de arenitos finos a muito finos, subordinadamente arenitos médios a grossos e pelitos (PELOSI & FRAGOSO-CESAR, 2003). E a Formação Arroio América tem de 300 a 550 m de espessura e é formada por arenitos e arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada, formada por migração de dunas subaquáticas. O Passo da Promessa é composto por 500 a 750 m de arenitos e arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada e alguns níveis conglomeráticos (PELOSI & FRAGOSO – CESAR, 2003).

O Alogrupo Bom Jardim trata-se de uma sequência com 2000 m de espessura composto por depósitos Vulcanossedimentares que se encontram em discordância angular com as rochas do Alogrupo Maricá. As rochas vulcânicas associadas aos sedimentos correspondem a Formação Hilário, a qual possui fluxos de lava, magmatismo hipabissal e depósitos vulcanoclásticos (epiclásticos e piroclásticos), associado a um magmatismo cálcio-alcalino de alto potássio, com composição básica a intermediária e assinatura shoshonítica (NARDI & LIMA, 2000). Os depósitos sedimentares são conglomeráticos, ricos em clastos de rochas vulcânicas básicas a intermediárias, e por depósitos turbidíticos associados a um ambiente aluvial-deltaico.

O Alogrupo Santa Bárbara é composto por ritmitos, intercalações de arenitos interpretados como depósitos de leques aluviais e planícies aluviais (ALMEIDA, 2005) pode ser dividido em Formação Pedra do Segredo e Serra dos Lanceiros (PAIM et al., 2000). A Formação Pedra do Segredo inicia sua deposição com arenitos finos e médios de estratificações cruzadas tabulares em corpos de geometria lobada interpretados como fácies de frente deltaicas de delta intra-estuarinos progradacionais.

O Alogrupo Guaritas é o último episódio deposicional da Bacia do Camaquã e é representado por uma sequência de 800 m de espessura. Este grupo pode ser dividido em duas formações (Pedra Pintada e Varzinha), depositadas em ambiente continental. A Formação

Pedra Pintada representa a base do Grupo Guaritas e sua sequência deposicional compreende fácies desérticas associada com rochas vulcânicas básicas a intermediárias com afinidade alcalina (PAIM et al., 2000). Os depósitos sedimentares são compostos por arenitos finos a médios, bem selecionados e relacionados com sedimentação eólica, lacustre e fluvial.

O Alogrupo Cerro do Bugio divide-se em Formação Santa Fé e Formação Acampamento Velho (PAIM et al., 2000). A Formação Santa Fé possui uma grande espessura de até 1200 m, composta por conglomerados e arenitos de ambientes aluviais, e uma sucessão de siltitos e arenitos finos (FAMBRINI et al., 2005). A Formação Acampamento Velho é a terceira unidade, da base para o topo, da Bacia do Camaquã. Ela é descrita por Almeida (2005) sendo composta por rochas vulcânicas ácidas de afinidade alcalina tipo fluxos de lava, ignimbritos e vulcanoclastos, relacionados com um ambiente tectônico extensional pós-orogênico. Sommer et al., (2005) sugerem uma idade de  $549,3 \pm 5$  Ma (U-Pb em zircão) para os riolitos desta formação. Ainda segundo o mesmo autor esta formação é representada por uma sequência bimodal formada por diferentes episódios vulcânicos na bacia.

#### Granito São Sepé

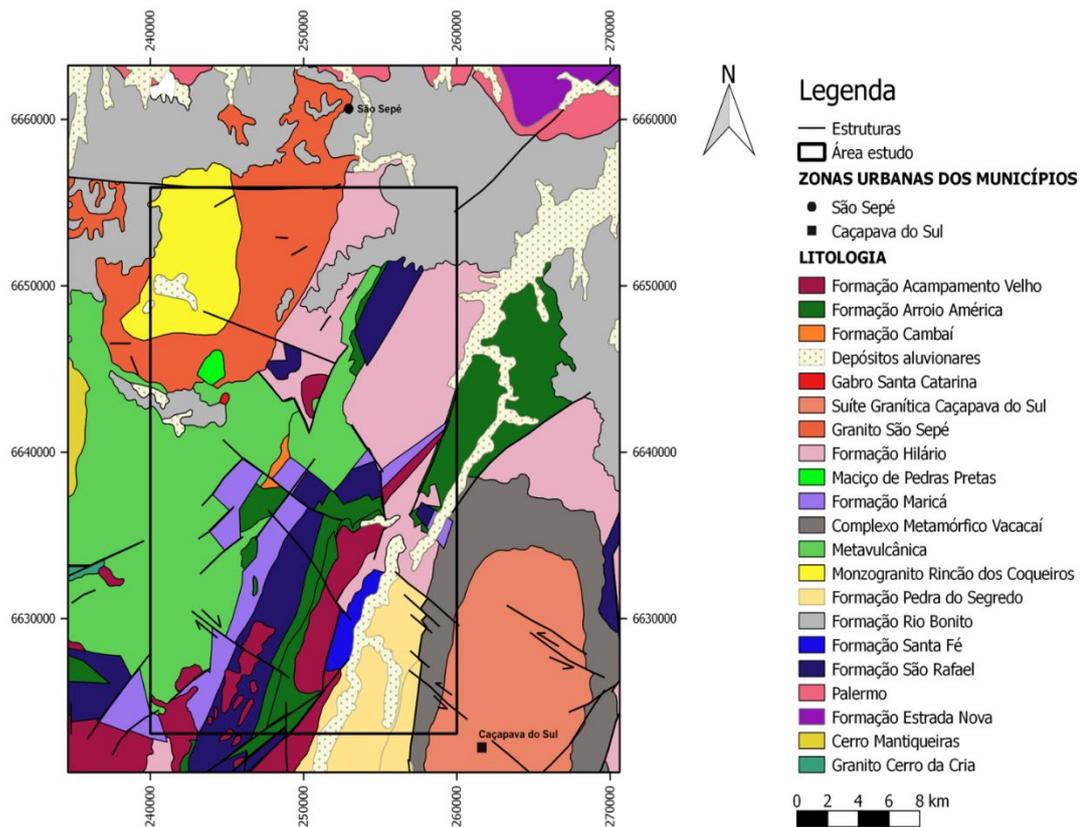
O Granito São Sepé, junto com os granitos Jaguarí, Macedo, Ramada e Cerro da Cria compõem o grupo de granitos pós-tectônicos da região estudada. Segundo Sartori (1979), o granito São Sepé tem forma alongada na direção NE-SW, partindo da cidade de São Sepé e estendendo-se para o sudoeste. É uma intrusão de epizona que exhibe grande variedade de texturas e zonação reversa de fácies petrográficas, com monzogranitos no centro e sienogranitos na borda. Petrograficamente, apresenta-se porfirítico contendo principalmente: plagioclásio, ortoclásio perítico, quartzo, biotita, hornblenda e minerais opacos. É entendido como um plúton composto ou múltiplo, ora como duas intrusões distintas designadas de granito São Sepé (sienogranito e microgranitos da borda) e Rincão dos Coqueiros (monzogranito). Segundo Porcher e Lopes (2000) o granito São Sepé ainda é intrusivo nas rochas da Sequência Metamórfica Vacacaí, da Alogrupo Maricá e da Formação Hilário, sendo também cortado por diques e veios de quartzo. Estes associados à atividade hidrotermal e com presença de pirita disseminada.

#### Suíte Granítica Caçapava do Sul

A Suíte Granítica Caçapava do Sul, representa um corpo plutônico intrusivo em unidades metamórficas (BITENCOURT, 1983), constituído predominantemente de granodioritos, monzogranitos, sienogranitos e tonalitos (NARDI & BITENCOURT, 1989).

Nardi & Bitencourt (1989) sugerem para a Suíte Granítica Caçapava do Sul três fácies principais definidas a partir de estudos petrográficos e geoquímicos desenvolvidos: biotitagránitoides, leucogránitoides e granitóides transicionais.

Figura 7 – Mapa geológico da área.



Fonte: extraído e modificado da CPRM.

#### 5.4 Validação dos dados aéreos

Os dados encontram-se em formato *grid*, tendo as correções iniciais já foram realizadas de acordo com CPRM, (2010). Neste houve uma validação dos dados brutos com ênfase à distribuição dos dados e das linhas de voo e à presença de *dummys*, efeito pepita (*nugget*), “picos” (*spikes*), ruídos do instrumento e valores negativos.

Toda esta validação auxiliou na determinação do melhor método de interpolação a ser usado. A apuração dos dados incoerentes foi feita em cima dos perfis e do método da quarta diferença (ressalta as altas frequências e substitui os 37 valores deste ponto retirado, pela diferença entre o segundo ponto anterior, e o segundo ponto posterior) (BLUM, 1999).

Além desta validação, as demais correções já explicadas anteriormente em materiais e métodos também foram realizadas, sejam elas: redução da radiação de fundo atmosférico (*background*), correção do efeito Compton, correção altimétrica, correção do tempo morto, conversão dos dados corrigidos em concentrações (% e ppm), correção de IGRF e correção de variação diurna.

O método de interpolação utilizado para gerar os grids foi o método da mínima curvatura (BRIGGS, 1974). Este ajusta uma superfície de curvatura mínima para os pontos de dados. Uma superfície de curvatura mínima é a superfície mais suave possível que se ajustará aos valores de dados brutos. Ocorre uma estimativa com os valores do *grid* para os nós, uma vez que esta estimativa é baseada na distância média inversa dos dados.

### 5.5 Filtragem dos dados e interpretação dos mapas geofísicos

A interpretação dos dados gamaespectrométricos é feita de acordo com o objetivo de análise e interpretação. Diferentes mapas são gerados por meio dos *softwares Oasis Montaj*, com a finalidade de que a melhor integração possa ser obtida.

No método gamaespectrométrico adota-se os seguintes tipos de mapas:

- Mapas Ternários – trata-se de um mapa que associa diferentes cores a diferentes radioelementos. Existem dois tipos de coloração onde a RGB é um padrão que associa as cores vermelho, verde e azul ao Potássio (em %), Tório e Urânio (em ppm) respectivamente. O padrão CMY, por sua vez, considera as cores ciano, magenta e amarelo como base para composição do mapa. A legenda do mapa é colocada de acordo com um triângulo equilátero, onde cada vértice está associado a uma cor, logo a um elemento. A cor branca representa altas contagens dos três elementos, enquanto que a cor preta é associada às baixas contagens dos mesmos. Assim, como os mapas de razões, o mapa ternário é utilizado para ressaltar contrastes entre áreas com diferentes concentrações dos três elementos que podem não estar tão evidentes nos primeiros mapas, facilitando desta forma a interpretação dos dados finais (Ferreira & Souza, 2002).

- Razões - Os mapas de razões são gerados a partir dos primeiros mapas (contagens individuais dos radioelementos), onde temos as seguintes razões:  $\frac{eU}{eTh}$ ,  $\frac{eTh}{eK}$ ,  $\frac{eU}{eK}$ . Estes mapas são utilizados principalmente para evidenciar diferenças entre os canais em corpos graníticos. A variação de concentração é resultado principalmente da geologia local e pelo grau de intemperismo sofrido. A diferença nos teores dos radioelementos fica evidente principalmente

nos mapas de razão  $\frac{eU}{eK}$  e  $\frac{eTh}{eK}$ , enquanto que o mapa de razão  $\frac{eU}{eTh}$  apresenta contraste menos significativo (Ferreira & Souza, 2002).

- Fator F - É possível também analisar a razão entre os elementos radiométricos a partir do parâmetro F (Ferreira & Souza, 2002), já descrito anteriormente, uma vez que seu mapa realça o enriquecimento de Potássio e Urânio em relação ao Tório. Os valores do fator F vão ser baixos em áreas com forte intemperismo e alta lixiviação do potássio e altos valores para ambientes maciços rochosos que foram submetidos ao enriquecimento de potássio e urânio por alteração.

- Mapas Individuais e Contagem Total (CT) - Os primeiros mapas gerados a partir dos dados já corrigidos mostram apenas a distribuição espacial das contagens de cada um dos elementos radiométricos (K, Th e U) assim como a distribuição da Contagem Total (CT – somatória de todas as contagens dentro da janela de energias 0,41-2,81 MeV) (Ferreira & Souza, 2002).

Após a geração dos mapas aerogeofísicos, com a compilação do mapa geológico, foi realizada a interpretação dos dados gerados. Deste modo foi possível obter uma melhor visualização dos contrastes geofísicos e limites das litologias.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens fornecidas pela CPRM do projeto Aerogeofísico de 2010, possibilitaram a geração de mapas geofísicos pelo *software Oasis Montaj*, com o objetivo de caracterizar a área geologicamente a partir da comparação dos mapas aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos com o mapa geológico.

### 6.1 Mapas geofísicos – Aerogamaespectrometria

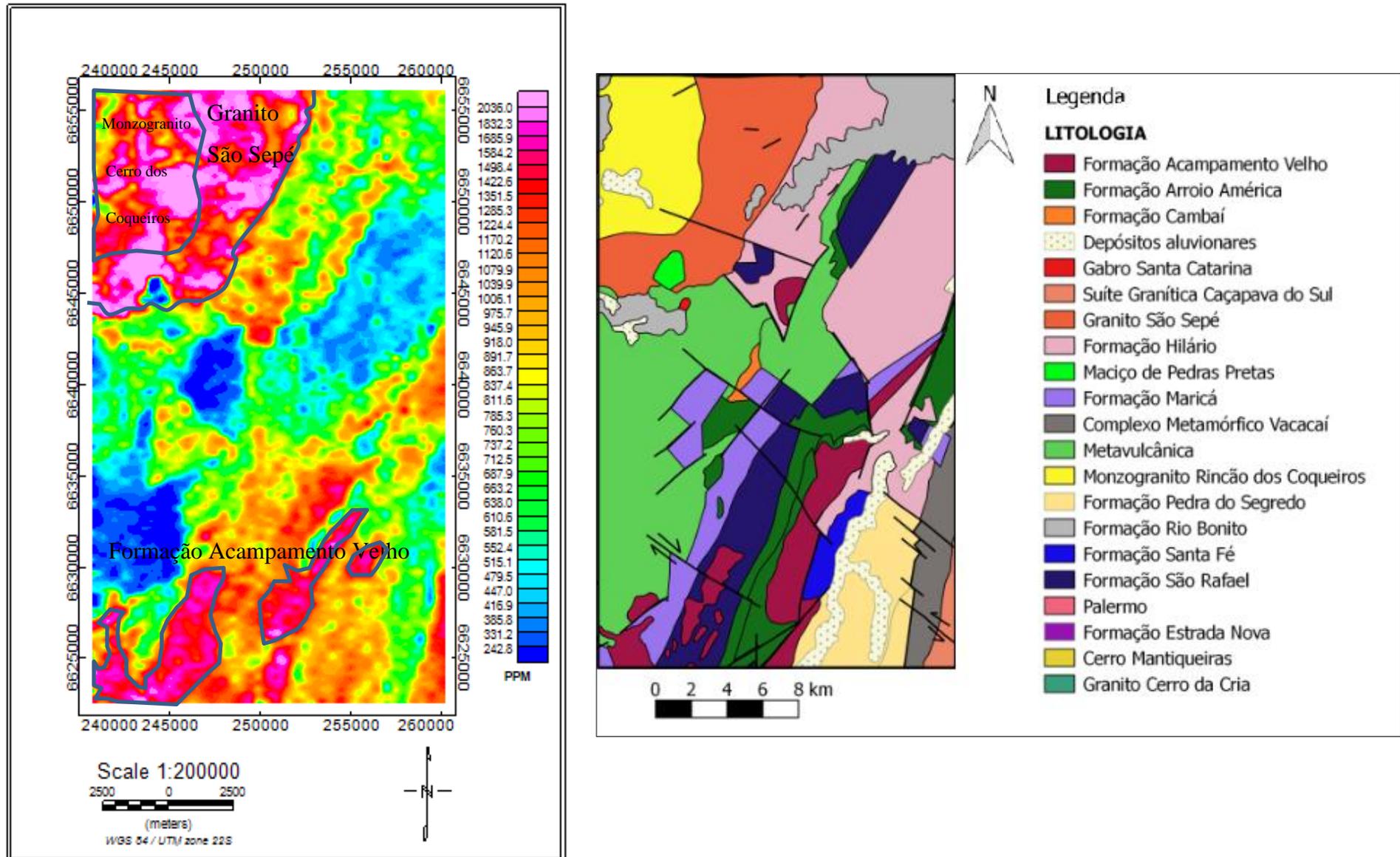
Foram gerados mapas gamaespectrométricos de contagem total de Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K), mapa Ternário de U, Th e K, de canais de Potássio (K), de Tório (Th) e de Urânio (U), de razões U/Th, U/K, Th/K e Parâmetro F.

### *6.1.1 Contagem Total*

O mapa de contagem total na Figura 8, evidência a somatória de todas as contagens de elementos individuais dentro da janela de energias 0,45 – 2,81 MeV. Observa-se que as unidades que compõem a área exibem contraste gamaespectrométrico significativo. A Formação Acampamento Velho, Monzogranito Rincão dos Coqueiros e o Granito São Sepé apresentaram as maiores contagens. Na Formação Acampamento Velho provavelmente tenha um maior sinal por conter minerais característicos de rochas vulcânica, predominantemente depósitos efusivos e piroclásticos ácidos associados a lavas e diques básicos (Wildner et al., 1999, 2002; Zerfass et al., 2000; Almeida et al., 2002; Sommer et al., 2003). Os Monzogranitos Rincão dos Coqueiros caracterizam-se segundo Gastal e Ferreira (2012), por conter abundância de fenocristais de plagioclásio e K-feldspato e o Granito São Sepé é formado por sienogranitos e microgranitos que contem grande quantidade de feldspatos potássicos. Os granitos se caracterizam por conter minerais que podem ter na sua estrutura química elementos radioativos (TELFORD et al., 1990), como Potássio, Tório e Urânio o que justifica as altas contagens nos Monzogranitos Rincão dos Coqueiros e no Granito São Sepé.

O maciço Pedras Pretas, Formação Hilário, Formação Rio Bonito e Formação Maricá são associadas a zonas de baixas contagens. O maciço Pedras Pretas por ser composto por rochas básicas a ultrabásicas segundo Porcher e Lopes (2000), a Formação Hilário descrita por Porcher e Lopes (2000), composta por basaltos, basalto-andesítico e andesitos. Estas unidades são compostas por rochas básicas, o que faz com que as contagens sejam baixas em relação aos granitoides. Já a Formação Maricá e Rio Bonito por serem compostas por rochas sedimentares, apresentam também uma baixa contagem.

Figura 8 - Mapa gamaespectrométrico de Contagem Total (CT) evidenciando a somatória dos elementos Urânio, Tório e Potássio e mapa Geológico da área.



### 6.1.2 Mapa Ternário

O mapa ternário na Figura 9 resalta contrastes entre áreas com distintas concentrações dos três elementos, facilitando a interpretação dos dados. A cor branca representa a alta contagem dos três elementos, enquanto que a cor preta é associada às baixas contagens dos mesmos.

Observa-se no mapa que a grande parte de potássio (K) se concentra nas rochas da Formação Rio Bonito e Granito São Sepé. O Urânio (U) se distribui nas porções sul e sudeste da área onde se localizam as rochas sedimentares da Formação Santa Fé, São Rafael e Pedra do Segredo.

O Tório (Th) se apresenta de forma dispersa no mapa, porém no Complexo Metamórfico Vacacaí e em depósitos aluvionares é possível observar uma maior concentração do que nas demais litologias. Os contatos são mascarados pelo acúmulo de sedimentos que geram zonas de alta contagem no mapa ternário entre as unidades. Segundo Oliveira (2014) as zonas com intemperismo acentuado geram uma concentração maior de potássio (K).

Deste modo, a distribuição dos radioelementos é heterogênea e contrastante com as unidades ao redor do Granito São Sepé e Formação Rio Bonito, as quais condizem com o esperado pela grande concentração de K-feldspato do granito e na Formação Rio Bonito pelo grande acúmulo de sedimentos.

### 6.1.3 Mapa de Concentração de Potássio (K)

As rochas que apresentam maior teor de potássio são aquelas que contém maior quantidade de minerais micáceos, feldspáticos e quartzo-feldspáticos. O potássio é medido em percentagem (%). Observa-se no mapa da Figura 10, que as maiores concentrações de K foram identificadas em duas áreas distintas. Uma correspondendo ao Granito São Sepé e ao Monzogranito Rincão dos Coqueiros e, outra a sul correspondendo a Formação Acampamento Velho e a Suíte Granítica Caçapava do Sul.

Nas porções nordeste, sudoeste e no centro do mapa as concentrações são baixas, como na Formação Rio Bonito, Formação Hilário e Metavulcânicas. Esse comportamento pode se desenvolver devido à topografia, pois o potássio segundo Wilford et al. (1997), apresenta alta mobilidade durante o intemperismo e condizente com litologias contendo potássio abaixo da média.

Figura 9 – Mapa gamaespectrométrico Ternário evidenciando as ocorrências dos elementos Urânio, Tório e Potássio e mapa Geológico da área.

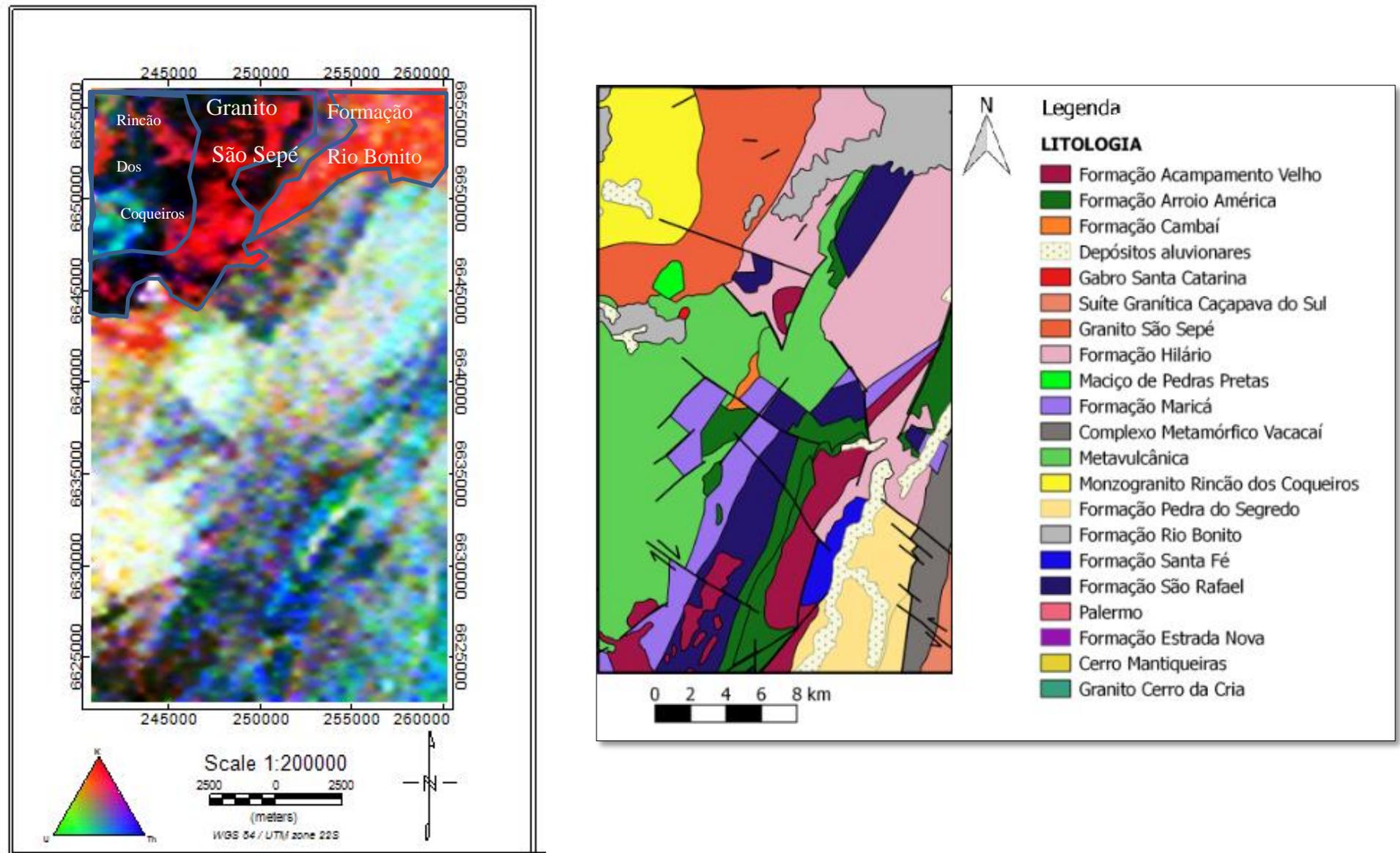
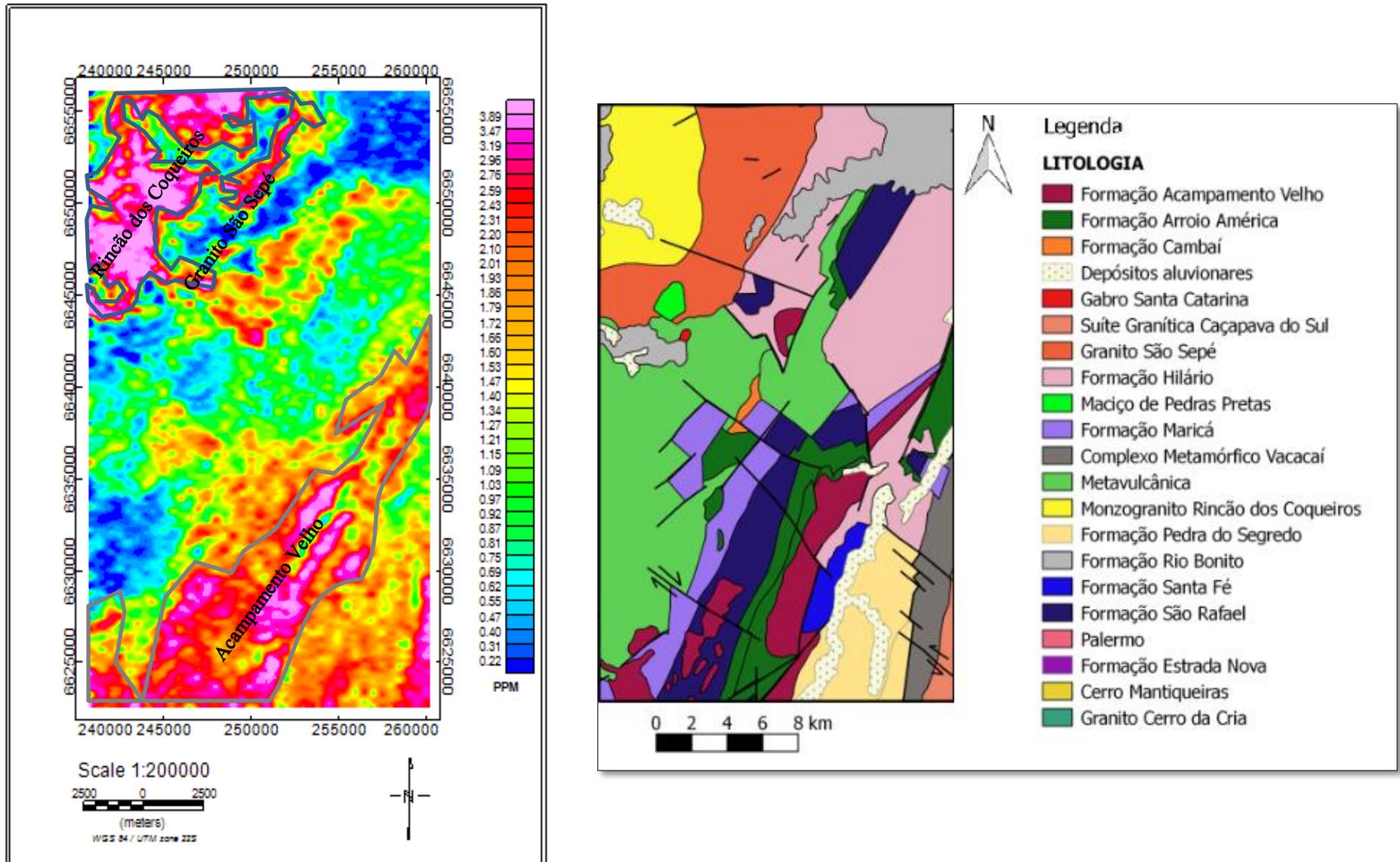


Figura 10 - Mapa gamaespectrométrico do Canal do Potássio (K) e mapa geológico da área.



#### *6.1.4 Mapas de Concentração do Canal do U e do Th*

A distribuição de urânio (eU) na área de estudo pode ser observada através da figura 11. Nela é destacada a distribuição acima da média por polígonos cinzas. Estas áreas em destaque correspondem, na porção norte da área, ao Monzogranito Rincão dos Coqueiros, ao Granito São Sepé (que apresenta a concentração mais alta) e a Formação Rio Bonito. Na porção Sudoeste da área é destacada a Formação Acampamento Velho.

O urânio pode formar minerais solúveis, diminuindo, assim, sua concentração. Mas pode também, formar minerais insolúveis que tendem a não migrar, exceto no caso de serem transportados. Já a solubilidade dos complexos de Tório geralmente é baixa, exceto em soluções ácidas (Langmuir & Herman 1980).

Na Figura 12, observa-se a distribuição de tório (eTh), em ppm, na área de estudo. Duas áreas foram identificadas (polígonos cinzas) como áreas contendo tório acima da média. Essas áreas estão aproximadamente nas mesmas áreas em que foi identificado o potássio anômalo, no Granito São Sepé, no Monzogranito Rincão dos Coqueiros e Formação Acampamento Velho. Contudo, áreas intermediárias também foram identificadas como nas Formações Rio Bonito, Arroio América e São Rafael. A estas relacionam-se os baixos topográficos susceptíveis a deposição do material erodido.

Segundo estudos desenvolvidos por Dickson & Scott (1997) sobre teor médio dos radioelementos nas rochas ígneas, as rochas félsicas possuem um teor mais elevado de radioelementos do que as rochas máficas ou ultrabásicas. Além disso, o urânio e o tório são comumente presentes em minerais acessórios, de várias rochas ígneas e metamórficas quartzo-feldspáticas (Boyle 1982).

Figura 11 - Mapa da Contagem do canal do Urânio (U) e mapa geológico da área.

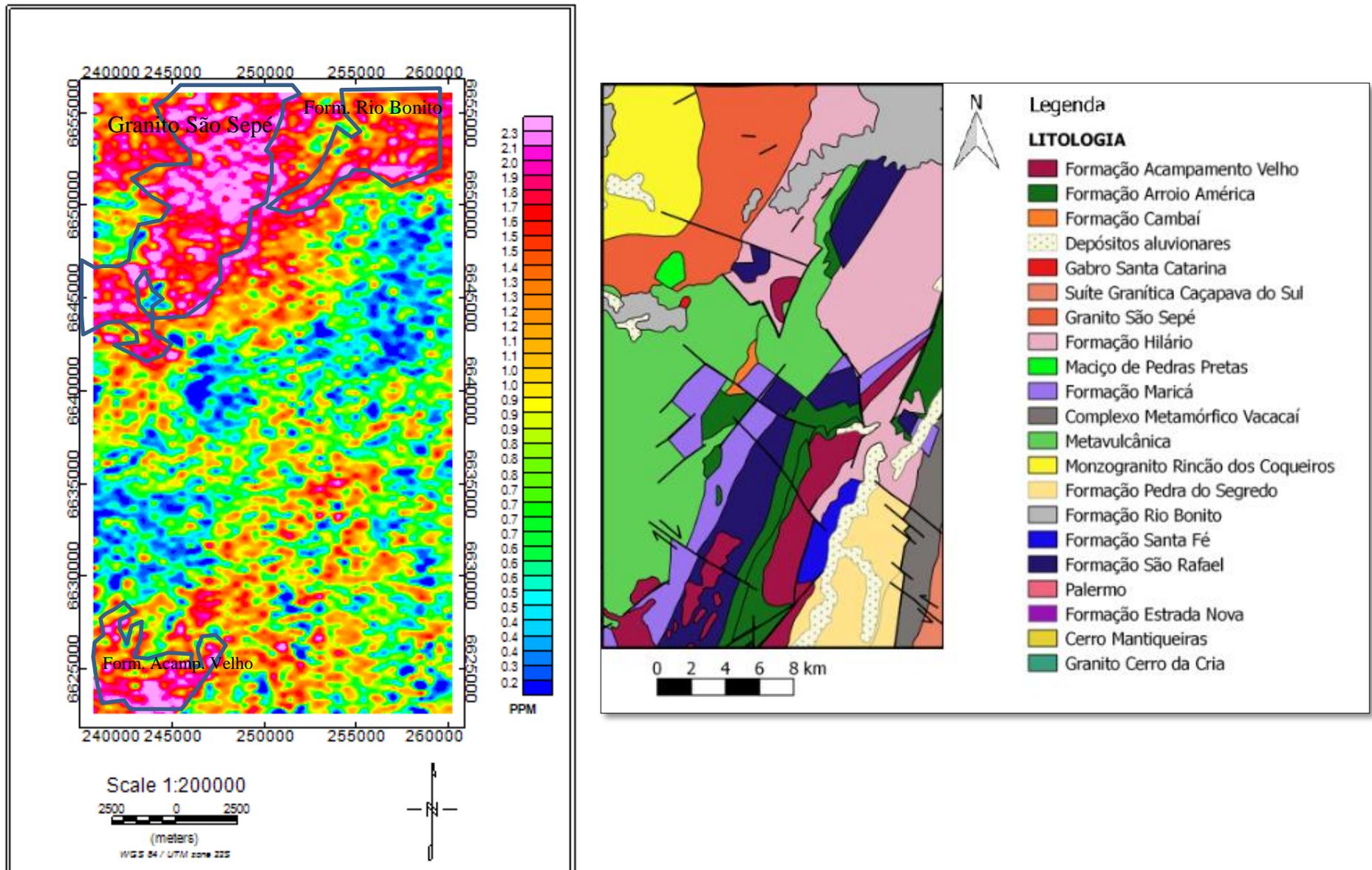
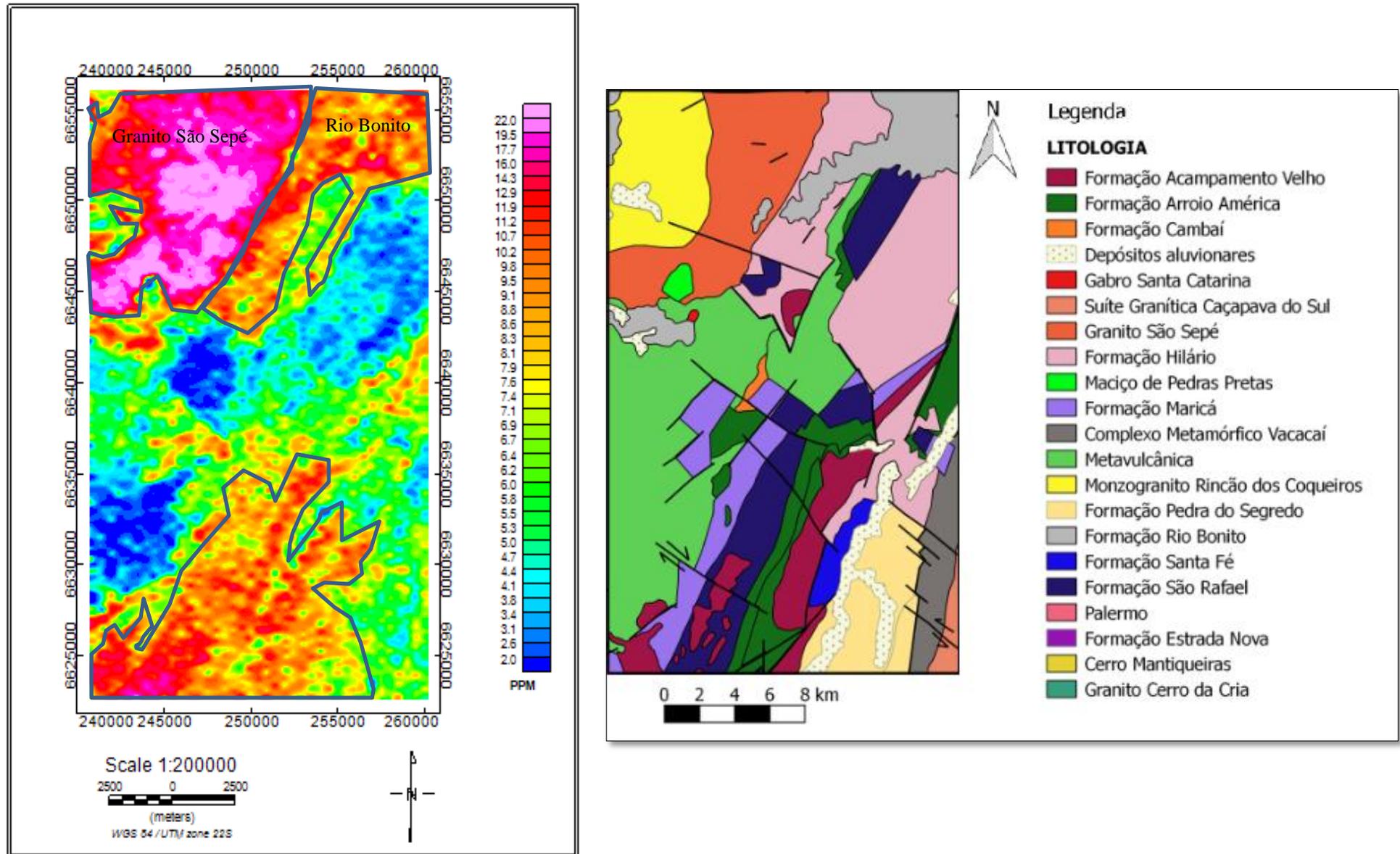


Figura 12 – Mapa de contagem do canal do Tório (Th) e mapa geológico da área.



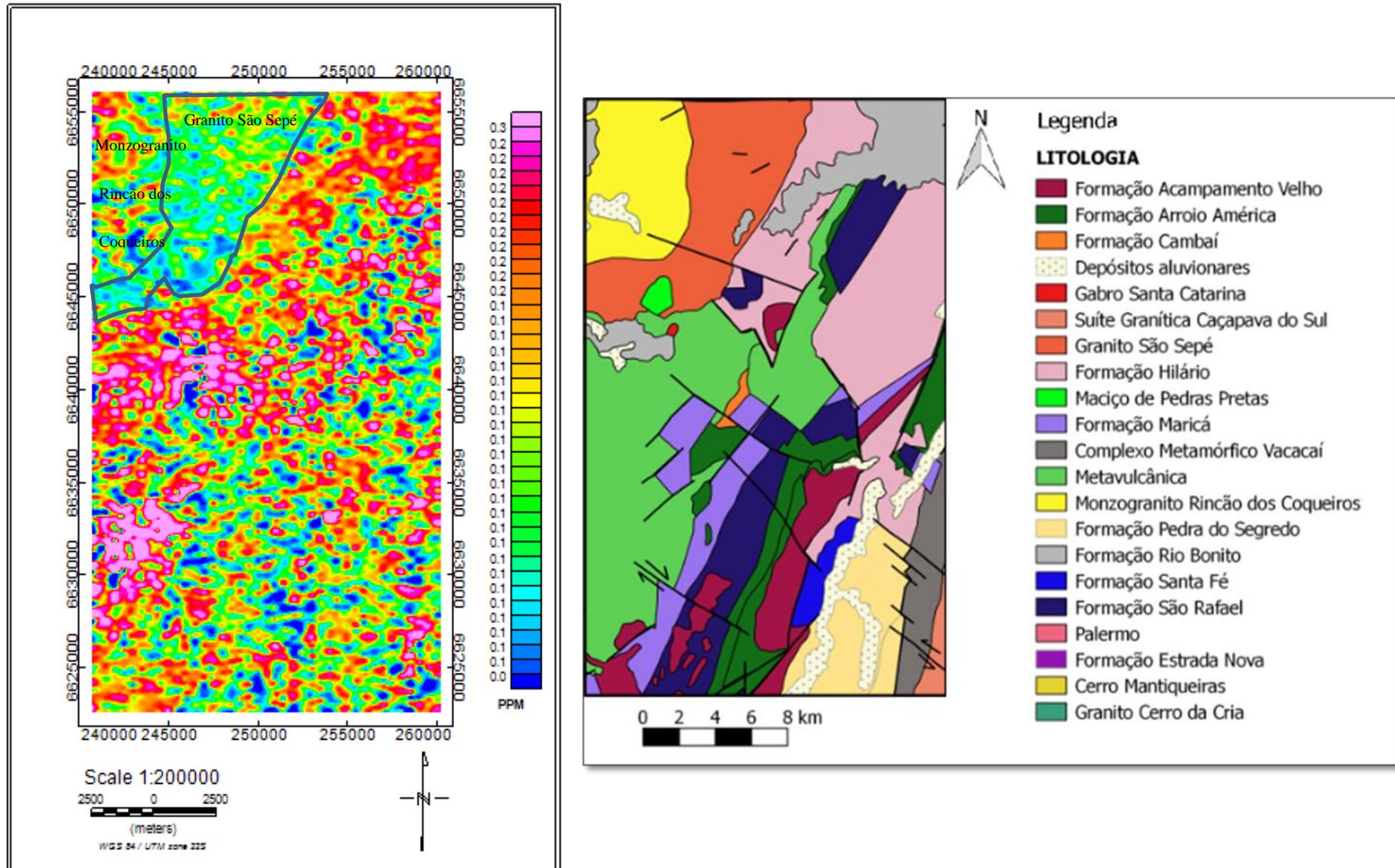
### 6.1.5 Razão U/Th

A razão entre canais é uma técnica realizada no processamento dos dados gamaespectrométricos para realçar o enriquecimento de um elemento em relação ao outro.

Deste modo, pode-se notar no mapa da Figura 13, que a razão de U/Th se destaca por estar mais elevada de nordeste pra sudoeste. Segundo Wilford et al. (1997), os elementos Th e U se concentram em materiais residuais o que pode justificar o sinal mais elevado, pois nesta região a topografia é menos elevada.

É possível notar a diferença da resposta radiométrica entre o Granito São Sepé e o Monzogranito Rincão dos Coqueiros. No Monzogranito Rincão dos Coqueiros há uma maior concentração da razão de Th/U do que no Granito São Sepé. Isto se deve, possivelmente, ao grau de diferenciação dessa suíte ígnea que apresenta zonação formada pela cristalização fracionada, mostrando um aumento de potássio e tório da margem da suíte para o centro (IAEA, 2003; Dickson & Scoot, 1997).

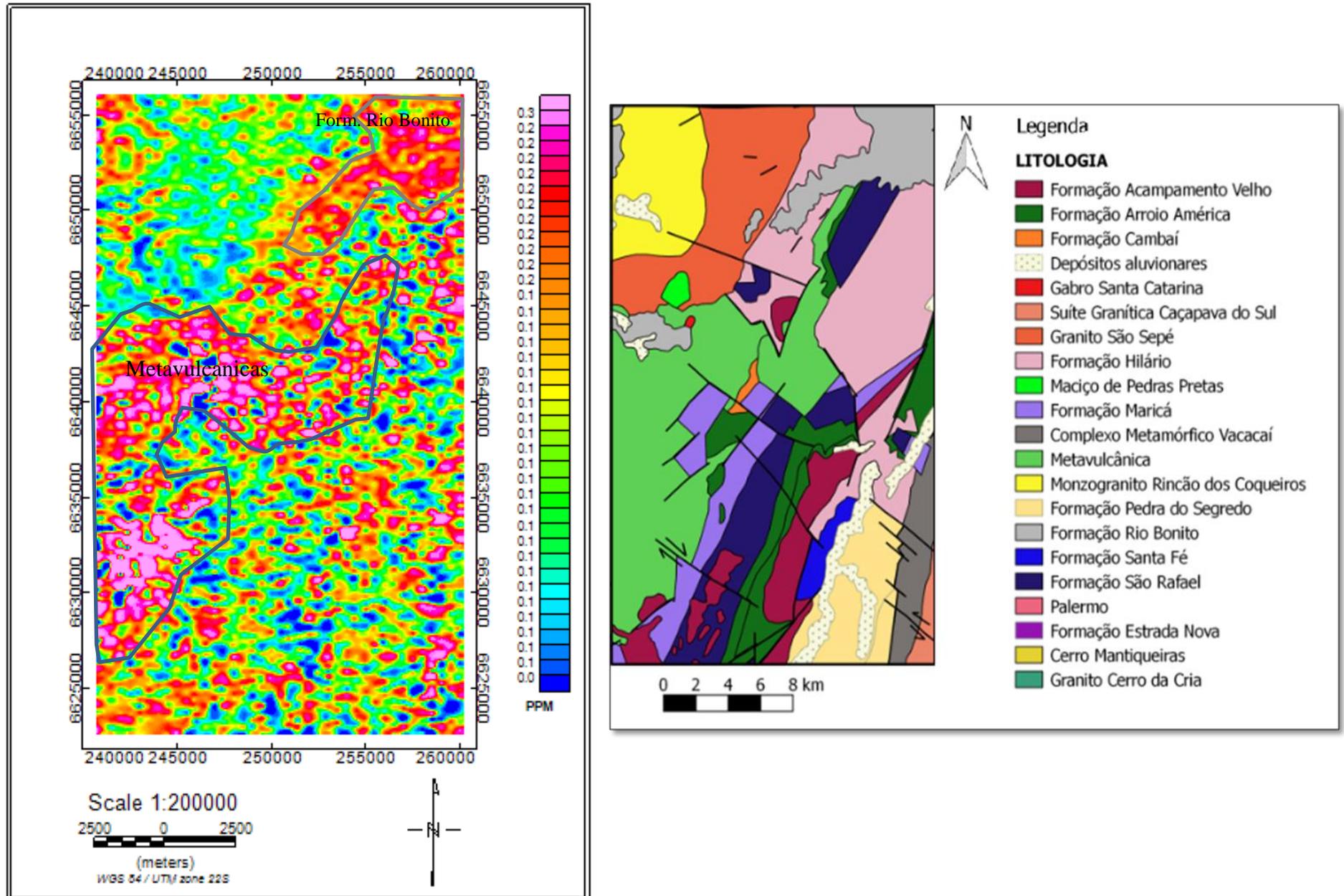
Figura 13 - Mapa da razão U/Th e mapa geológico da área.



### 6.1.6 Razão U/K

O mapa de razão U/K evidencia a variação da concentração entre esses dois elementos. Na Figura 14 é possível observar a variação de noroeste para sudeste da mesma forma que na razão U/Th. As áreas em destaque (polígonos cinza) incluem a Formação Rio Bonito e as Metavulcânicas. Assim, sugerindo um enriquecimento de potássio nas rochas destas formações devido a um possível intemperismo na área.

Figura 14 - Mapa da razão U/K e mapa geológico da área.



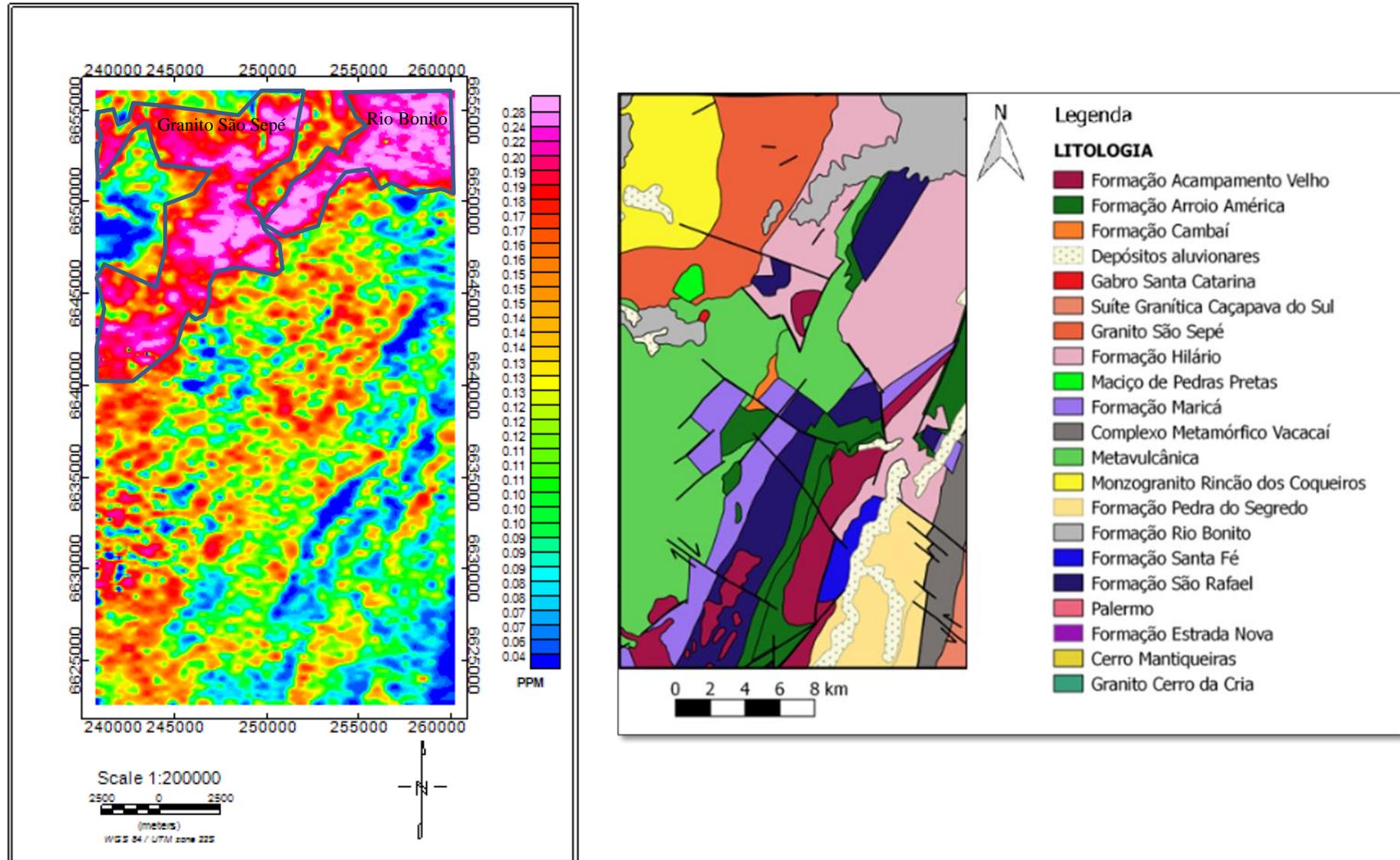
### 6.1.7 Razão Th/K

O mapa de razão Th/K evidencia variação de concentração entre esses elementos, auxiliando no predomínio de um ou outro tipo geoquímico de granitóides devido à alta concentração de um elemento em relação a outro (Dickson & Scott, 1997).

No mapa da Figura 15 se observa a distribuição do enriquecimento de tório em relação ao potássio. A distribuição é bem delimitada na Formação Rio Bonito e Granito São Sepé (polígono cinza). Assim, reforçando os estudos de Schneider et al. (1974) que sugerem que a Formação Rio Bonito é constituída por siltitos e folhelhos cinza, com intercalações de camadas de arenito, com lentes de folhelhos carbonosos, argilitos e níveis de cimentação carbonática. Litologias ricas em potássio.

Os dados apresentados também reforçam os estudos de Sartori (1979), onde sugere que o Granito São Sepé é porfirítico e contém principalmente plagioclásio, ortoclásio peráltico, quartzo, biotita, hornblenda e minerais opacos.

Figura 15 - Mapa da razão Th/K e mapa geológico da área.



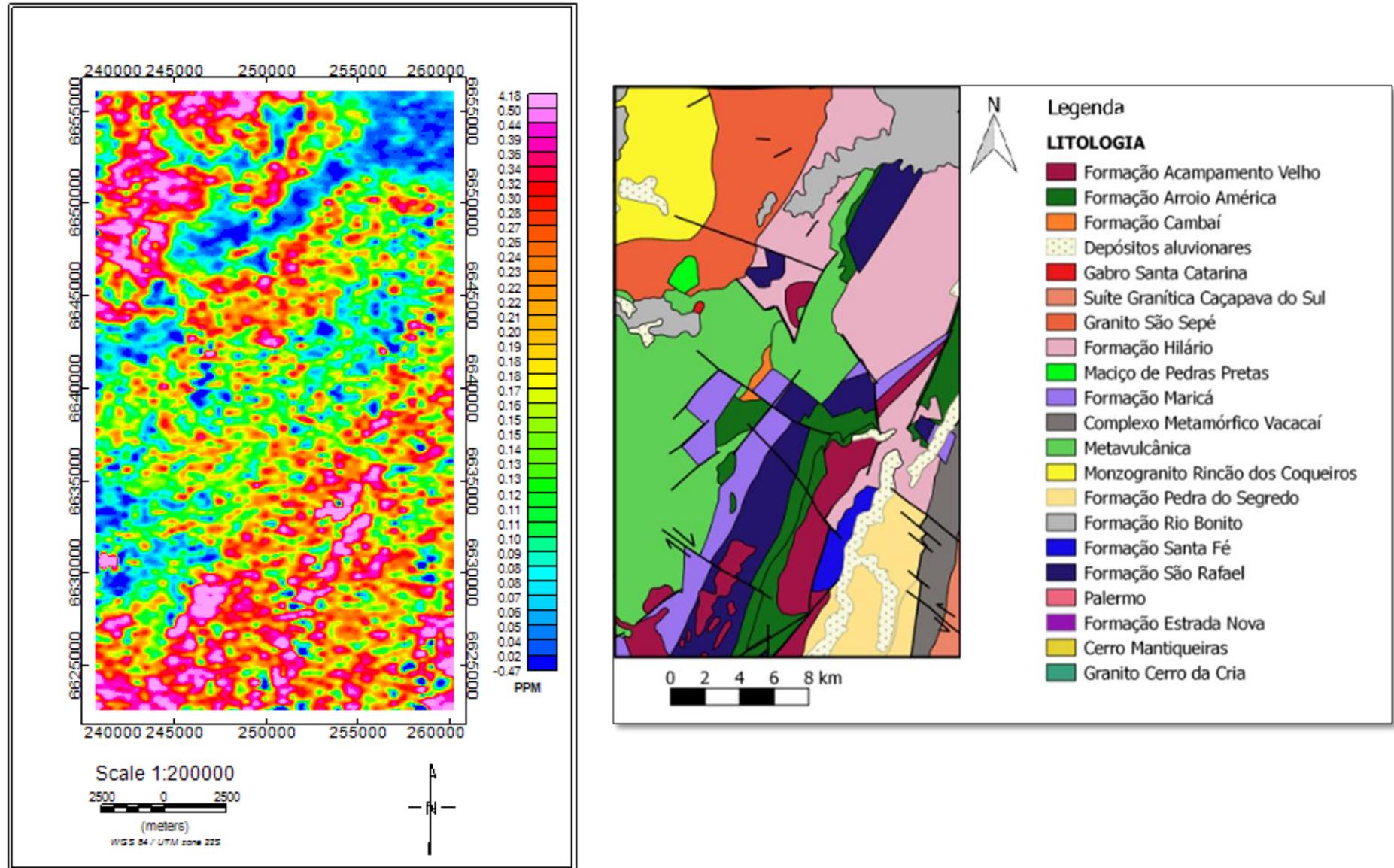
### 6.1.8 Parâmetro *F*

O mapa do parâmetro *F* realça o enriquecimento de potássio e urânio em relação ao tório. Áreas com forte intemperismo e alta lixiviação do potássio tendem a apresentar valores para o parâmetro *F* muito baixos, enquanto que maciços rochosos que foram submetidos ao enriquecimento de potássio e urânio por alteração hidrotermal tendem a apresentar valores altos (RAMOS, 2010).

O mapa do Fator *F* (Figura 16) tem uma correlação direta com o mapa da distribuição de potássio. O mapa apresenta variações pontuais que evidenciam os altos valores no Granito São Sepé, Monzogranito Rincão dos Coqueiros e as unidades encontradas a sudoeste da área, Formação Arroio América, São Rafael e Acampamento Velho. Nas rochas metavulcânicas podemos observar em alguns pontos valores altos, indicando altas concentrações de potássio.

Dickson & Scott (1997) sugerem que em solos sobre rochas ígneas máficas, tal qual as metavulcânicas da área de estudo, há perda maior de K, mas ganhos de U e Th. Estes últimos podendo representar concentrações de ferro durante a pedogênese. O aumento de U e Th com o intemperismo de rochas máficas podem mostrar um claro contraste em relação às rochas félsicas. No caso deste estudo, o Granito São Sepé, Monzogranito Rincão dos Coqueiros.

Figura 16 - Mapa do parâmetro F e mapa geológico da área.



## 6.2 Mapas Geofísicos Aeromagnetométrico

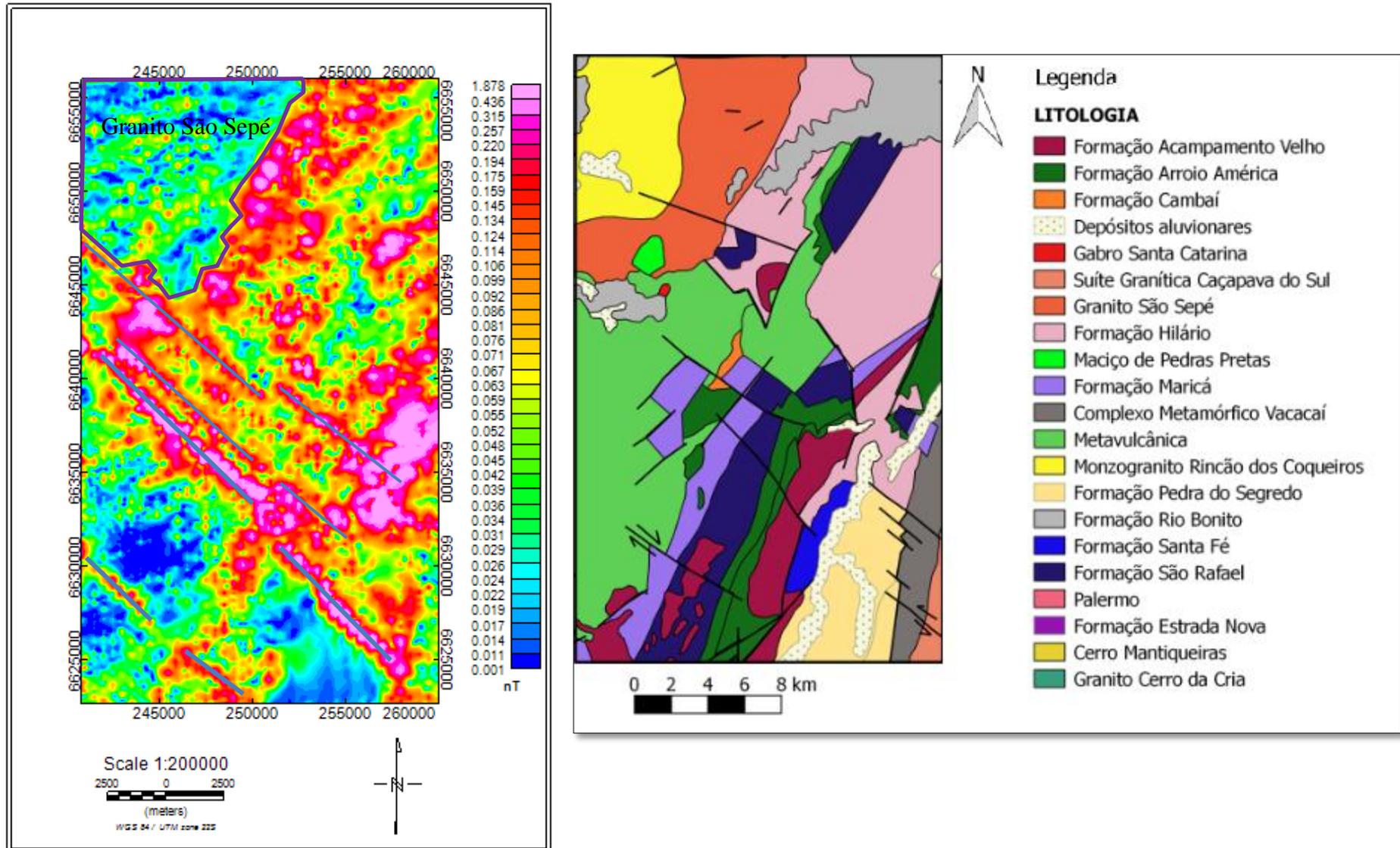
Com objetivo de detectar as discontinuidades e limites litológicos, foram construídos diferentes mapas aeromagnetométricos no *Software Oasis Montaj™*.

### 6.2.1 Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

O mapa de amplitude do sinal analítico (Figura 17) mostra as bordas das anomalias e auxilia na localização de limites, reforçando as litologias da área de estudo. Nota-se a mudança abrupta em algumas litologias, podendo assim analisar os limites das unidades. Também é possível observar uma anomalia com direção preferencial associada a lineamentos magnéticos que podem ser confirmados com o auxílio do mapa geológico.

As linhas em destaque representam os possíveis dipolos relacionados às principais litologias da área de estudo. Além disso, é possível identificar possíveis zonas de falhas ou fraturas por estruturas delineadas no mapa (linhas cinza). Contudo, estas inferências podem ser prejudicadas pela grande quantidade de artefatos (pequenas anomalias sem significado geológico) presentes no mapa.

Figura 17 - Mapa de amplitude de sinal analítico e mapa geológico da área.



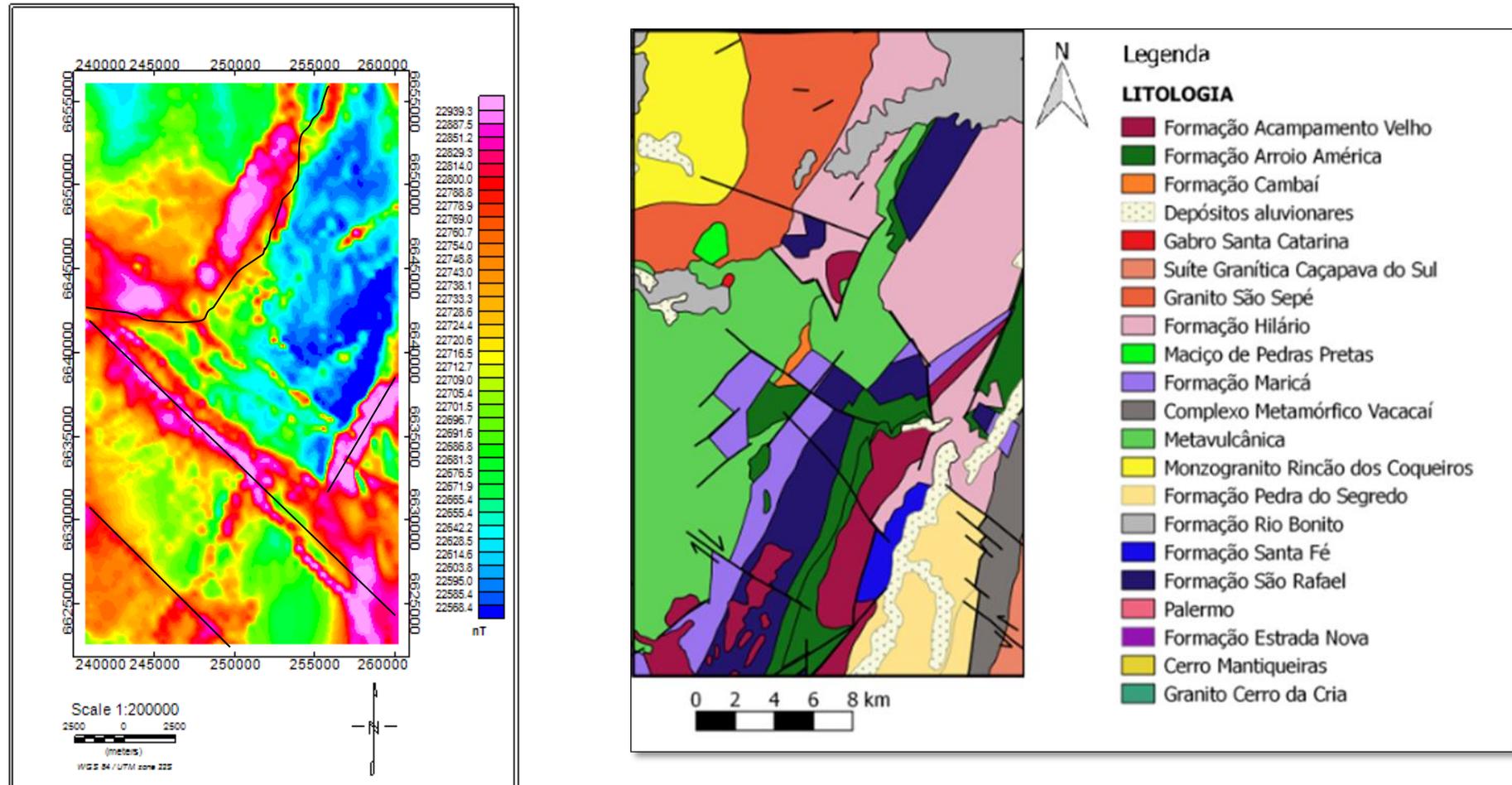
### 6.2.2 *Redução ao Polo Magnético*

O mapa de Redução ao Polo Magnético (Figura 18) visa deslocar o máximo da anomalia, fazendo com que se localize exatamente em cima do corpo causador, para localizar as fontes profundas que causam as anomalias.

As anomalias podem ser deslocadas devido a ação de declinações e inclinações do campo magnético. Serve também para a posição dos lineamentos, pois há diminuição ou baixos valores do campo elétrico anômalo total em locais de lineamentos.

Ao comparar com o mapa geológico percebe-se que os lineamentos estão condizentes com os lineamentos magnéticos detectados (linhas pretas). Nota-se o contorno demarcado pelo Granito São Sepé e a possível correlação com falhas e/ou fraturas com direção NW-SE.

Figura 18 - Mapa de redução ao polo magnético e mapa geológico da área.



## 7 CONCLUSÃO

A geofísica contribuiu de forma significativa para o entendimento da área de estudo, auxiliando na complementação de estudos geológicos e auxiliando na determinação dos limites litológicos.

A gamaespectrometria possibilitou a caracterização das anomalias obtidas relacionadas com a mineralogia das rochas, gerando uma melhor visualização da distribuição de elementos radiativos presentes nos minerais constituintes das rochas. Foi possível também através dos dados de radiometria gama, uma identificação da diferenciação da Suíte Granítica São Sepé, onde foi identificado o Monzogranito Rincao dos Coqueiros e o Granito São Sepé.

A magnetometria possibilitou a identificação de lineamentos principais e suas continuidades na área estudada, o que permite a sua utilização em estudos futuros que relacionem estas zonas com áreas de percolação de fluidos hidrotermais, ou ocorrência de mineralizações oriundas destes.

A análise dos mapas geofísicos gerados proporcionou avanço no conhecimento geológico da região, já que possibilitou a identificação dos domínios de unidades geológicas e a caracterização geológica, apresentando contribuições para o aprimoramento de informações para área estudada.

A partir do que foi discutido e descrito no decorrer do trabalho, observa-se que com o auxílio de geofísica terrestre em detalhe e estudos geoquímicos, se alcançaria resultados com melhor detalhamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. P. M.; CHEMALE, F. Jr. & MACHADO, A. **Late to Post-Orogenic Brasiliano-Pan-African Volcano-Sedimentary Basins in the Dom Feliciano Belt. Southernmost Brazil.** In: Ali Ismail Al-Joboury. (Org). *Petrology – New Perspectives and Applications*. Rijeka, inTech – Open Access Publisher, p. 73 – 130. 2012.

ALMEIDA, R. P. **Tectônica e Sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do supergrupo Camaquã (RS) e do grupo Caacupé (Paraguai Oriental).** São Paulo, IGc-USP, Tese de doutorado. 2005.

ALMEIDA T, SOUZA FILHO CR, ABREU FR & CRÓSTA AP. **Modelo exploratório para prospecção de depósitos de Zn-Pb utilizando dados de alta resolução espacial e espectral do sensor GEOSCAN MIKI: estudo de caso no depósito Salobro, Porteirinha (MG).** *Rev. Brasileira Geociências* 33(2-suplemento): 5-16. 2003.

BASTOS, R.O. **Radiação Gama natural de distintos litotipos e a estimativa de dose a eles associada, em municípios do leste do estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado, IG-UNICAMP, São Paulo, p.58. 2002.

BARANOV, V. **A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies.** *Geophysics*, 22, 359383. 1957.

BLAKELY, R. J. **Potential theory in gravity & magnetic applications.** Cambridge University Press, 441p. ,1996.

BITENCOURT, M.F. **Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico.** Simpósio Sul-brasileiro de Geologia. 1983.

BLUM, M. L. B. **Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral.** Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 229p, 1999.

BONGIOLO, A. B. **Contribuição ao estudo da bacia do Amazonas e seu embasamento através da magnetometria e gravimetria.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011.

BOYLE, R. W. **Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits.** *Developments in Economic Geology*, n.16, p. 71-78, 1982.

BORBA, A.W. **Evolução geológica da Bacia do Camaquã (Neoproterozoico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica.** In: Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, 2006.

BRIGGS I.C. **Machine contouring using minimum curvature.** *Geophysics*, 39:39-48, 1974.

BUFFON S.A. **Integração de dados geofísicos e geológicos na avaliação ambiental epidemiológica de radiações naturais (Radônio) no Escudo Sul-Riograndense.** Dissertação de Mestrado. PPGEM, UFRGS, p.150, 2002.

CARRINO, T. A.; SOUZA FILHO, C. R.; LEITE, E. P. **Cartografia do potencial de Au-Pd-Pt e Egp-Cr-Ni na região de Serra Leste (Carajás) utilizando-se a técnica acp e classificadores Hiperespectrais.** *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo, v. 38, n. 3, p. 501-513, 2008.

CHEMALE Jr., F., **Evolução Geologica do Escudo Sul-rio-grandense.** In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*, Editora UFRGS, Porto Alegre, 2000.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto aerogeofísico Escudo do Rio Grande do Sul: Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Vol. I, Texto técnico. Lasa Prospecções S/A, 260p. 2010.

CROSTA AP, SOUZA FILHO CR, AZEVEDO F & BRODIE C. **Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis.** *International Journal of Remote Sensing*, 24(21): 4233-4240. 2003.

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

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

FAMBRINI, G.L.; ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S. **Revisão litoestratigrafica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil.** *Estudos Geologicos*. V.15 Universidade Federal de São Paulo, SP. 2005.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; PAES-DE-ALMEIDA, R.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L. **A Bacia do Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozoico III – Eopaleozoico no Rio Grande do Sul: Escudos e Bacias, 2003**, Porto Alegre. Anais... 2003.

FERREIRA, F. J. F & SOUZA, J. L. **Gamaespectrometria - Fundamentos, Geoquímica e Distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solos**. LPGA, Dep. Geologia UFPR. Curitiba, 72 p.2002.

FORNAZZARI NETO, L.; FERREIRA, F. J. F. **Gamaespectrometria integrada a dados exploratórios em ambiente SIG aplicada à prospecção de ouro na folha Botuverá, SC**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, (2-suplemento), p. 197-208, 2003.

FORNAZZARI, L.N., FERREIRA, F.J.F., CAMPOS, A.F. **Gamaespectrometria aplicada à prospecção de ouro na folha Botuverá –SC**. In: Congresso internacional da sociedade brasileira de geofísica, 7, Salvador. Proceedings.p.621-624, 2001.

GASTAL, M.do C., FERREIRA, F.J.F. **Discussão dos processos de construção do Complexo Granítico São Sepé, RS: feições geológicas e petrográficas**. Instituto de Geosciencias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.

GORDON Jr., M. **Classification of the gondwanic rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia. Notas Preliminares e estudos, RJ, 1947.

GEOSOFT. **Sistema de Processamento, Análise e Visualização para a inversão 3D de Dados de Campos Potenciais**. USER GUIDE, 2010.

GEOSOFT. **Software de Mapeamento e Processamento de Dados Geocientíficos**. 2013.

GOTTARDO, E. **Geoprocessamento e integração de dados geológicos e aerogeofísicos para avaliação de favorabilidade mineral de depósitos auríferos em veios na região de Porto Nacional (TO)**. Porto Alegre, UFRGS, 2003, tese de doutorado, 545 p.

HARTMANN, L.A.;LEITE, J.A.D., SILVA, L.C., REMUS, M.V.D., MCNAUGHTON, N.J., GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R., SANTOS, J.O.S., VASCONCELLOS, M.A.Z. **Advances in SHIMP geochronology and their impact and understanding the tectonic and metallogenic evolution of Southern Brazil**. Australian Journal of the Earth Sciences 47.2000.

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

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A.C., NETO, M.C., SILVA, L.C. da, TROUW, R.A., JANASI, V.A. **Província Mantiqueira**. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 2004.

IAEA; **Guidelines for radioelement using gamma ray spectrometry data**. Viena 173p. 2003.

IAEA; **Airborne gamma ray spectrometer surveying**. Viena: International Atomic Energy Agency. 97 p. (Technical Report Serie, nº 323).1991

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2013. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 10/04/2017.

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**. Oficina de Textos, 2009.

KRAEMER, G. **Evolução magmática e tectônica da suíte ortometamórfica Imbicuí, região de Lavras do Sul (RS)**. Porto Alegre, UFRGS, dissertação de mestrado, 99 f. 1995.

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

LANGMUIR, D., HERMAN, J.S. **The mobility of thorium in natural Waters at low temperatures**. Geochim. Cosmoch. Acta.1980.

MATTÉ, V. **Geologia da Intrusão diorítica do Platô da Ramada (RS) e relações petrogenéticas com a Formação Acampamento Velho**. Porto Alegre. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

MEDEIROS, R. A. & THOMAZ, F. A. **Facies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito**. Congresso Nacional de Geologia, 27, Aracaju. Anais SBG, V.3. 1973.

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

MINTY, B. R. S.; LUYENDYK, A. P. J.; PRODIE, R. C. **Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry.** *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, v. 17, n.2, p.51-62, 1997.

NABIGHIAN MN, The analytic signal of twodimensional magnetic bodies with polygonal crosssection: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37(3): 507-517.1972.

NAIME, R. H. **Geologia, geoquímica e petrologia do complexo granítico Ramada e do granito Cerro da Cria.** Porto Alegre, UFRGS, dissertação de mestrado, pag 184.1987.

NAIME, R.H. & NARDI, L. V. S. **O Granito da Ramada, porção oeste do Escudo Sul-riograndense: Geologia, Petrologia e Geoquímica.** *Revista Brasileira de Geociências*, 2000.

NARDI, L.V.S.; LIMA, E.F. DE & GASTAI, M.C.P. **Magmatismo no grupo Bom Jardim: afinidade geoquímica e significado geotectônico.** In: Workshop sobre Bacias Molássicas Brasileiras, 1, São Leopoldo, Actas..., UNISINOS. P. 82-89. 1992

NARDI, L.V.S. & LIMA, E.F. **Magmatismo Shoshonítico e Alcalino da Bacia do Camaquã.** In: Holz, M & De Ros, L.F. (eds). *Geologia do Rio Grande do Sul.* Porto Alegre, CIGO/UFRGS. 2000.

NARDI, L.; BITENCOURT, M. de F. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS.** *Revista Brasileira de Geociências*, v.19, p. 153-169, 1989.

OLIVEIRA, D. S. **Interpretação de dados aerogeofísicos para exploração aurífera na área do Projeto Córrego do Sítio, NE do Quadrilátero Ferrífero.** Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 151p. 2014.

OLIVEIRA, R.G. 2008. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil).** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 411p.

PAIM, P. S. G; CHEMALE Jr., F. & LOPES, R. C. **A Bacia do Camaquã.** In: M Holtz and L.F. de Ros (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul.* UFRGS, P. 231-274. 2000.

PELOSI, A. P. M. R. **Evolução paleogeografica do Grupo Maricá, Neoproterozoico pré-600 Ma do Rio Grande do Sul.** São Paulo. Tese de Doutorado em Geociencias, Instituto de Geociencias, Universidade de São Paulo. 2005.

PELOSI, A.P.M.R. & FRAGOSO-CESAR, A.R.S. **Proposta Litoestratigrafica e considerações Paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozoico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Geociências. Vol 33. São Paulo, SP. 2003.

PORCHER, C.A. & LOPES, R.C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Cachoeira do Sul (folha SH.22-Y-A), Porto Alegre, CPRM – Serviço Geológico do Brasil.**2000.

RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W. **Pedro Osório, Folha SH.22-Y-C:** Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: CPRM. 1 CD-ROM. Escala 1:250.000. 1999.

RAMOS, L.N.R.A. **Dados Gamaespectrometricos e magnetometricos aéreos aplicados ao mapeamento geológico e a exploração de ouro na região de Fazenda Nova, porção leste do Arco Magmatico de Arenópolis- GO.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasilia. 2010.

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

REMUS, M. V. D., **Metalogênese do cobre e evolução crustal da região de Caçapava do Sul, RS.** Instituto de Geociências, UFRGS. In: Tese de Doutorado em Geociências, 1998.

RIBEIRO V.B.; MONTOVANI M.S.M. **Contribuição geofísica ao estudo do Batólito Granítico Santa Helena, sudoeste do Cráton Amazônico.** Geologia USP Série Científica, 12(2): 65-82. 2012.

ROLIM, S. B. A. **Resposta geofísica dos depósitos de ouro da porção central do Quadrilátero Ferrífero, MG.** Campinas, IG-UNICAMP, tese de doutorado, 290 f, 2001.

SARTORI, P.L.; RUEGG, N.R. **O complexo Granulítico de São Sepé, Rio Grande do Sul e a Evolução das rochas graníticas da região orogênica do sudeste.** Instituto de Geociências, USP.Bol. IG. Vol 10;69 – 78, 1979.

SAUNDERS, D. F.; TERRY, S. A.; THOMPSON, C. K. **Test of National Uranium Resource Evaluation gamma-ray spectral data in petroleum reconnaissance.** *Geophysics*, SEG, v. 52, p. 1547-1556, 1987.

SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. **Revisão estratigráfica da bacia do Parana**, In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS. 1974.

SHIEVES, R.B.K CHARBONNEAU B.W. FORD, K.L. **The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry-recognition of alteration related to mineralization.** In Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration. Edited by A.G.G. Gugins. 1997.

SILVA A M, PIRES ACB, MacCAFFERTY A, MORAES RAV de & XIA H. **Application of airborne geophysical data to mineral exploration in the uneven exposed terrains of the Rio das Velhas Greenstones Belt.** *Revista Brasileira de Geociências.*, 33(2-suplemento): 17-28. 2003.

SILVEIRA R L. **Estudo Geológico-estrutural em escala regional a partir do processamento de dados aerogeofísicos, em uma transecta NW na borda do sul do escudo sil Riograndense,rande do Sul- Brasil.** Trabalho de conclusão de curso, 2014.

SPECTOR, A. and GRANT, F.S. (1970) **Statistical model for the interpreting of aeromagnetic data.** *Geophysics*, v. 35, pp. 293–302.

SHIVES, R. B. K.; CHARBONNEAU, B. W.; FORD, K. L. **The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry recognition of alteration related to mineralization. reprinted in Geophysics, SEG**, v. 65, n. 6, p. 2001-2011, 1997.

SOARES M.S., KOPPE J.C., COSTA J.F.C.L., ROLIM S.B. **Interpretação das Anomalias de Potássio Hidrotermal e parâmetro F da Região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS.** *Esc. Minas, Ouro Preto*, V.57, 2004.

SOARES, M. S. **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do complexo Bossoroca, São Sepé (RS).** Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Escola de Engenharia, UFRGS, 187 p, 2001.

SOMMER, C.A. **O vulcanismo neoproterozoico do Platô da Ramada, região de Vila Nova do Sul, RS.** Porto Alegre. 194 p. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

SOMMER, C.A., LIMA, E.F., NARDI, L.V.S., FIGUEIREDO, A.M.G., PIEROSAN, R., **Potassic and low-and high-Ti mildly alkaline volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, southernmost Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences* 18 (3), 2005.

SOMMER, J. A. P. **Aplicação de sensoriamento remoto orbital no mapeamento de unidades vulcano-sedimentares no platô da Ramada, Vila Nova do Sul, RS.** Porto Alegre, UFRGS, dissertação de mestrado, 120 f, 2005.

SOUZA FILHO CR & CRÓSTA AP. **Geotecnologias aplicadas à Geologia.** Ver. Brasileira Geociências, 33 (2 suplemento): 1-4. 2003.

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

WILDNER, W. **Caracterização geológica e geoquímica das sequencias ultramáfica e Vulcano-sedimentares da região da Bossoroca- RS.** Instituto de Geociências, UFRG. In: Tese de Doutorado em Geociências, 1990.

WILDNER, W.; NARDI, L.V.S.& LIMA, E.F. **Post-collisional alkaline magmatismo n the Taquarembó Plateau: a well preserved Neoproterozoic-Cambrian plutono-volcanic association in southern Brazil.** *International Geology Review*, 41 (12); 1082-1098. 1999.

WILDNER, W.; LIMA E.F.; NARDI, L.V.S. & SOMMER, C.A. **Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaquã Basin succession in the southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism.** *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 188:261-283. 2002.

VIEIRA, L.Q. **Aplicação de sensoriamento remoto e geocondutímetro em-34 para prospecção de ouro nas imediações da mina da Bossoroca, Vila Nova do Sul, RS.** UNIPAMPA. In: Trabalho de Conclusão de Curso. 2015.

WILFORD J.R., BIERWIRTH P.N., CRAING M.A. **Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology.** AGSO. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2):201-206. 1997.

ZERFASS, H.; ALMEIDA, D.M.P. & GOMES, C.H. **Faciology of Acampamento Velho formation volcanic rocks (Camaquã Basin) in the region of Serra de Santa Bárbara, Cerro do Perau and Cerro do Bugio (Municipality of Caçapava do Sul – RS).** *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 12-16. 2000.