

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DANIEL ANTUNES COPPI

**CONTRIBUIÇÃO AO RECONHECIMENTO GEOFÍSICO NA
REGIÃO DA MINA OLARIA, LAVRAS DO SUL – RS A PARTIR
DE DADOS ELETRORRESISTIVOS E
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS**

Caçapava do Sul – RS

2019

DANIEL ANTUNES COPPI

**CONTRIBUIÇÃO AO RECONHECIMENTO GEOFÍSICO NA
REGIÃO DA MINA OLARIA, LAVRAS DO SUL – RS A PARTIR
DE DADOS ELETRORRESISTIVOS E
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS**

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

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane Heredia Gomes.

Caçapava do Sul

2019

C785c Coppi, Daniel Antunes

CONTRIBUIÇÃO AO RECONHECIMENTO GEOFÍSICO NA REGIÃO DA MINA
OLARIA, LAVRAS DO SUL - RS A PARTIR DE DADOS ELETORRESISTIVOS
E AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS / Daniel Antunes Coppi.

57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOFÍSICA, 2019.

"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. Eletorreistividade. 2. Aerogamaespectrométria. I.
Título.

DANIEL ANTUNES COPPI

**CONTRIBUIÇÃO AO RECONHECIMENTO GEOFÍSICO NA
REGIÃO DA MINA OLARIA, LAVRAS DO SUL – RS A PARTIR
DE DADOS ELETRORRESISTIVOS E
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS**

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

Trabalho de Conclusão de curso defendido e aprovado em: 1 de dezembro de 2019.

Banca examinadora:



Profa. Dra. Cristiane Heredia Gomes
Orientadora
(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Maximilian Fries
(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Rui Sergio Saraiva Duarte Junior
(UNIPAMPA)

Dedico esse trabalho aos meus pais por sempre acreditarem em mim e me apoiarem nos momentos difíceis

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar aos velhos pelo apoio e por sempre acreditarem em mim em todos esses anos.

Em segundo lugar, agradeço aos meus colegas de graduação Bruna, Guilherme, Matheus Cruz e Victor por me acompanharem nessa jornada de vários semestres. Agradeço a Barbara Caprara pelas discussões geofísicas que muito me ajudaram durante esses anos e por me apresentar aos dois jogos que mais consumiram minha vida durante a graduação (Gwent e Stardew Valley).

Agradeço Akio, Karina, Kodo e Shin por me acompanharem por várias madrugadas quando fugíamos do Deerclops e morríamos de frio por isso no Don't Starve.

E por último e não menos importante, agradeço a Cris Gomes por ter paciência de me orientar e também pelas várias oportunidades de trabalhar diretamente com os equipamentos geofísicos e por me acompanhar em tantos campos embaixo de um sol de 40°C.

“Se o conhecimento pode criar problemas,
não é através da ignorância que podemos
solucioná-los.”

Isaac Asimov

RESUMO

Este projeto trata-se de uma estudo geofísico que foi realizado na Mina Olaria, localizada no município de Lavras do Sul – RS. Esta região se localiza no Complexo Intrusivo Lavras do Sul, que é composto por granodioritos. Este trabalho tem como objetivo realçar estruturas geológicas presentes na região da Mina Olaria através de métodos geofísicos. Assim como, delimitar as anomalias relacionadas as mineralizações na região. Para esse fim, foram utilizados os métodos da eletrorresistividade e da aerogamaespectrométria. A partir dos dados obtidos foi possível observar a presença de uma descontinuidade geolétrica na região estudada, assim como as áreas com a presença de anomalias relacionadas com a presença de ação hidrotermal em regiões adjacentes da Mina Olaria. Foi possível concluir com isso que mesmo sem a presença de anomalias relacionados a mineralização aurífera na região de aplicação da técnica de caminhamento elétrico, foi possível observar a presença de uma falha ou fratura caracterizada a partir de uma descontinuidade geolétrica, além de regiões ao sudoeste da área de estudo com presença de altos anômalos para o mapa de Faror F, o que indica a possível presença de ocorrência aurífera na região.

Palavras-Chaves: Método da eletrorresistividade, caminhamento elétrico, Aerogamaespectrométria.

Abstract

This project is a geophysical study that was carried out at the Olaria Mine, located in Lavras do Sul - RS. This region is located in the Lavras do Sul Intrusive Complex, which is composed of granodiorites. This work aims to highlight geological structures present in the Mina Olaria region through geophysical methods. As well as delimiting the anomalies related to mineralizations in the region. For this purpose, the electroresistivity and aerogamapectrometry methods were used. From the obtained data it was possible to observe the presence of a geoelectric discontinuity in the studied region, as well as the areas with the presence of anomalies related to the presence of hydrothermal action in adjacent regions of the Mina Olaria. It can be concluded from this that even without the presence of anomalies related to gold mineralization in the region of application of the geoelectric technique, it was possible to observe the presence of a fault or fracture characterized from a geoelectric discontinuity, in addition to regions southwest of the study area with high anomalies for the Faror F map, which indicates the possible presence of gold occurrence in the region.

Keywords: Electroresistivity method, Geoelectric technique, Aerogamapectrometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo.....	18
Figura 2 – Mapa geológico e estrutural da região do CILS.....	20
Figura 3 – Representação geométrica da técnica do caminhamento elétrico.....	25
Figura 4 – Variação do teor médio de elementos radioativos em rochas ígneas.....	26
Figura 5 - Mapa topográfico da área de estudo apresentando a disposição das linhas de CE.....	29
Figura 6 – Mapa para o canal de K.....	35
Figura 7 – Mapa para o canal de eU.....	36
Figura 8 – Mapa para o canal de eTh.....	37
Figura 9 – Mapa para o canal de CT.....	38
Figura 10 – Mapa de Fator F.....	39
Figura 11 – Mapa de Kd.....	41
Figura 12 – Mapa de Ud.....	42
Figura 13 – Mapa de razão eU/K.....	43
Figura 14 – Mapa de razão eTh/K.....	44
Figura 15 – Mapa de razão eU/eTh.....	45

Figura 16 – Mapa ternário obtido a partir da composição ternária para os canais de K, eTh e eU.....	47
Figura 17 – Mapa lito-geofísico obtido a partir da composição ternária para os canais de K, Th e U.....	48
Figura 18 – Pseudo-sessões de RTE	50
Figura 19 – Mapa lito-geofísico obtidos através das Pseudo-sessões de RTE.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores energéticos e picos em MeV esperados para os canais.....	29
---	----

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivos Gerais	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 ÁREA DE ESTUDO	17
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	19
2.1 Geologia Regional	19
2.2 Geologia Local	21
3 REVISÃO TEÓRICAS	22
3.1 Propriedades elétricas das rochas	22
3.1.1 Resistividade, condutividade e a lei de Ohm	22
3.1.2 Condução elétrica nas rochas	23
3.2 O caminhamento elétrico	24
3.3 Propriedade Radiométricas	26
3.3.1 Características dos elementos na crosta	26
3.3.2 Radioatividade natural	27

3.3.3 Interação com a matéria.....	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Levantamento Eletrorresistivo.....	29
4.2 Processamento dos Dados Eletrorresistivos.....	30
4.3 Levantamento Gamaespectrométrico.....	30
4.4 Processamento dos Dados Gamaespectométricos.....	30
4.4.1 Tempo Morto.....	30
4.4.2 Remoção do Background da Aeronave e Cósmico.....	31
4.4.3 Remoção do Background do Radônio (Background) Atmosférico.....	31
4.4.4 Correção Altimétrica.....	32
4.4.5 Normalização dos dados gamaespectométricos.....	32
4.4.6 Mapas para os canais de K, eU e eTh.....	32
4.4.7 Mapa do canal de contagem Total (CT).....	33
4.4.8 Mapa de Fator F.....	33
4.4.9 Mapas de Potássio e Uranio anômalos (Kd) e (Ud).....	33
4.4.9 Mapas de Razões.....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34

5.1 Intepretação dos dados aerogamespectométricos para os canais de K, Th, U e CT.....	34
5.2 Interpretação dos dados aerogamaespectométricos: mapas de Potássio anômalo (Kd), Úranio anômalo (Ud) e Fator F.....	39
5.3 Intepretação do dados aerogamaespectométricos: mapas de razão.....	42
5.4 Intepretação do dados aerogamaespectometricos: mapa de composição ternário.....	46
5.5 Interpretação dos dados Eletrorresistivos.....	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A mineração de metais, entre eles o ouro, é uma das principais atividades que permitem que a humanidade se organize enquanto sociedade. Tendo em vista a importância da mineração para, por exemplo, a economia, foram desenvolvidas diversas técnicas diretas e indiretas afim de facilitar o processo de prospecção desses metais. Dentre estas técnicas tem se destacado a utilização de métodos geofísicos para caracterizar zonas de mineralização aurífera, entre eles, citam-se, especialmente, a eletrorresistividade e a aerogamaespectrometria.

A região de Lavras do Sul – RS tem sido alvo de exploração e exploração aurífera desde o final do século XVIII (CARVALHO, 1932). A gênese do material do local, geralmente é associada a alterações relacionadas a longos períodos de atividade hidrotermal (NARDI E LIMA 1988, MEXIAS *et al.*, 1990a, 1990b; DE LIZ, 2004; MEXIAS *et al.*, 2005). O sistema hidrotermal de Lavras do Sul é composto por mineralizações de Au, Cu, Pb, Zn e Ag venulares e /ou disseminadas em rochas graníticas e vulcanogênicas neoproterozóicas. A ocorrência dessas rochas está relacionada a eventos tectono-magmáticos pós-colisionais do escudo Sulriograndense de cerca de 610 Ma – 590 Ma. Costa (2011) sugere que paragénese pirita + sericita hospeda as principais mineralizações de ouro enquanto que a paragénese calcopirita + clorita está associada as mineralizações de cobre. Os veios de quartzo e brechas são comumente hospedeiros das mineralizações onde se observam halos de alteração filítica. Os halos de alteração em granitos são equigranulares, têm maior extensão do que aqueles observados em granitos porfíricos. Isto se dá, possivelmente, devido a razão fluido/rocha diferenciada entre as fácies do Complexo Granítico Lavras do Sul (CGLS) e as variadas falhas e fraturas do complexo (BONGIOLO *et al.*, 2007).

Entretanto, devido ao histórico de exploração mineral em Lavras do Sul, a continuidade dessa atividade se tornou inviável para algumas minas da região.

Diante disso, este trabalho busca caracterizar, através de métodos geofísicos, anomalias que possam identificar diferentes características geológicas, e por meio disso, providenciar um estudo de caracterização geofísica para a região da Mina Olaria e suas áreas adjacentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo a identificação de diferentes características geofísicas presentes na região da Mina Olaria a partir da análise de dados eletroressistivos e aerogamaespectrométricos e com isso fazer a correlação com características geológicas presentes nessa região.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- Prover um mapa geofísico/geológico de detalhes da região da mina, com vistas aos diferentes graus de mineralização relacionados ao Complexo Granítico Lavras do Sul.
- Definir a orientação das anomalias relacionadas falhas e fraturas com isso, identificar sua direção preferencial.

1.2 JUSTIFICATIVA

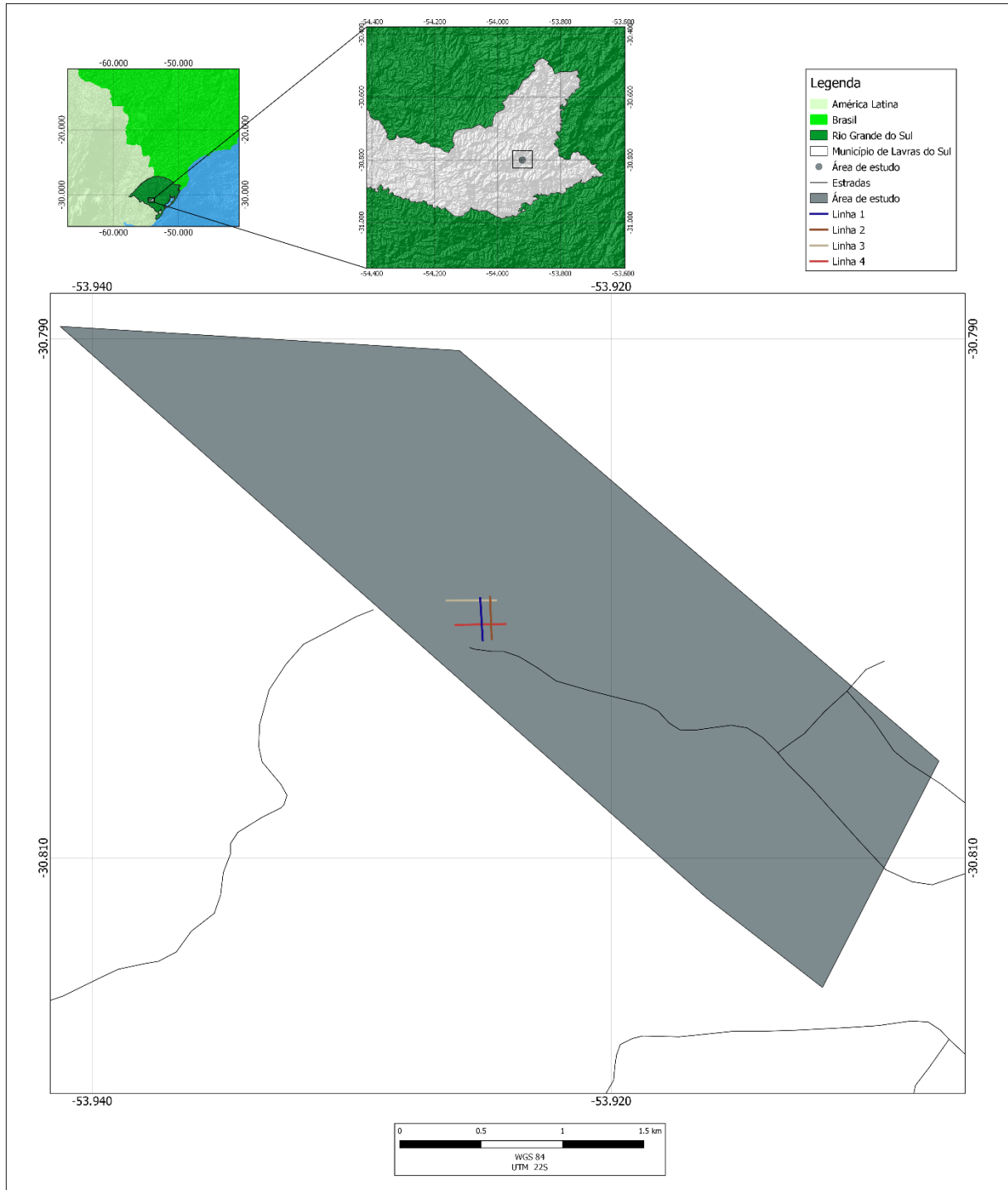
Este trabalho se justifica pela falta de estudos geofísicos presentes para esta região, somada aos inúmeros trabalhos geológicos presentes na região do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, o que possibilita uma ótima correlação entre dados geofísicos e geológicos, assim como a localização da área de estudo, tornando viável pela proximidade com o campus da Universidade Federal do Pampa.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) situa-se no município de Lavras do Sul-RS, localizada na porção centro-oeste do Escudo Sul-rio-grandense entre as coordenadas 30°48'46 "S e 53°53'42 "W, possuindo uma área de aproximadamente 8,2 Km², sendo aproximadamente a 320 km distante da capital Porto Alegre e aproximadamente 60km a sudoeste do município de Caçapava do Sul. O acesso a área se dá pela BR-290 sentido Oeste, até chegar no entroncamento com a BR-392 sentido Sudeste, que se

destina a Caçapava do Sul e por fim, acessando a RS-357 sentido Sudoeste até chegar no destino final

Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo.



Fonte: Autor

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

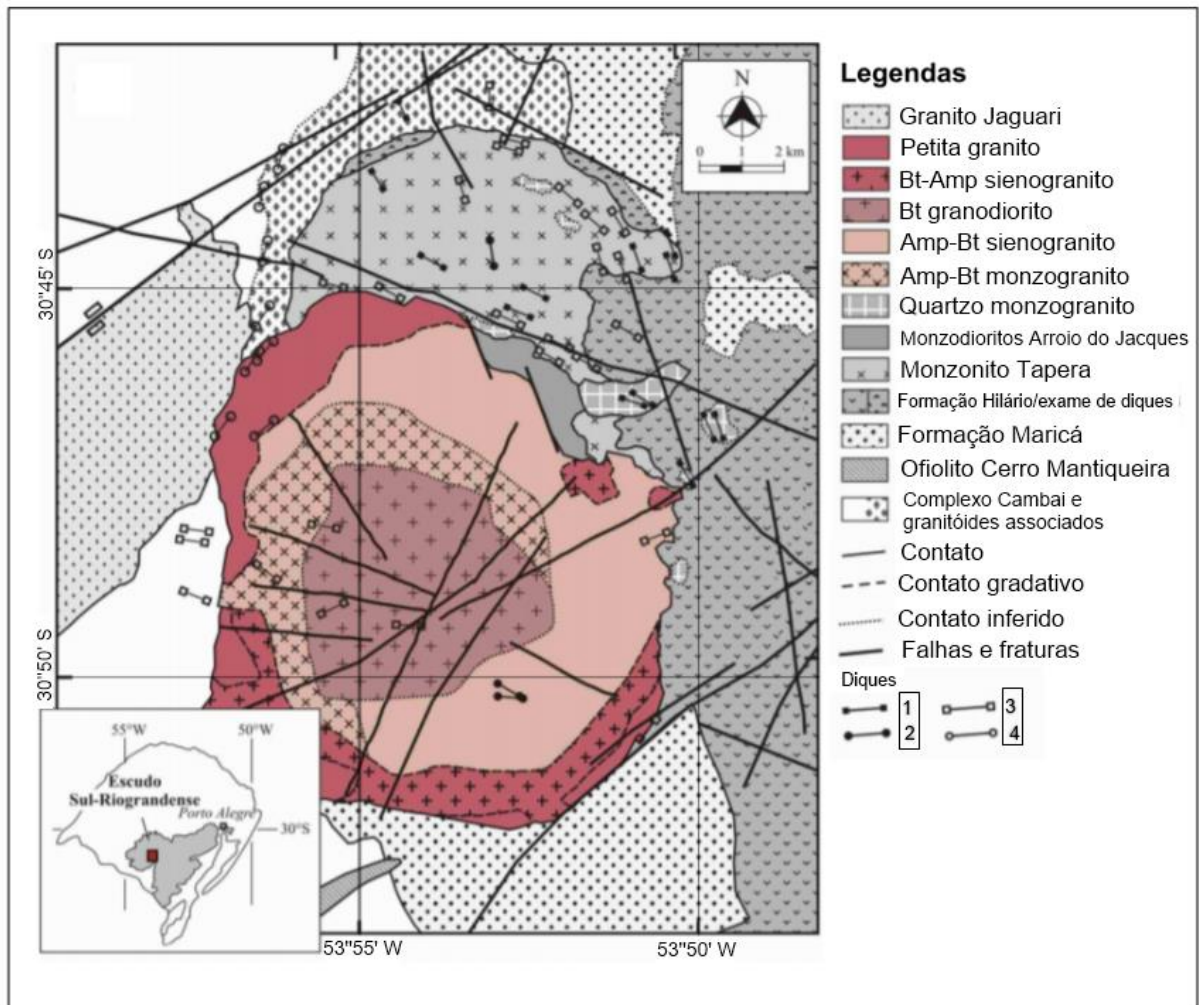
2.1 Geologia Regional

O município de Lavras do Sul é conhecido pela ocorrência de mineralizações de metais base associados a sulfetos, como Ouro (Au), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Prata (Ag). Nele se concentra ~70% das empresas mineradoras que estão ativas na região. O município está assentado sobre o Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS). O complexo é formado por uma sequência de rochas intrusivas relacionadas à evolução de um centro plutônico-vulcânico (GASTAL *et al*, 2006). A cidade de Lavras do Sul – RS encontra-se na porção centro-oeste do Escudo Sul-riograndense, situado no domínio do Arco São Gabriel, nas proximidades do limite cratônico – Bloco Taquarembó (GASTAL *et al*, 2006).

Babinsk *et al* (1996) classificam as unidades regionais como sequências metavulcano-sedimentares e ultramáficas, separadas por metagranitóides cálcio-alcalinos com valores de baixo a médio potássio (K), formadas entre 900 a 700 Ma, durante a Orogênese São Gabriel.

O Arco São Gabriel (Figura 2) tem seus limites demarcados por duas falhas de escala regional, as quais geram duas descontinuidades magnéticas, sendo estas a Sutura de Caçapava situada a leste e com direção de N40°E, que coincide com o sistema de falhas transcorrentes Irapuá e o Lineamento de Ibaré ao sul e com direção de N45°W, consistindo de um sistema transcorrente dextral (GASTAL, 2016).

Figura 2 – Mapa geológico e estrutural da região do CILS.



Fonte: extraído e modificado de GASTAL et al, 2006

É possível distinguir dois eventos que diferenciam-se em sua idade e geoquímica na porção oeste do escudo: precoce e tardio. O evento precoce (606 - 450 Ma) inclui rochas vulcânicas e plutônicas shoshoníticas e granitos alcalinos. O CILS e a Formação Hilário correspondem a maior parte da área situando nas imediações da junção entre o Sistema de Falhas Irapuá e o Lineamento de Ibaré. E o evento tardio (575 - 550 Ma) apresenta granitoides e vulcânicas ácidas de caráter alcalino, e granitoides cálcio-alcalinos com alto-K (GASTAL & LAFON 1998), sendo representado pelo Granito Jaguari, que se localiza a oeste do CILS.

Gastal & Lafon (1998) também apontam para a correlação do magnetismo pós-colisional com à Orogênese Dom Feliciano datando de 660 Ma a 550 Ma, que,

também, é contemporânea à deposição da Bacia do Camaquã cuja idade varia de 606 Ma a 450 Ma.

Strieder (2001) apresenta dois tipos predominantes de zonas com processos hidrotermais presentes na região do CILS, o primeiro sendo zonas do tipo presentes na Mina Aurora e o segundo sendo zonas do tipo presentes na Mina Valdo Teixeira.

A zona de hidrotermalismo do tipo Aurora representa uma fase mesotérmica de mineralização, sendo posteriormente sobreposta por zonas do tipo Valdo Teixeira. O tipo Aurora está relacionado com uma fase de decréscimo da temperatura e representando uma fase de alteração da composição presente no fluido. Já o tipo Valdo Teixeira apresenta maior presença de galena, porém com ausência de minerais relacionados com cobre, sendo superimposta por zonas do tipo Aurora (STRIEDER, 2001).

2.2 Geologia Local

O Complexo Intrusivo Lavras do Sul possui uma dimensão de 12 x 18 Km² e alonga-se na direção N-S (GASTAL *et al.*, 2006).

Ribeiro *et al.* (1966) definiu que sua intrusão ocorreu em ortognaisses e granitóides tanto pré- quanto sin-tectônicos em suas porções oeste-sudoeste e norte-nordeste, nas Formações Maricá, a sul-sudeste, e Hilário, a leste. Sua porção sudoeste, onde se encontra o contato com os arenitos da Formação Hilário, é controlada por uma zona de falhas com direção NE-SW denominada São Domingos.

Gastal *et al.* (2006) divide o CILS em dois setores, norte com a presença do Monzogranito Tapera e o sul que consiste no corpo granítico circundado nas porções norte-noroeste pelo Monzogranito Arroio dos Jacques.

O Monzonito Tapera tem sua composição formada por quartzo monzonito, monzonito, monzodiorito e dioritos exibindo zonação normal. Essa formação possui um aspecto de meia-lua com seus limites demarcados por uma abundância de diques, que variam de intermediários a ácidos, com direções entre WNW-ESSE a NNW-SSE sendo dispostos subsequentemente a zona de falhamento de direção N75°W em sua porção sul. Em suas porções noroeste e nordeste tem seus contatos marcados por

uma concentração de diques de espessura em torno de 200 a 500 m, sendo relacionados com feno-andesitos associados a Formação Hilário e separados pelo monzonito (GASTAL *et al.*, 2006).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICAS

3.1 Propriedades elétricas das rochas

A condutividade elétrica σ , a resistividade elétrica ρ , a permissividade dielétrica ε e a permeabilidade magnética μ podem ser consideradas as propriedades que determinam o comportamento elétrico das rochas sob a influência de um campo eletromagnético, contínuo ou alternado. Entretanto, devido a maior amplitude de suas variações, as duas primeiras tendem a ter uma maior relevância para estudos geofísicos com o uso dos métodos elétricos (LIMA 2014).

3.1.1 Resistividade, condutividade e a lei de Ohm

Em observações experimentais, é possível observar que a velocidade que uma carga adquire em um campo elétrico é proporcional a esse mesmo campo, sendo representada na equação (1), onde se relaciona a densidade de corrente \vec{J} , ao valor de um dado campo elétrico \vec{E} (TELFORD, 1990):

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

com σ representando a condutividade medida em S/m.

A equação (1) é conhecida como a lei de Ohm para a condutividade, e é válida para o contexto das rochas quanto seu valor é de $|\vec{J}| \leq 10^{-4}$ A/cm², se aplicando para meios homogêneos onde \vec{E} e \vec{J} são vetores colineares (TELFORD, 1990). Para meios heterogêneos, isto é, meios onde \vec{E} e \vec{J} não são necessariamente paralelos podemos reescrever a equação (1) como:

$$\vec{J} = \sigma_{ij} \vec{E} \quad (2)$$

sendo σ_{ij} um tensor simétrico de segunda ordem (TELFORD, 1990).

Tatum (2017) afirma que quando se aplica uma diferença de potencial V através de um resistor, teremos que a razão da diferença de potencial que atravessa o resistor pela corrente I que flui pelo mesmo é chamado de resistência R , expressa pela equação (3)

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

A primeira vista, a equação (3) demonstra que a corrente que flui pelo resistor é proporcional à diferença de potencial por entre ele, sendo esta a lei de Ohm para a resistência de um material.

Para acharmos a resistência de um material podemos, também, usar a razão de seu comprimento multiplicado por uma constante de proporcionalidade, por sua área como pode ser vista a partir da equação (4), onde (TELFORD, 1990):

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (4)$$

sendo ρ conhecida como a resistividade do material do qual o resistor é constituído.

3.1.2 Condução elétrica nas rochas

Em geral, a condução elétrica em rochas próximas as superfícies são em sua maior parte eletrolítica, onde sua ocorrência se dá entre os espaços dos poros, através de limites entre grãos e em regiões com presença de falhas e fraturas. Essa condução se dá devido a íons resultantes da dissociação de sais ocorrente em água, com cada íon possuindo uma capacidade limite de condução de carga. Portanto, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos na solução maior será sua capacidade de transporte de cargas, tendo assim uma maior condutividade (WARD, 1987).

Ward (1987) afirma que além do grau de salinidade na água, outro fator de grande importância é a temperatura, onde o valor de viscosidade da água diminui conforme a sua temperatura aumenta, fazendo com que os íons viagem com maior facilidade como mostra a equação (5),

$$\rho_t = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha(T - 18)} \quad (5)$$

sendo,

α é o coeficiente de temperatura da resistividade (normalmente em torno de $0,025 \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$;

T é a temperatura ambiente;

ρ_t é a resistividade na temperatura ambiente;

ρ_{18} é a resistividade à temperatura de $18 \text{ } ^\circ \text{C}$;

A lei de Archie, representada na equação (6), é uma medida empírica que relaciona a resistividade elétrica de uma rocha porosa, livre de sedimentos argilosos, com presença de água e cimentada com a fração de espaço poroso contendo essa água (WARD, 1987).

$$F = \frac{\rho_T}{\rho_w} = \Phi^{-2} \quad (6)$$

sendo,

F é o fator de formação;

ρ_T é a resistividade da rocha;

ρ_w é o eletrólito saturado;

Φ^{-2} é a porosidade da rocha

Essa lei normalmente satisfaz os parâmetros para a condução eletrolítica em ambientes saturados (WARD, 1987).

3.2 O caminhamento elétrico

O caminhamento elétrico (CE) consiste na investigação elétrica lateral, onde se analisa a variação da resistividade de forma horizontal.

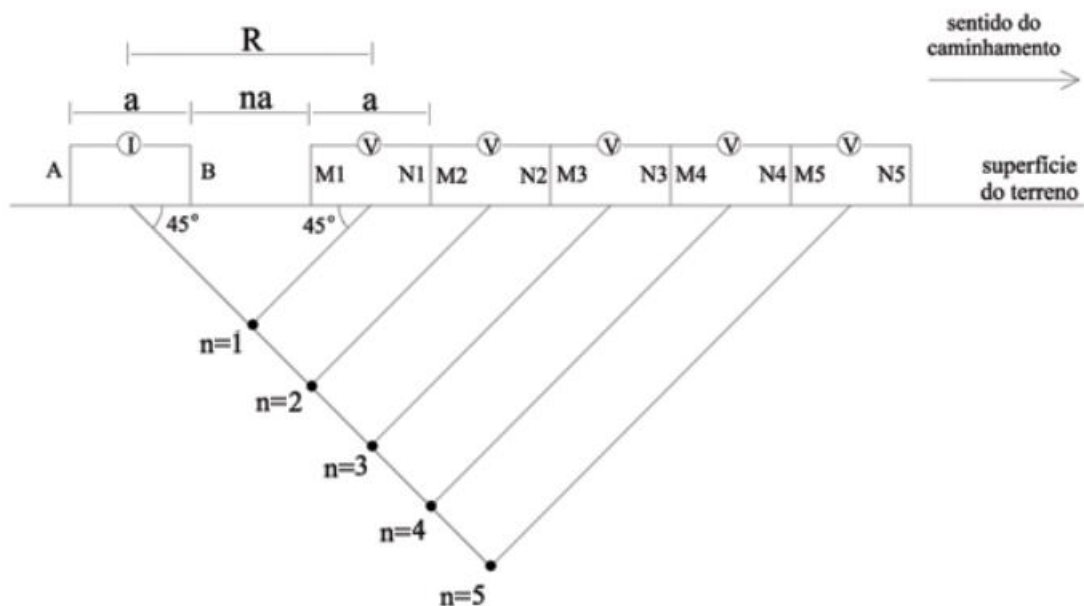
Orellana (1972) afirma que as sondagens dipolares do CE dependem da geometria empregada pelos eletrodos, sendo estes: sondagens axiais, sondagens dipolares equatoriais e sondagens dipolares azimutais.

O CE é uma técnica geoeletrica que envolve a utilização de quatro eletrodos, dois deles de injeção de corrente (A e B) e os outros dois de leitura de potencial (M e

N). O sistema de plotagem para essa técnica consiste da distribuição das leituras a 45° do ponto central dos dipolos AB e MN até alcançar o ponto médio desses dipolos, onde se obtém a resistividade aparente (ORELLANA, 1972).

Para os levantamentos de CE (Figura 3) do tipo dipolo-dipolo, se determina uma distância x entre os eletrodos AB e MN, que deve permanecer fixa para a determinação da resistividade aparente em um mesmo nível de investigação.

Figura 3 – Representação geométrica da técnica do caminhamento elétrico.



Fonte: Gandolfo, 1996

A equação (7) para a resistividade aparente é dada por (ORELLANA, 1972):

$$\rho_a = \pi x n (1 + n)(2 + n) \frac{V}{I} \quad (7)$$

sendo,

ρ_a é a resistividade aparente medida;

x é a distância fixa entre os pares eletrodos AB e MN;

n é o número de afastamento entre eletrodos;

V é a diferença de potencial;

I é a corrente elétrica que atravessa o corpo.

3.3 Propriedades radiométricas

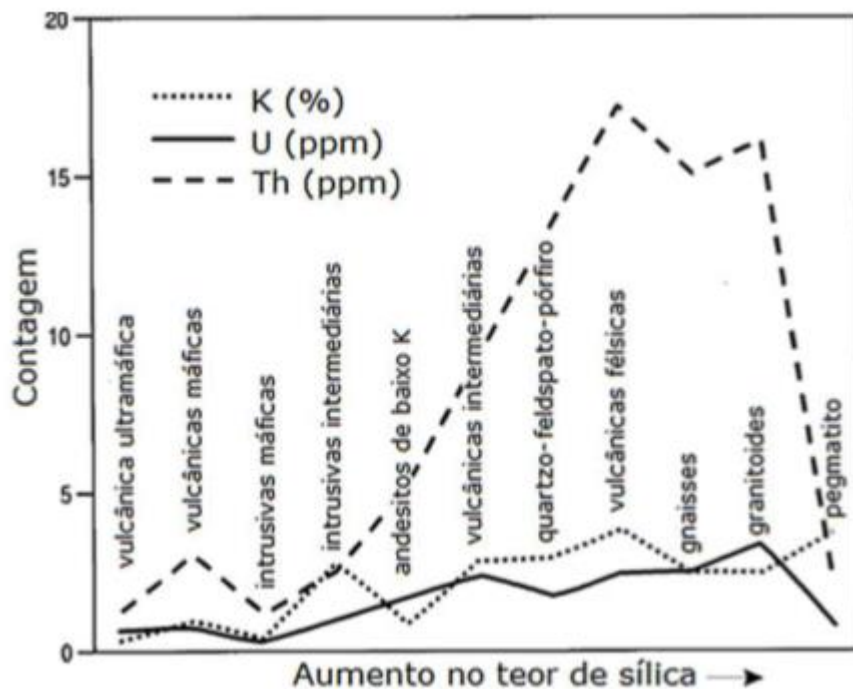
Na natureza existem diversos elementos radioativos, contudo apenas alguns elementos encontrados na série do potássio, urânio e tório ocorrem de forma significativa para estudos na área da geofísica (TELFORD,1990).

3.3.1 Características dos elementos na crosta

O potássio (K) está presente na crosta terrestre com valores de aproximadamente 3%, estando associado com rochas félsicas. O urânio (U) é encontrado na crosta terrestre em partes por milhão (ppm), estando relacionado com minerais acessórios. O tório (Th), também, encontrado em ppm na crosta terrestre é relacionado com rochas metamórficas e ígneas (COX et al., 1979).

Na figura 4, observa-se a contagem de cada elemento radioativo com base no aumento de teor de sílica nas rochas.

Figura 4 – Variação do teor médio de elementos radioativos em rochas ígneas.



Fonte: extraído e modificado de Dickson & Scott (1997).

3.3.2 Radioatividade natural

A radioatividade das rochas tem sua dependência relacionada com a proporção de radionuclídeos presente na estrutura cristalina dos minerais que compõem essas rochas. A desintegração natural de certos isótopos, devido à instabilidade presente em seus núcleos, acarreta a liberação de partículas elementares α e β , assim como as radiações eletromagnéticas conhecidas como radiações γ .

A radiação α corresponde a um átomo ionizado de hélio, sendo mais facilmente absorvida. As partículas β correspondem a elétrons gerados a partir da quebra de nêutrons e prótons sendo menos absorvidos pelo meio. Já a radiação γ consiste de radiação da mesma espécie da luz e com isso, tendo uma alta capacidade de penetrabilidade em meios materiais (FERREIRA et al. 2002).

A radioatividade é uma propriedade estatística pelo fato de ser impossível prever o momento de seu decaimento, porém, sendo possível prever a fração de transformação quando se trata de um grande número de elementos a partir da equação (8) (TELFORD, 1990).

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (8)$$

onde, a taxa de transformação N é dada pela sua derivada no tempo igual sua constante de decaimento λ , com o sinal de negativo sendo uma indicação de que os valores de N estão diminuindo (HALLIDAY, 2009).

3.3.3 Interação com a matéria

Existem diversos tipos de interação entre a energia eletromagnética e a matéria, entre todas, três tipos de interação possuem uma maior importância para estudos gamaespectrométricos: Efeito Fotoelétrico; Efeito Compton; e Produção de pares.

O Efeito Fotoelétrico ocorre quando um fóton ao interagir com um átomo é absorvido pelo núcleo, liberando um elétron nesse processo com energia cinética igual a diferença entre a energia cinética do fóton e a energia de ligação existente entre o elétron ao átomo (YOSHIMURA, 2009).

O Espalhamento Compton, também conhecido como Efeito Compton, ocorre quando um fóton interage com um elétron de ligação fraca presente na orbital de um átomo. O resultado dessa interação gera um outro fóton com menor energia do original e o elétron, que se encontrava estacionário, onde se coloca em movimento com uma energia E e o novo fóton tem sua trajetória alterada (YOSHIMURA, 2009).

A produção de pares ocorre apenas quando o fóton que incide possui uma energia maior que 1022 KeV, decorrente da interação do fóton com o campo elétrico do núcleo atômico. Para esta interação, toda a energia do fóton é transformada em um par elétron-próton que perde sua energia cinética com o tempo através de processos de ionização e excitação (YOSHIMURA, 2009).

A tabela (1) mostra os valores esperados para cada um dos canais estudados em levantamentos gamaespectrométricos.

Tabela 1- Valores energéticos e picos em MeV esperados para os canais.

Canal	Faixa de energia em MeV	Pico em MeV
K^{40}	1.37 – 1.57	1.46
U^{238}	1.66 – 1.86	1.76
Th^{232}	2.41 – 2.81	2.61
CT	0.41 – 2.81	-
Cósmico	3.0 – 8.0	-

Fonte: Modificado de BIONDO, 2013

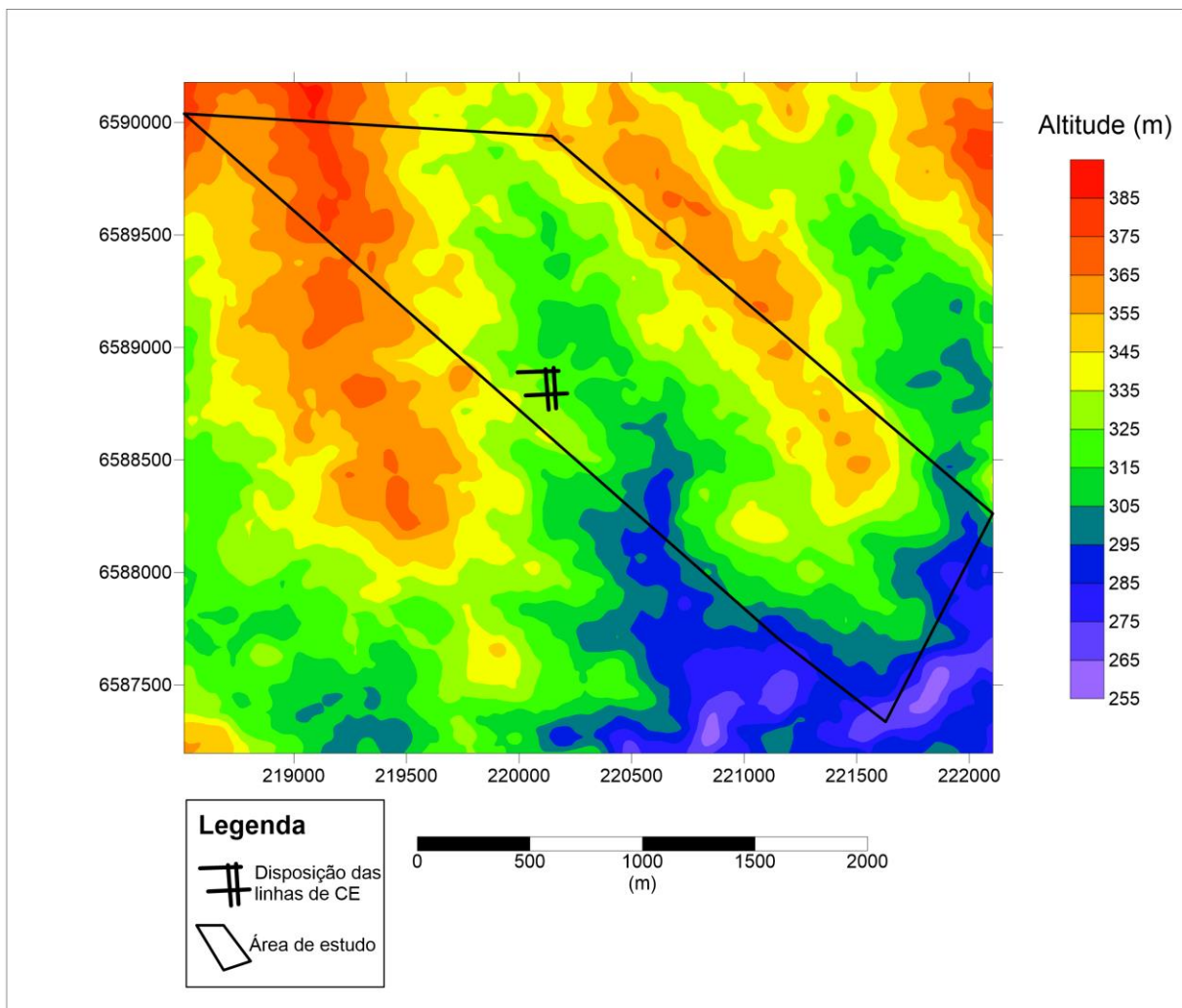
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho consiste na aplicação do método da eletrorresistividade em uma série de perfis de estudo, com o intuito de se obter uma melhor visualização em subsuperfície da região de estudo. Já a aerogamaespectrometria será utilizada para a identificação de zonas hidrotermais e identificar os diferentes graus de mineralização presentes no CILS.

4.1 Levantamento Eletrorresistivo

Para a aquisição dos dados elétricos foi utilizado a técnica do caminhamento elétrico usando-se o arranjo dipolo-dipolo com espaçamento de 5 metros por eletrodo com um total de 36 eletrodos. Para tanto utilizados quatro perfis com um comprimento de 180 metros, com sentido N-W (linhas 1, 2) e E-W (linhas 3, 4) (figura 5) nomeadas de linha 1 a linha 4. O equipamento utilizado foi o Syscal-Pro de modelo Switch 72 da IRIS da Universidade Federal do Pampa.

Figura 5 – Mapa topográfico da área de estudo apresentando a disposição das linhas de CE.



Fonte: AsterGDEM.

4.2 Correções dos Dados Eletorresistivos

Para o processamento, foi realizado primeiro a remoção de pontos que apresentavam medidas com valores destoantes. O processamento se deu com o uso da técnica de inversão por meio do método dos mínimos quadrados, que consiste em encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado.

4.3 Levantamento Gamaespectrométrico

Os dados aerogamaespectrométricos foram obtidos a partir do Projeto Aerogeofísico Camaquã. A aeronave usada para essa medida foi a DOUGLAS DC – 3. A altura das linhas de voo foi de aproximadamente 125 m, com uma taxa de amostragem de 60 m e os dados já possuindo as devidas correções.

4.4 Processamento dos Dados Gamaespectrométricos

O processamento de dados gamaespectrométricos, tanto para levantamentos aéreos quanto para levantamentos terrestres, devem ser submetidos a uma série de correções seguindo as recomendações especificadas nos relatórios técnicos desenvolvidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA, 1991, 2003).

Essas correções correspondem a uma etapa importante para o processamento, pois separam o sinal do ruído de fundo, e com isso melhorando a qualidade do produto final obtido.

4.4.1 Tempo Morto

O tempo-morto (*dead time*), é o tempo que o gama-espectrômetro registra as contagens medidas pelo equipamento, esse nome se dá devido a ausência de contagens nesse período, podendo ser de 5-15 μ s/pulso (BIONDO, 2013). A correção dessa defasagem é feita pela divisão das contagens registradas nos canais pelo valor do tempo total de medida registrado pelo aparelho normalizando. O tempo-morto pode ser corrigido através da equação 9 (AIEA, 2003).

$$N = \frac{n}{1 - C_T \cdot t} \quad (9)$$

sendo,

N o valor corrigido de contagem, dado em contagem por segundo (cps);

n o valor das contagens observadas;

C_T a contagem total de todos os canais;

t o valor do tempo-morto do equipamento.

4.4.2 Remoção do Background da Aeronave e Cósmico

O background é obtido com a soma das contribuições d influência da aeronave e da radiação cósmica observado em cada um dos canais. O cálculo do background se dá através da equação 10 (AIEA 1991).

$$N = a + b \cdot C \quad (10)$$

Com,

N sendo a somatória das contribuições da aeronave e radiação cósmica;

a igual ao background da aeronave em cada janela;

C correspondendo a contagem observada na variação cósmica;

b sendo a razão entre a contagem em uma determinada janela e a contagem no canal cósmico.

4.4.3 Remoção do Background do Radônio (Background) Atmosférico

Para determinar o background associado com o radônio atmosférico usa-se valores medidos feitas na janela do urânio. Para isso, se utiliza equação 11 (AIEA, 1991).

$$U_r = \frac{u - a_1 U - a_2 Th + a_2 b_t - b_u}{a_u - a_1 - a_2 a_t} \quad (11)$$

Sendo,

U_r o background do radônio observado no canal do urânio pelo detector *downward*;

u a contagem medida no canal do urânio pelo detector *upward*;

U a contagem medida no canal do urânio pelo detector *downward*;

Th a contagem medida no canal do tório pelo detector *downward*;

$a_1 a_2 a_u a_t b_u b_t$ os coeficientes de proporcionalidade derivados da calibração adequada.

4.4.4 Correção Altimétrica

Essa correção elimina anomalias falsas geradas pela topografia local, sendo expressa pela equação 12 (AIEA, 1991).

$$N_H = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot H} \quad (12)$$

Com,

N_H correspondendo a distancia H da fonte;

N_0 sendo a radiação na superfície do terreno;

$-\mu$ definido como coeficiente da atenuação atmosférica.

4.4.5 Normalização dos dados gamaespectrométricos

O processo de normalização dos dados foi realizado através de um micro nivelamento, onde os dados foram convertidos de contagem por segundo (cps) para concentrações, % para o canal de K e ppm para os canais de eU e eTh e no caso dos dados de contagem total, foram convertidos para $\mu\text{R/h}$ (taxa de exposição).

Esse processo foi realizado com base dos procedimentos de retrocalibração disponíveis no *BRAZIL AIRBORNE RADIOMETRIC MAPPING PROJECT* (BARMP 1997). Com valores das constantes de calibração sendo: eTh (cps/ppm) = 12.9, K (cps/%) = 203.8, eU (cps/ppm) = 23.3 e CT (cps/taxa de exposição) = 498.

4.4.6 Mapas para os canais de K, eU e eTh

Os mapas obtidos através da distribuição dos pontos medidos para os canais de rádio-elementos evidenciam a presença do dado elemento sobre a superfície do

terreno, chegando a uma profundidade máxima de até 1 m de profundidade, sendo possível através de suas análises identificar processos geológicos ocorridos na área.

4.4.7 Mapa do canal de contagem Total (CT)

De acordo com Telford (1990) o mapa gerado com os dados de CT mostra a medida de radioatividade total liberado através do decaimento dos radio-elementos presentes na crosta, sendo utilizado para separar unidades gamaespectrometricas, por possuir maiores valores radioativos.

4.4.8 Mapa de Fator F

Os mapas de Fator F destacam regiões onde ocorreram processos de enriquecimento do elemento K e U sobre o elemento Th, ocorrendo principalmente em zonas com ocorrência de ação hidrotermal. Esse parâmetro foi descrito por Efimov (1978). O fator F pode ser obtido através da equação 13.

$$F = K \frac{eU}{eTh} \quad (13)$$

4.4.9 Mapas de Potássio e Uranio anômalos (Kd) e (Ud)

Segundo Saunders *et al* (1987) os teores de Th podem ser utilizados para obter um controle para a obtenção de valores de K e U ideias, para aplicação em prospecção mineral. Para isso os autores apresentarão as equações 14 e 15 para a obtenção desses valores.

$$\begin{aligned} K_d &= \frac{K_s - K_i}{K_s} \\ U_d &= \frac{U_s - U_i}{U_s} \end{aligned} \quad (14)$$

$$K_i = \left(\frac{\text{média de } K_s}{\text{média de } Th_s} \right) Th_s$$

$$U_i = \left(\frac{\text{média de } U_s}{\text{média de } Th_s} \right) Th_s \quad (15)$$

4.4.9 Mapas de Razões

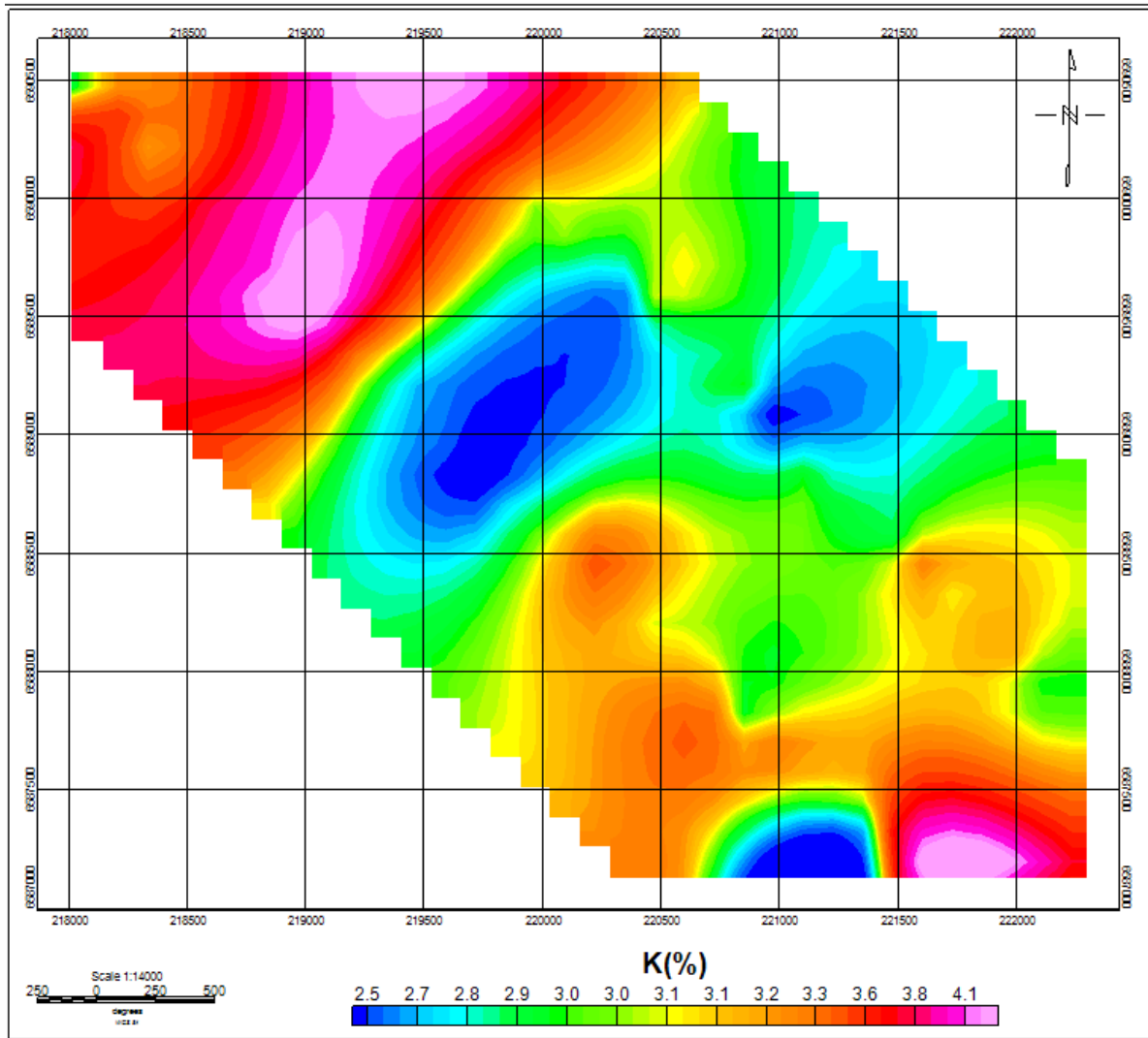
Os mapas de razões são utilizados para analisar as diferenças de concentração entre os radio-elementos, sendo possível com isso a identificação de áreas com forte influência de hidrotermalismo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Intepretação dos dados aerogamespectométricos para os canais de K, Th, U e CT

É possível observar que para o mapa de K (Figura 6) a presença de altos valores de K com vales entre 3.6% chegando até valores de 4.4% na posição mais ao norte seguindo de uma regiões de valores médios com uma concentração de aproximadamente 3%. Inserido na região de valores médios, encontram-se duas regiões com baixa concentração, com valores inferiores a 2.5%, na porção sul da área é possível notar que os valores de concentração voltam a subir, chegando gradualmente chegando a valores superiores a 3.6%.

Figura 6 – Mapa para o canal de K



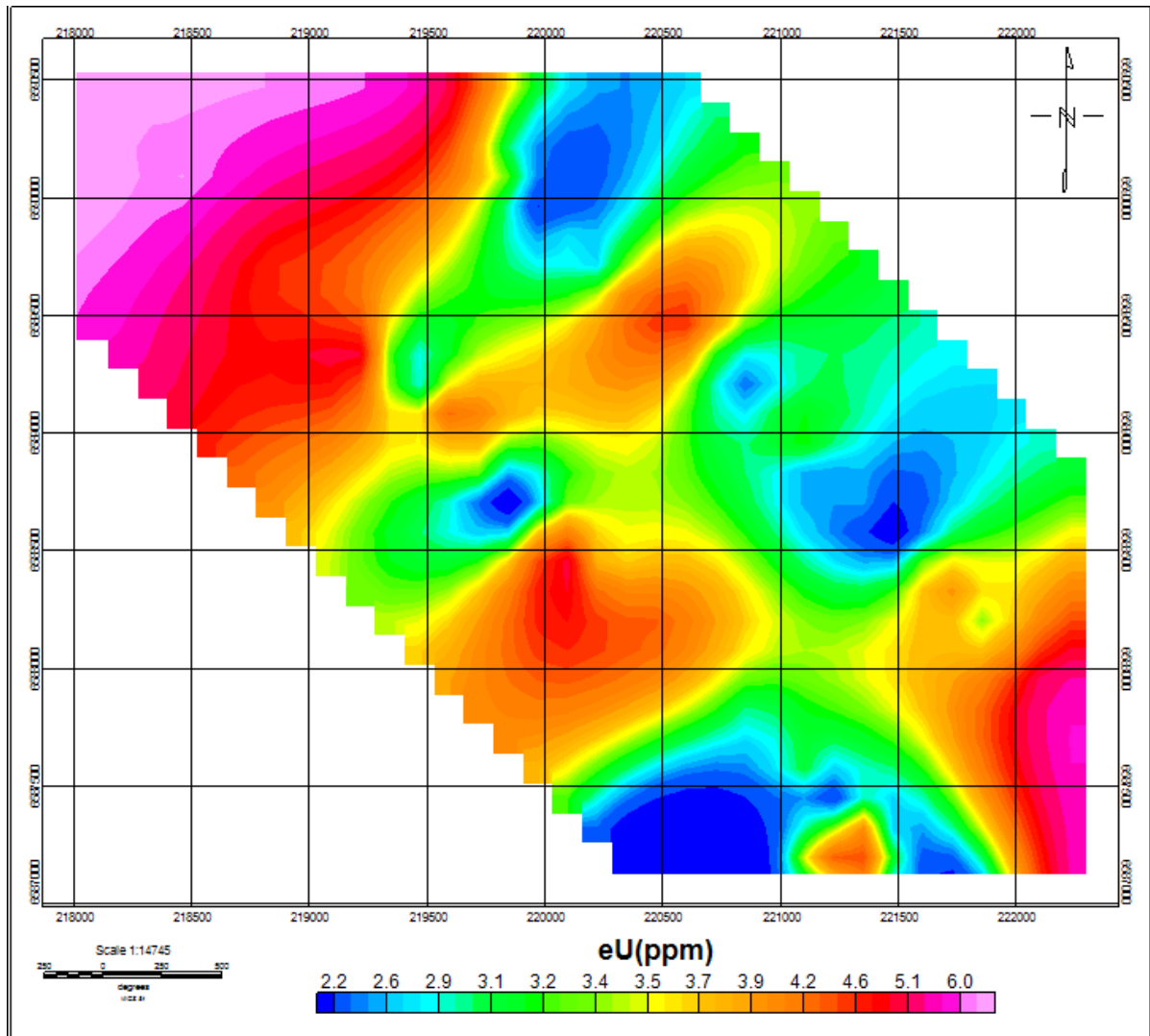
Fonte: autor

Essas regiões de baixo valores de concentração podem indicar a presença de uma região de alto grau de intemperismo, gerando uma lixiviação do K. Para as regiões com alta concentração de K indicam a região de deposição desses minerais lixiviados ou então rochas com alto grão de elementos felsicos aflorantes.

Ao se observar o mapa de eU (Figura, 7) observa-se a presença de altos valores de concentração na região norte da área com valores que vão de 4.6 ppm a 6ppm, seguido também de uma região de valores médios de 3.4 ppm, inseridos nessa região de valores médios é possível notar duas regiões com valores altos de concentração com valores entre 3.9 ppm e 4.6 pmm aproximadamente, também é possível observar a presenças de diversos focos de baixa concentração, com valores inferiores a 2.6 ppm. Na porção sul da área é possível observar a presença de duas

região com características com valores de concentração opostos, sendo a região de alta concentração na escala de 4.6 ppm a 6 ppm e a região de baixa concentração com valores de concentração de 2.6 ppm a 2.2 ppm.

Figura 7 – Mapa para o canal de eU

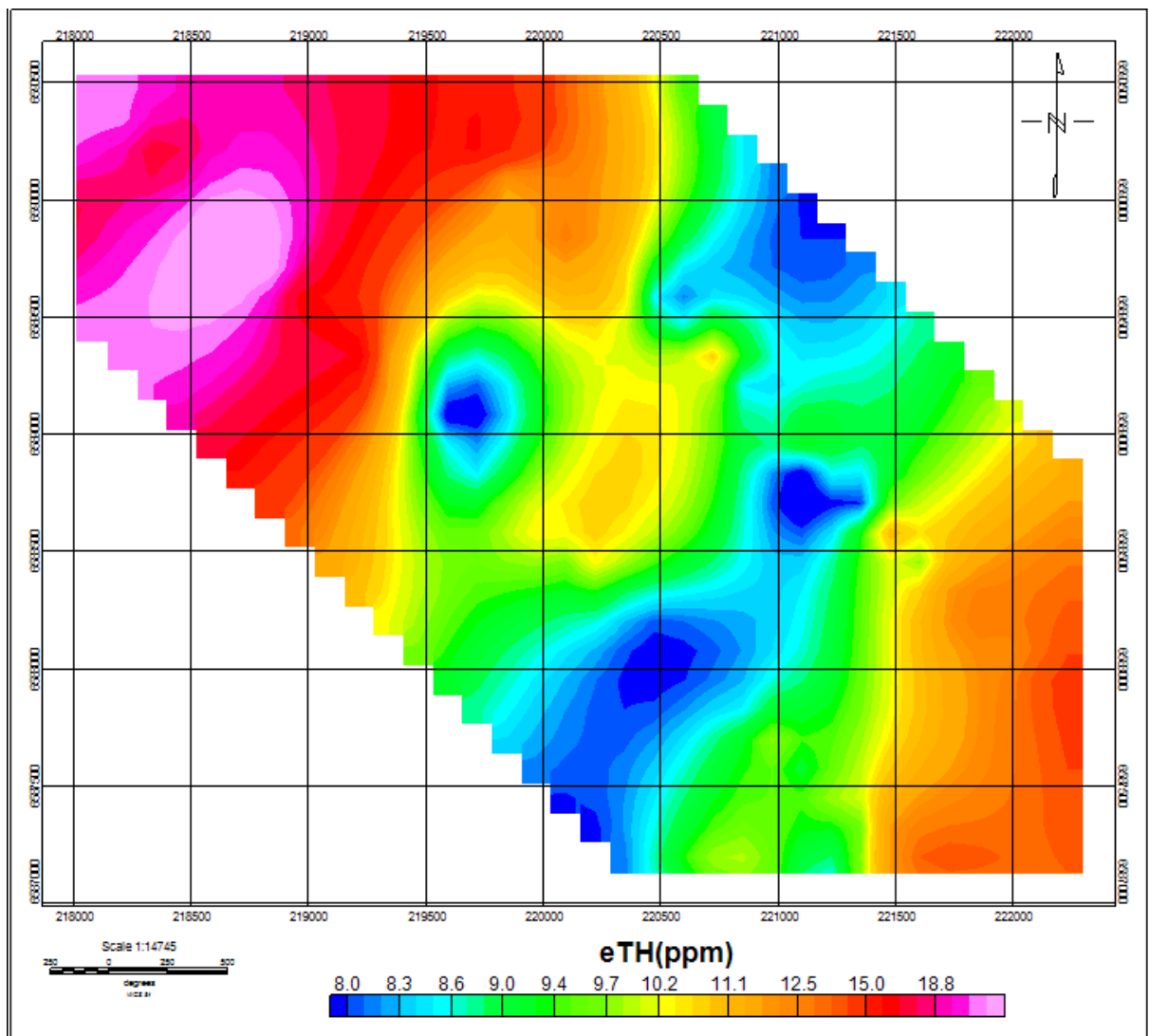


Fonte: autor

As duas regiões de alta concentração visto no mapa podem indicar a ocorrência de rochas com a presença de minerais enriquecidos com U na região. Em contra partida, as regiões de baixa concentração, podem indicar a presença de regiões com minerais de baixa concentração de U ou que foram lixiviados da região, podendo também ter sido levados para as regiões onde se vê os valores mais elevados de concentração.

Ao analisar o mapa de eTh (Figura 8) é possível averiguar a presença de altos valores de Th na região norte do mapa que variam de 12.5 ppm a 18.8 ppm. Seguida dessa região encontra-se valores médios de concentração com valores de 9.7 ppm, dentro dessa região é possível notar a existência de três regiões anômalas de concentração inferiores a 8.3 ppm. Na porção sul da área nota-se uma região de altos valores de concentração com valores superiores a 12.5 ppm.

Figura 8 – Mapa para o canal de eTh

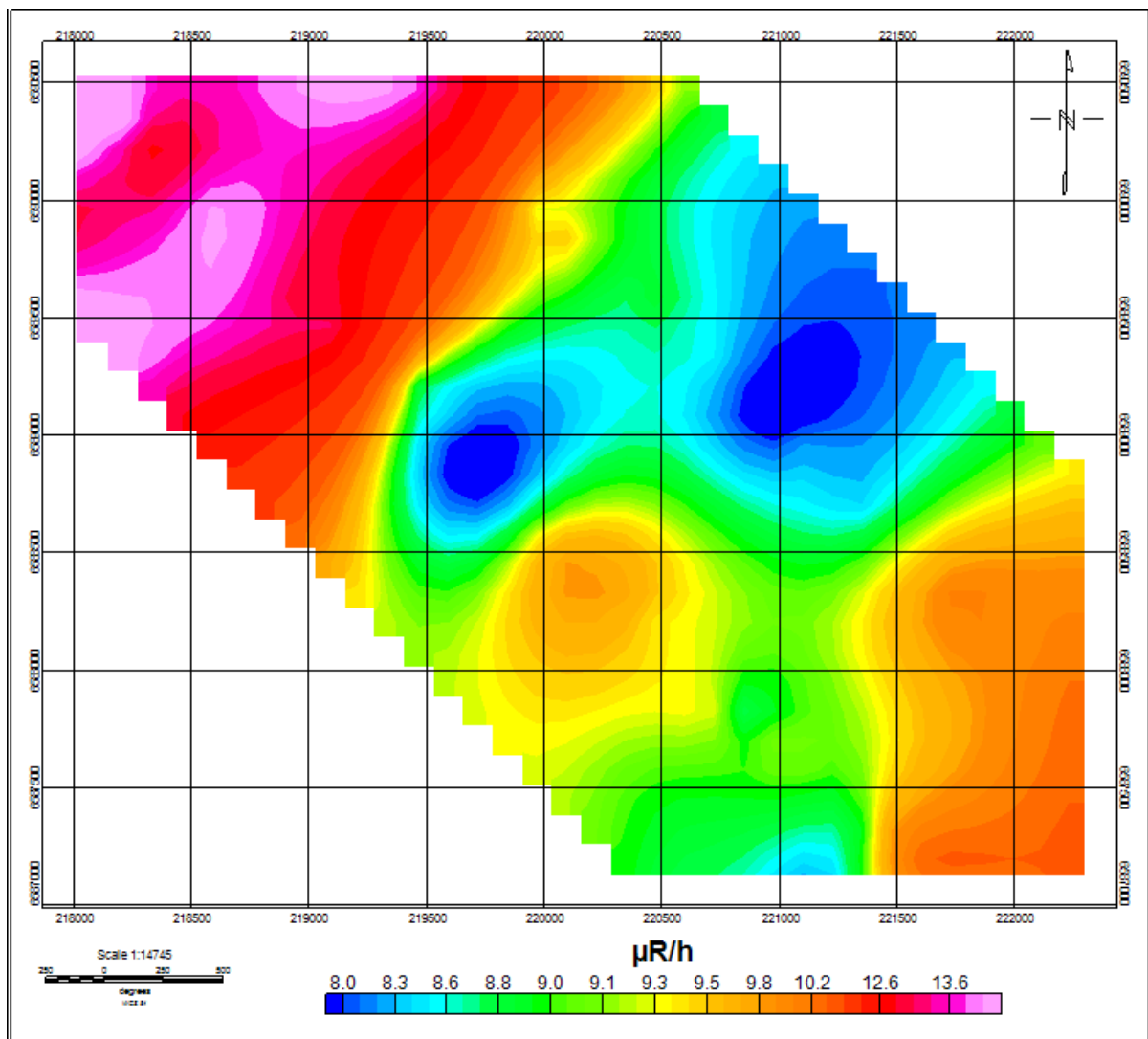


Fonte: autor

Devido à baixa mobilidade do elemento Th, as regiões de baixa concentração vistas na porção central do mapa indicam rochas com baixo grau desse elemento, em contra partida, as regiões de alta concentração podem indicar a presença de rochas aflorantes, tendo em vista a baixa penetrabilidade em solo do equipamento.

Para o mapa de CT (Figura 9), observa-se um comportamento parecido com os vistos para os canais de K, eTh e eU, onde se observa regiões de auto valores nas porções norte e sul da área, na porção norte é possível ver os maiores valores de taxa de exposição com valores variado de 10.2 $\mu\text{R}/\text{h}$ a 13.6 $\mu\text{R}/\text{h}$, já na porção sul os valores encontram-se na faixa de aproximadamente 9.8 $\mu\text{R}/\text{h}$ a 10.2 $\mu\text{R}/\text{h}$, essas regiões são separadas por uma região de valores de 9.1 $\mu\text{R}/\text{h}$ aproximadamente com a presença de uma região de alta taxa de exposição com valor médio de 9.6 $\mu\text{R}/\text{h}$ e duas regiões de baixa taxa de exposição com valores inferiores a 8.3 $\mu\text{R}/\text{h}$.

Figura 9 – Mapa para o canal de CT



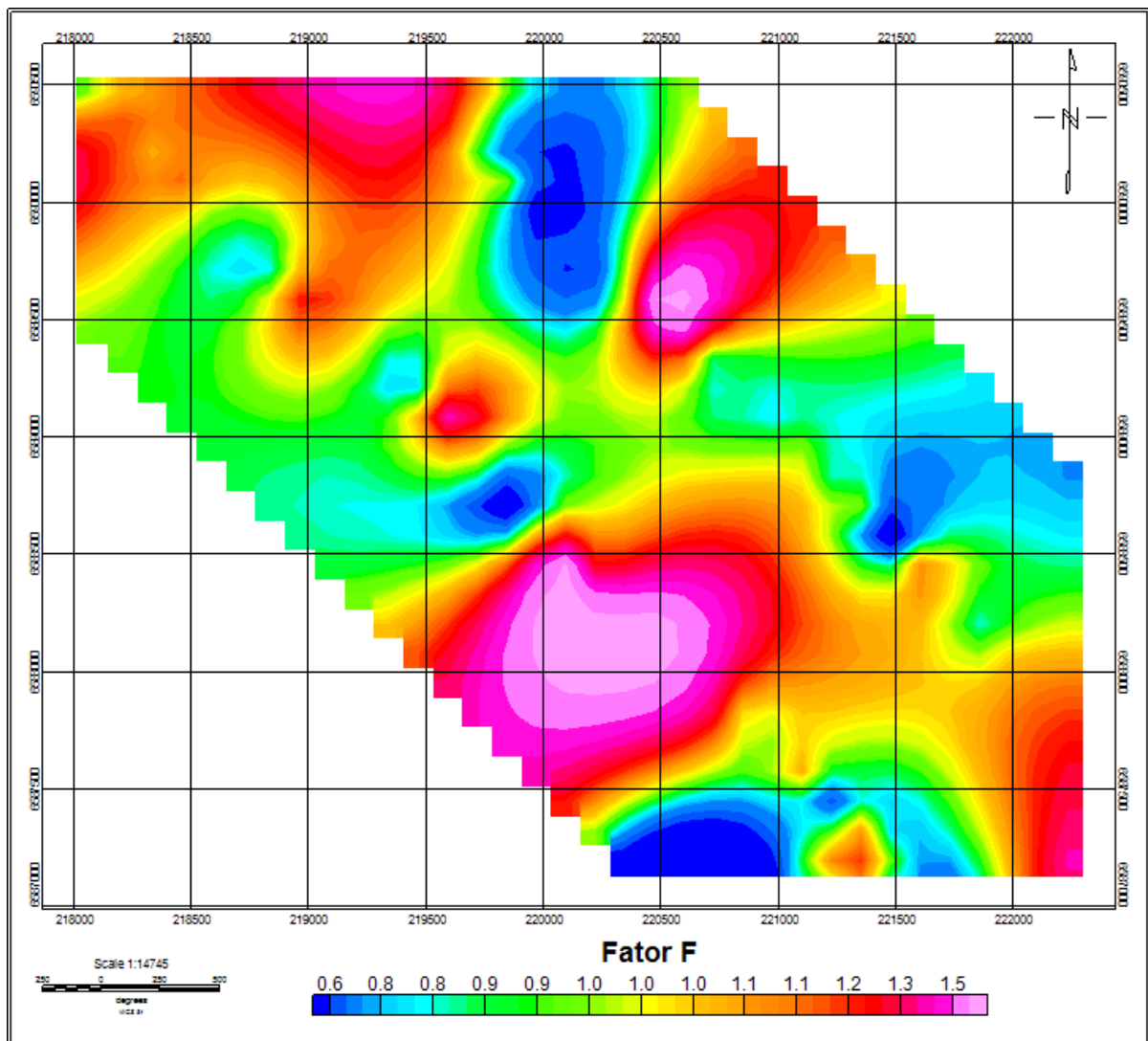
Fonte: autor

O a análise do mapa de contagem total, pode-se notar a maior presença de emissão de radiação gama predominantemente na região norte, o que coincide com as características vistas nos mapas de concentração dos canais de rádio-elementos.

5.2 Interpretação dos dados aerogamaespectrometricos: mapas de Potássio anômalo (Kd), Úrânio anômalo (Ud) e Fator F

Com a observação do mapa de Fator F (Figura 10) nota-se a presença de zonas anômalas de altos valores presentes na porções sudoeste e região nordeste do mapa, sendo seus valores superiores a 1.3.

Figura 10 – Mapa de Fator F



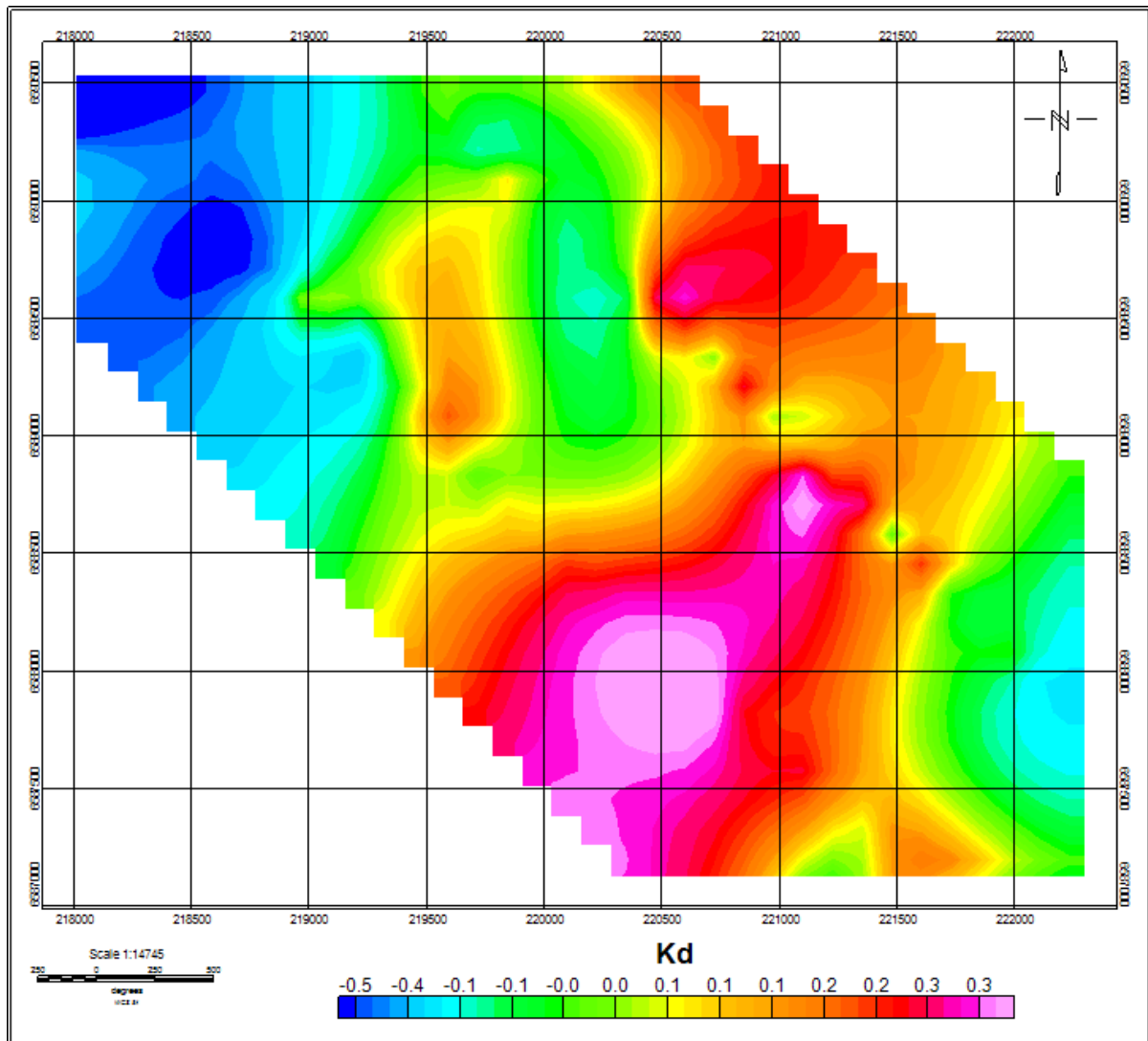
Fonte: autor

Essas regiões de anomalia condizem com as anomalias vistas presentes nos mapas dos canais para cada elemento radioativo, com destaque para as regiões de presentes de alta concentração nas regiões sudeste do mapa de canal K (Figura 6), onde pode-se ver concentrações de aproximadamente 3.6% e para o canal de eU (Figura 7), nota-se a presença de concentrações de aproximadamente 5.1 ppm. Essas áreas de alta concentração de K e U coincidem com uma região de baixo valores de Th (abaixo de 8.3 ppm), como pode ser observado no mapa do canal de eTh (imagem 8).

Ggnojek & Prichystal (1985) apresentam um estudo onde apresentam a presença de ação hidrotermal na região portadoras de mineralização de Zn e Au em regiões onde encontram-se concentrações médias de 6,7% de K, isso é, regiões com valores de concentração acima da média crustal.

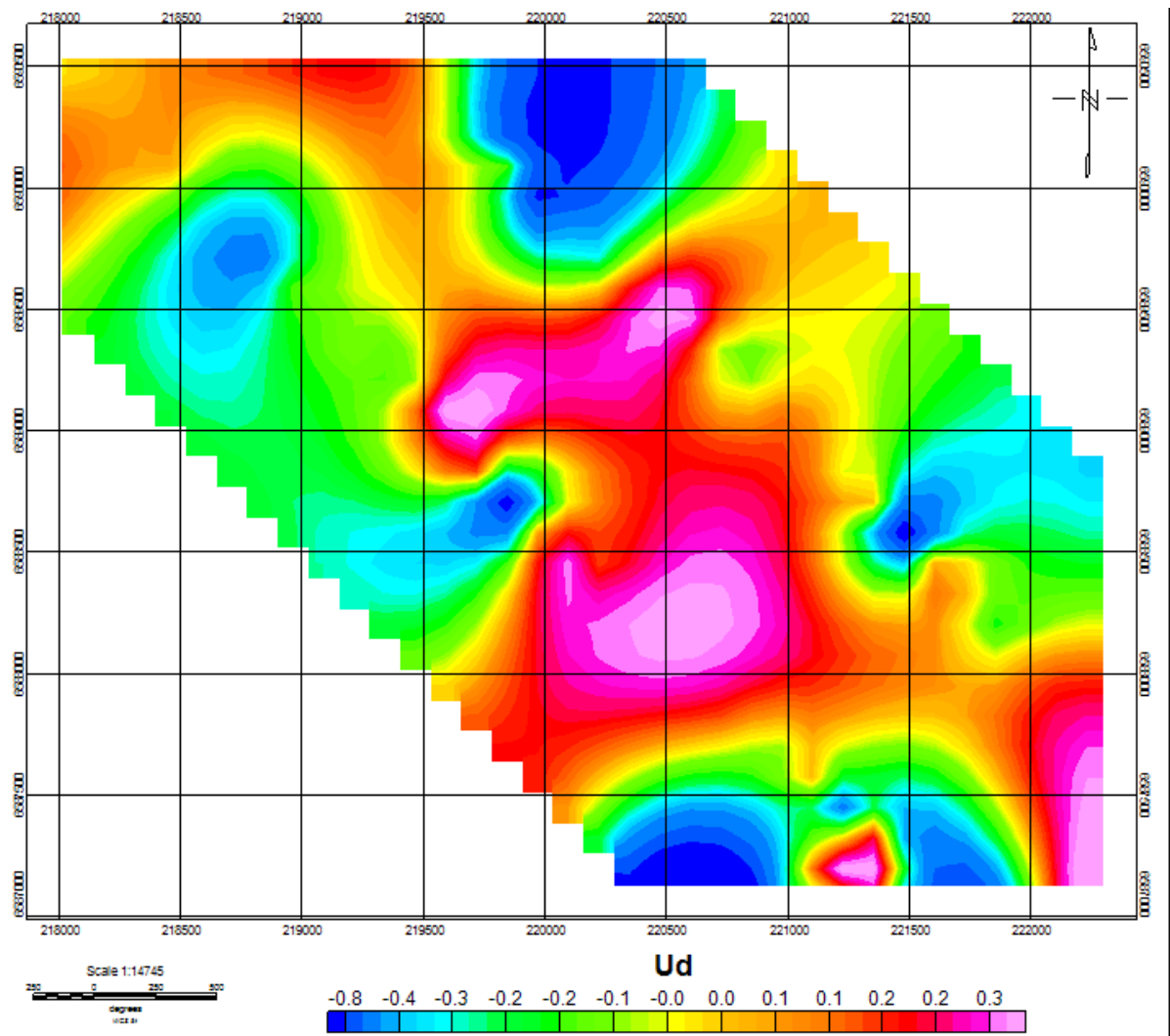
Quando se analisa os mapas de Kd e Ud (Figura 11 e 12) é possível observar a presença de zonas anômalas que coincidem com as possíveis zonas de alteração hidrotermal vistas no mapa de Fator F (Figura 12). Essas anomalias são vistas na porção central para o mapa de Ud com valores superiores a 0.3 e na região sudoeste do mapa de Kd com valores também acima de 0.3.

Figura 11 – Mapa de Kd



Fonte: autor

Figura 12 – Mapa de Ud



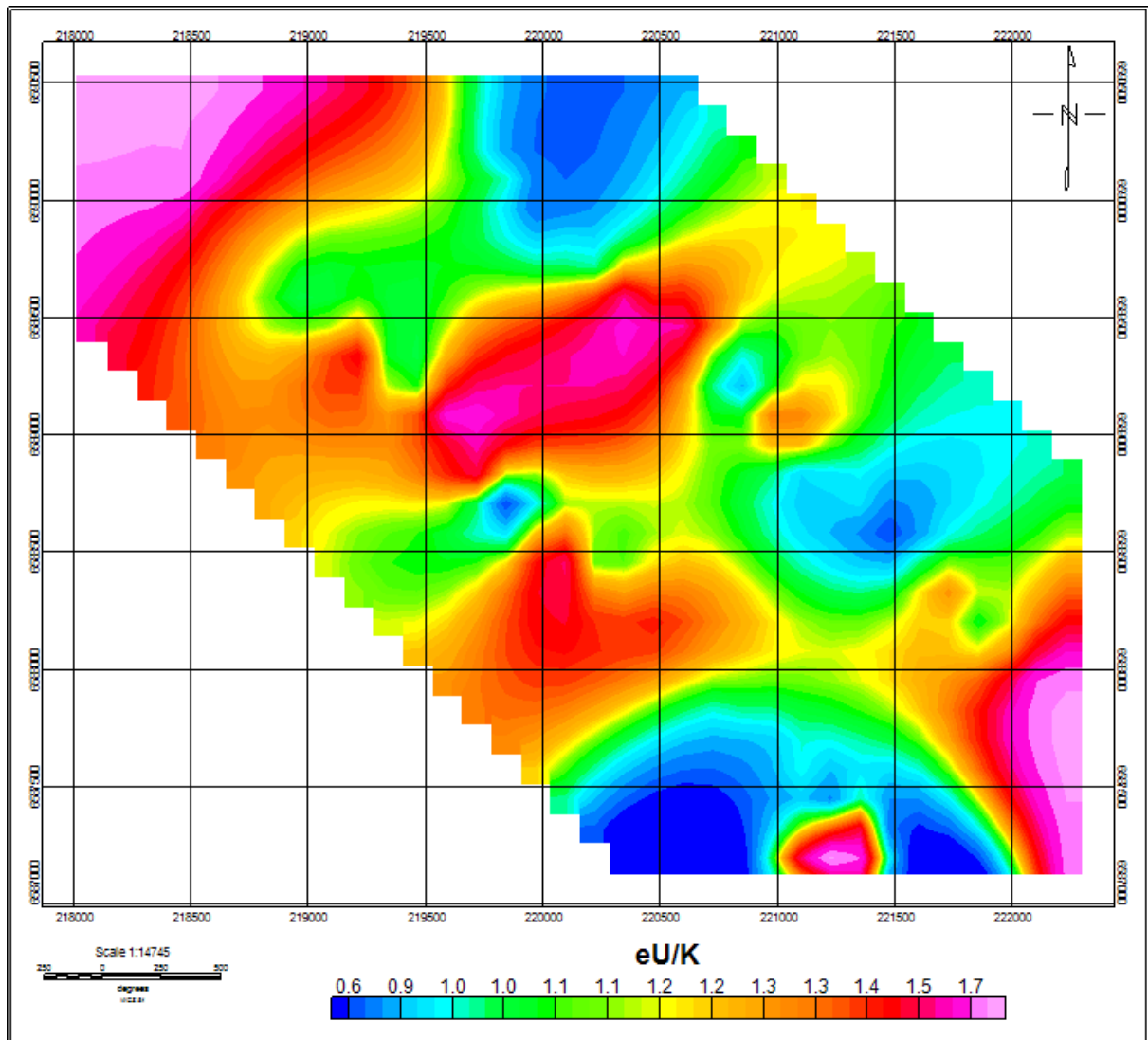
Fonte: autor

Um estudo feito por Pires (1995) apresentou que zonas com altos valores anômalos de Kd e Ud estão relacionadas com zonas de ocorrência de mineralização de Au.

5.3 Intepretação do dados aerogamaespectrometricos: mapas de razão

Com a observação do mapa de razão eU/K (Figura 13), nota-se a presença de um altos anômalos presentes em sua porção norte, central e sudeste, com valores variando de 1.4 a superiores a 1.7. Também nota-se a presença de valores intermediários em grande parte de sua porção central, apresentando um valor de aproximadamente 1.1.

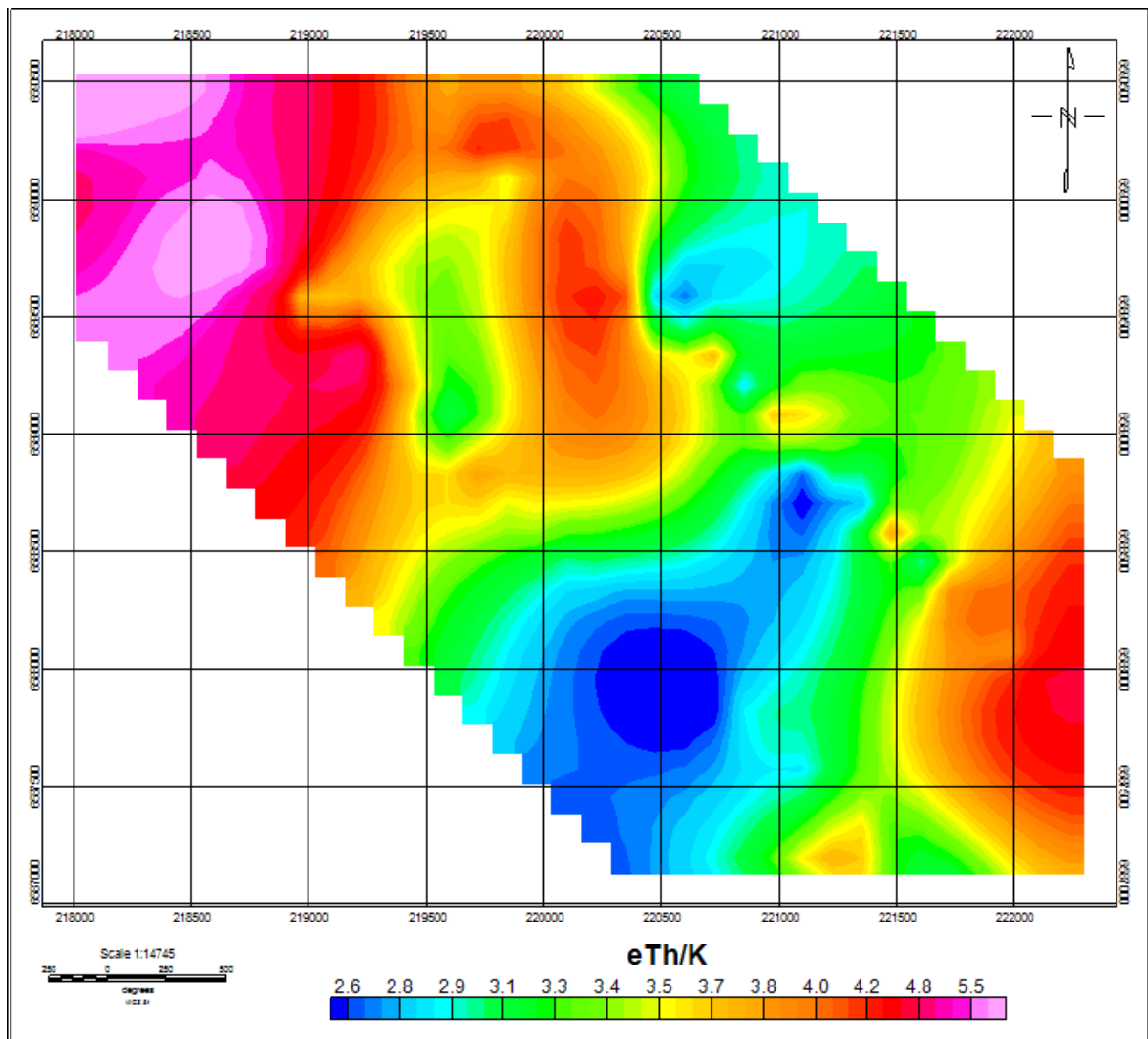
Figura 13 – Mapa de razão eU/K



Fonte: autor

O mapa de razão eTh/K (Figura 14) apresenta zonas anômalas de alto valor presentes principalmente nas regiões norte e sul da área estudada, apresentando valores superiores a 5.5 na porção norte e valores entre 4.2 e 4.8 na porção sul. Nota-se também a existência de uma anomalia de baixa intensidade presente na porção sudoeste da área apresentando valores de aproximadamente 2.8 a 2.6.

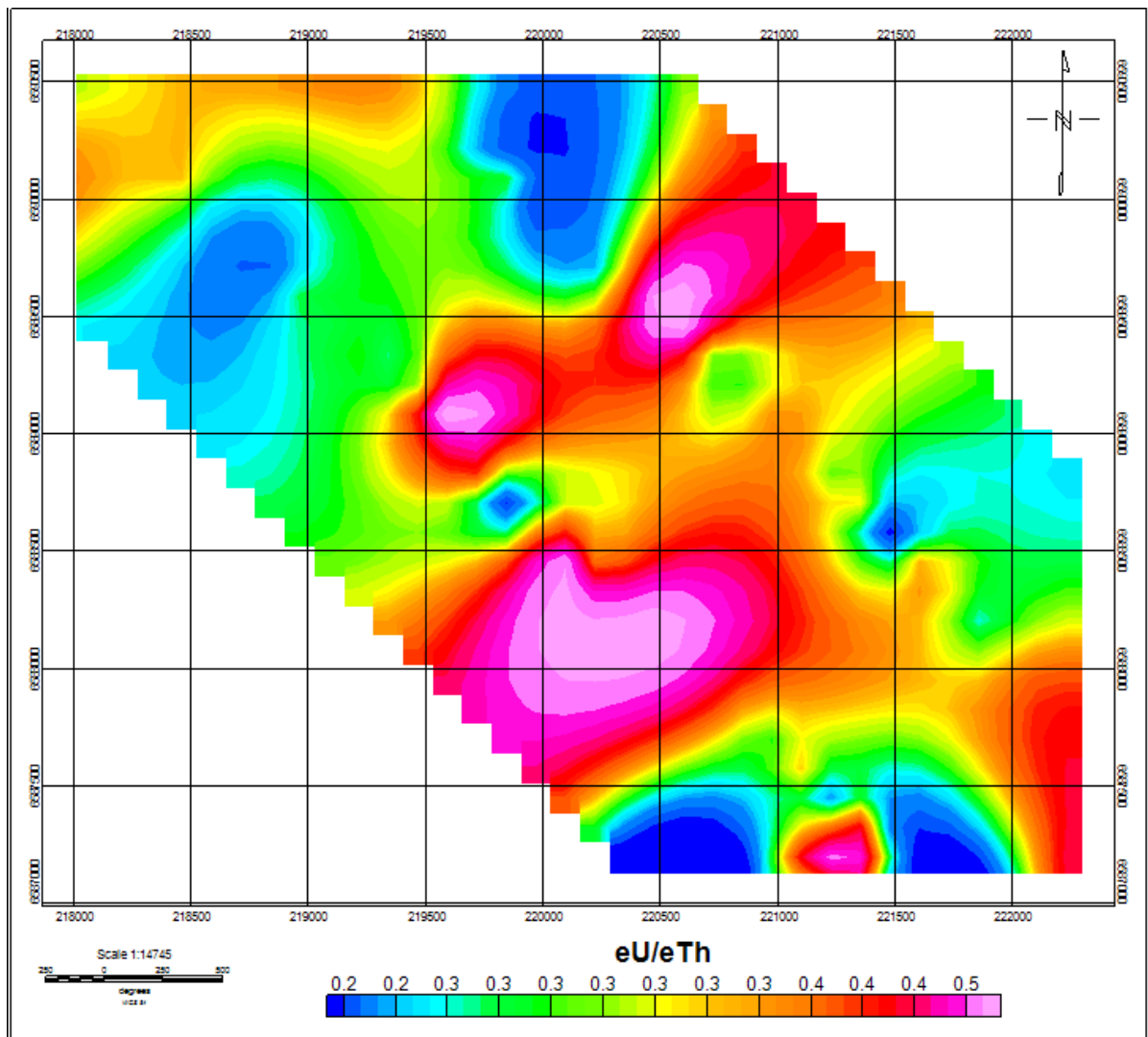
Figura 14 – Mapa de razão eTh/K



Fonte: autor

Diferente dos mapas de razão eU/k e eTh/K, o mapa de razão eU/eTh (Figura 15) apresenta seus maiores valores concentrado nas regiões centrais da área de estudo, apresentando uma variação de intensidade em torno de 0.3 a 0.5 aproximadamente. Na porção norte do mapa observa uma região com valores inferiores a 0.3 indicando a presença de um baixo anomalo contido na região.

Figura 15 – Mapa de razão eU/eTh



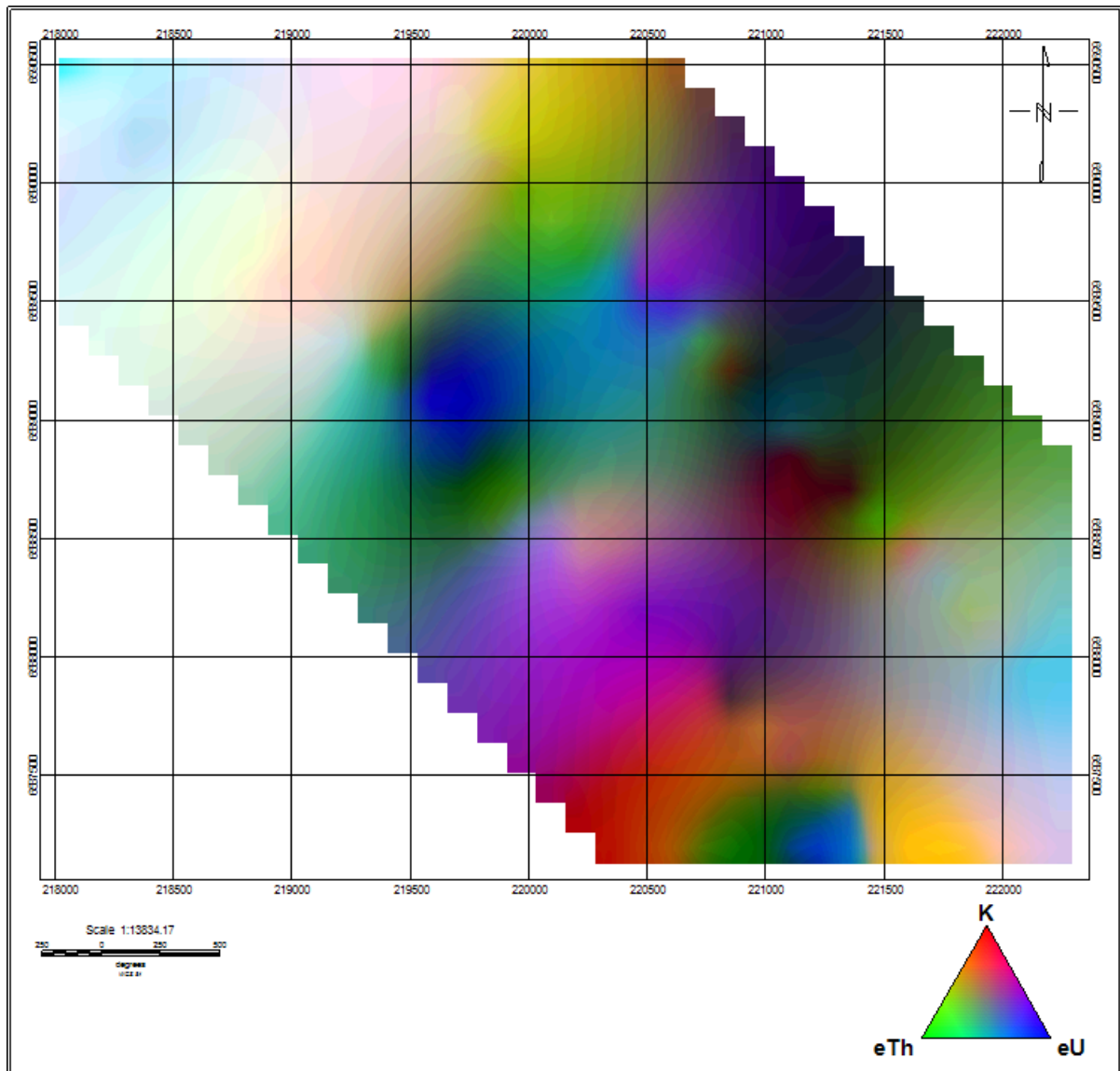
Fonte: autor

Segundo Ostrovskiy (1975), as baixas razões encontradas no mapa de razão eTh/K podem indicar a existência de zonas com a presença de alteração hidrotermal. Comparando os mapas de Fator F e eTh/K é possível notar que as regiões de baixa intensidade vistas coincidem com regiões de alto anomalias presentes no mapa de Fator F, principalmente a anomalia encontrada na porção sudoeste da região com intensidade inferiores a 2.6 para o mapa de razão e superiores a 1.5 no mapa de Fator F.

5.4 Intepretação do dados aerogamaespectometricos: mapa de composição ternário

Observa-se no mapa ternário obtido através da composição dos canais K, eTh e eU (Figura 16) a presença ao norte da área de estudo uma região com o predomínio dos três elementos, seguido de uma mostrando um predomínio do elemento Th, o que pode indicar uma lixiviação dos outros elementos. Inserido nessa região central, nta-se a presença de três regiões anômalas, a primeira com predomínio do elemento U, indicando um maior grau de mineralização desse elemento ou então um acúmulo desse elemento pós intemperismo, outra com predomino dos elementos K e U podendo indicar a zona de acúmulo de sedimentos na área e a última mostrando uma região com uma baixa concentração para os três elementos, podendo indicar a falta de mineralização nessa região. Na porção sul da área mostra uma zona com baixa concentração do elemento U, o que indica um baixo grau de mineralização para esse elemento, além de uma pequena região com predomínio dos três radio-elementos.

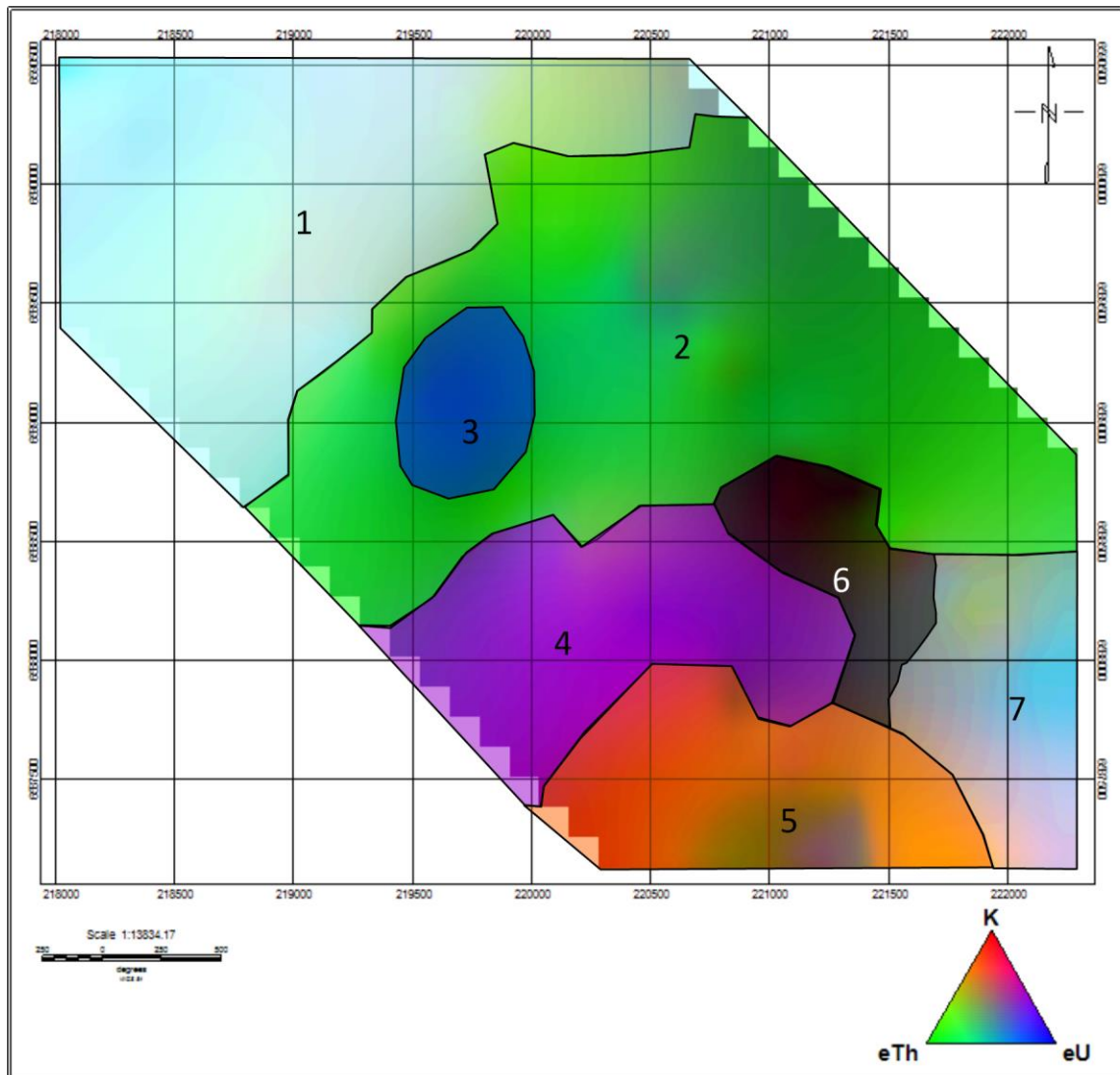
Figura 16 - Mapa ternário obtido a partir da composição ternária para os canais de K, eTh e eU.



Fonte: Autor

A partir da análise feita, foi possível confeccionar um mapa lito-geofísico apresentando as principais divisões litológicas com base no concentrações de elementos radioativos (Figura 17).

Figura 17 - Mapa lito-geofísico obtido a partir da composição ternária para os canais de K, Th e U.



Fonte: Autor

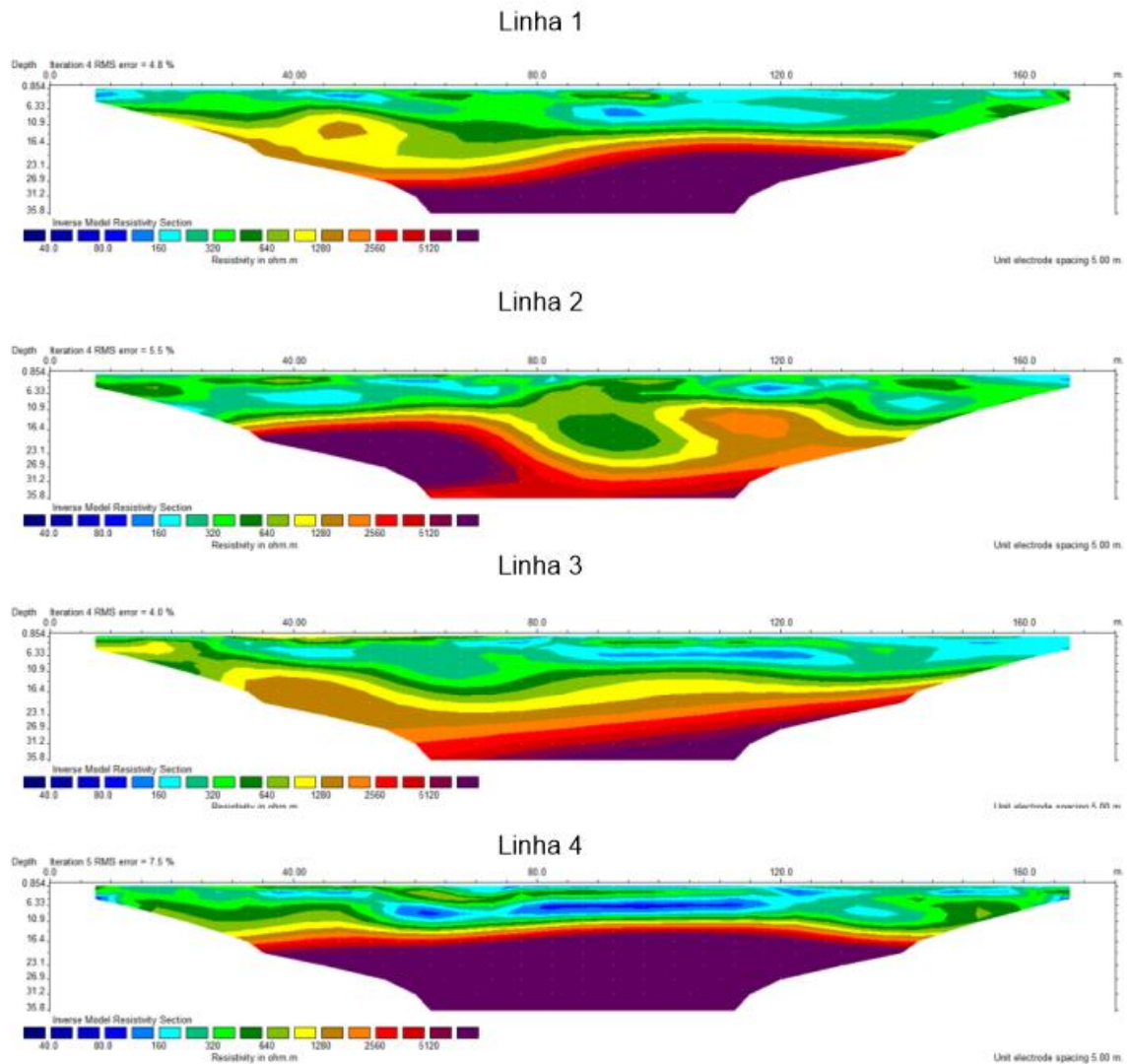
5.5 Interpretação dos dados Eletrorresistivos

Com a análise das imagens obtidos através das pseudossessões ERT obtidos a partir da técnica do CE (Figura 18), foi possível observar a presença de uma região com valores de resistividade superiores a 5120 ohm.m presentes em todas as linhas. Essa região de altos valores de resistividade possuem uma profundidade característica de aproximadamente 20 m de profundidade, podendo variar em alguns metros tanto acima quanto abaixo dessa média, com exceção do alto resistivo visto na linha 3, onde é possível notar a presença do alto resistivo a uma profundidade de aproximadamente 28 m de profundidade. Também é possível observar o predomínio de baixos valores resistivos para toda a extensão superficial das linhas de CE, tendo

um valor de aproximadamente 320 ohm.m a 80 ohm.m, onde também é possível notar a presença de pequenas regiões anômalas de valores resistividade intermediária na superfície leste da linha 3, com valores de aproximadamente 1280 ohm.m.

Para as regiões de profundidade intermediárias, isso é, com profundidade entre 5 m a 19 m, é possível uma região com valores de resistividade variando de 160 ohm.m a 640 ohm.m, com zonas anômalas presentes da porção Norte da linha 1, com valores de resistividades intermediários de 1280 ohm.m e na porção central da linha 4, com valores de resistividade abaixo de 160 ohm.m.

Figura 18 – Pseudo-sessões de RTE.



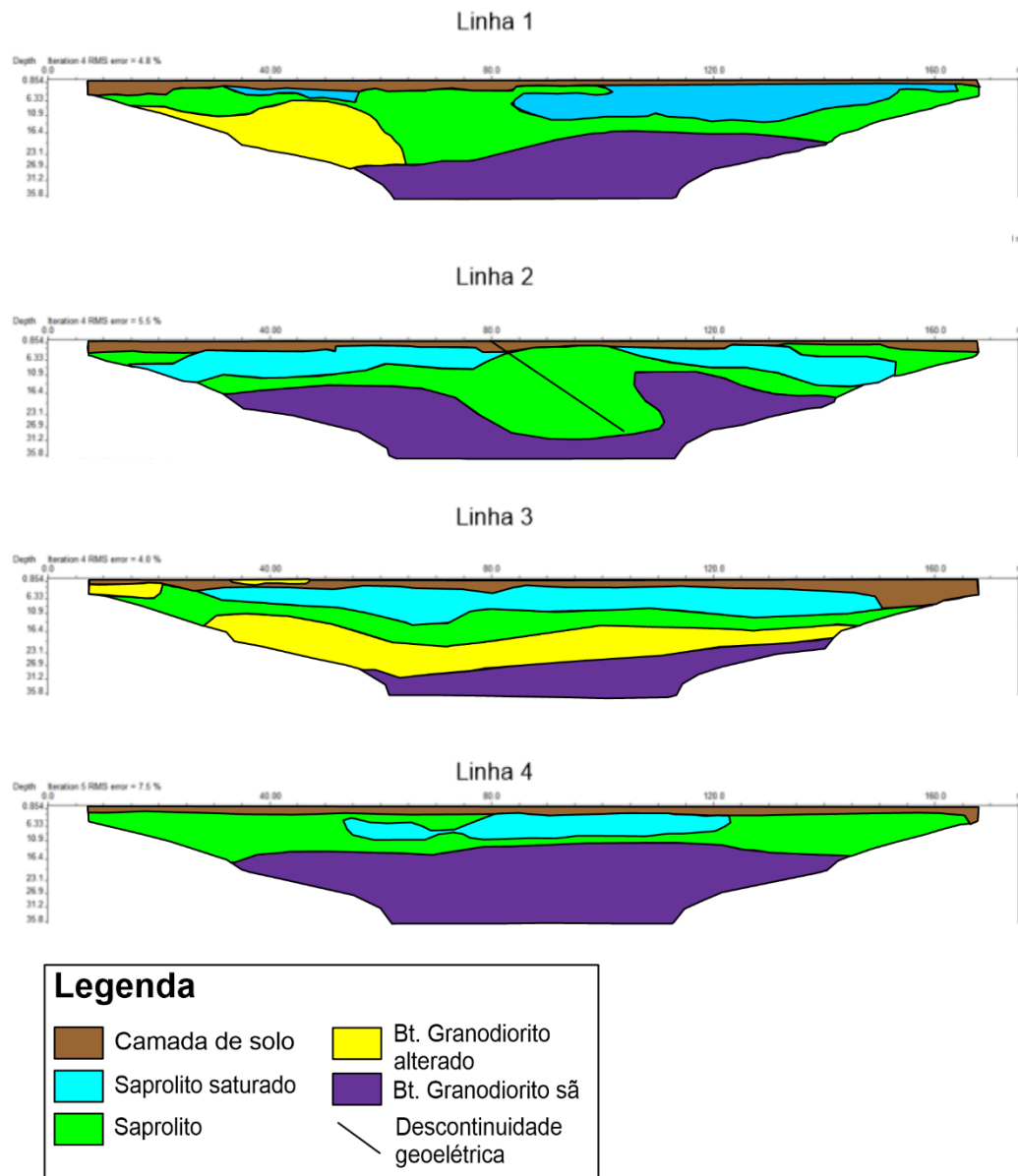
Fonte: autor.

Os altos valores resistivos vistos nas quatro linhas da figura 6 mostram o embasamento granodiorítico presente na área de estudo, nota-se também uma descontinuidade geolétrica presente na linha 2 em sua porção central, essa descontinuidade divide o embasamento a uma distância de aproximadamente 90 metros de distância e uma profundidade média de 20 m, onde nota-se um alto resistivo de valor superior a 5120 ohm.m seguido de uma resistividade de cerca de 640 ohm.m, com a resistividade elétrica voltando a subir até um valor de aproximadamente 2560 ohm.m. Essa descontinuidade geolétrica observada na linha 3 pode significar a presença de uma falha ou fratura com direção W- E presente na região. Os valores observados de resistividade médios observados na porção norte da linha 1 e na

porção leste da linha dois podem indicar a presença do granodiorito alterado presente em porções mais superficiais da área de estudo, enquanto os valores de mais baixos em profundidades entre 5 m a 19 m podem indicar a presença de saprolito na região, nota-se também a existência de regiões com a presença de saprolito saturado em algumas regiões com profundidade de 5 m a 12 m. Os baixos valores de resistividades vistos na superfície podem ser em decorrência do solo saturado, tendo em vista a existência de uma região de banhado próxima da região de levantamento.

A partir dessa interpretação, foi possível gerar o mapa lito-geofísico (Figura 19) demonstrando as características litologias em subsuperfície

Figura 19 – Mapa lito-geofísico obtido através das Pseudo-sessões de RTE.



Fonte: autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as técnicas de processamento e interpretação dos dados geoeletricos não foram possíveis a identificação de anomalias relacionadas com a presença aurífera na região, entretanto, foi possível ressaltar a presença de uma descontinuidade geoeletrica presente na região da mina Olaria podendo estar relacionada com a presença de uma falha ou fraturamento da região.

A partir do processamento e análise dos dados aerogamaespectométricos foi possível identificar que a região onde foram feitas as linhas de CE não apresentam

anomalias características que ressaltam a presença de ação hidrotermal ou então relacionadas com a mineralização aurífera. Entre tanto, em porções vizinhas da mina foram possíveis identificar anomalias relacionadas com a presença de alterações hidrotermais com indicativos de mineralização de ouro, principalmente ao comparar as anomalias existentes na porção sudoeste dos mapas de Fator F e razão eTh/K.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABINSKI, M., CHEMALE Jr., E., HARTMANN, L. A., VANSCHMUS, W. R., SILVA, L. C. 1996. **Juvenile accretion at 750-700 Ma in southern Brazil.** *Geology*, 24(5): 439-442

Bongiolo, E. M., Renac, C., Mexias, A. S., Gomes, M. E. B., Ronchi, L. H., & Patrier-Mas, P. (2011). **Evidence of Ediacaran glaciation in southernmost Brazil through magmatic to meteoric fluid circulation in the porphyry–epithermal Au–Cu deposits of Lavras do Sul.** *Precambrian Research*, 189(3-4), 404–419.

CARVALHO, P. F. 1932. **Reconhecimento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, p. 66-73.

COX K. G., Bell J. D., Pankhurst R. J. 1979. **The interpretation of igneous rocks.** Londres: George Allen & Unwin. 450p.

DE LIZ, J., LIMA, E. F., NARDI, L. V. S., HARTMAN, L. A., SOMMER, C. A., GONÇALVES, C. R. H. 2004. **Aspectos petrográficos e composicionais do sistema multi-intrusivo da Associação Shoshonítica Lavras do Sul (RS) e seu potencial para mineralizações de ouro e sulfetos.** *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4), 539-552.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J. L. 2002. **Gamaespectrometria – Fundamentos, Geoquímica e Distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solos.**

GANDOLFO, O. C. B.; GALLAS, J. D. F. **O arranjo pólo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2D de eletrorresistividade.** *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, n. 3, p. 227-235, 2007.

GASTAL, M. C. P., LAFON, J. M., 1998. **Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb.** *Rev. Bras. Geoc.* 28(1), 11-28.

GASTAL M. C. et al 2006. **Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul – RS, de acordo com os sistemas vulcano plutônicos de subsidência. Parte I: Geologia, geofísica e geocronologia (207Pb/206Pb e 206Pb/238U).** Revista Brasileira de Geociências, v. 36, p. 109-124.

GNOJEK, I., & PRICHYSTAL, A., **A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia).** Geoexploration, 23:491-502. 1985

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica. Volume 2. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

KAUL, P. F. T. 1975. **Distrito Aurífero de Lavras do Sul (RS) – Histórico dos trabalhos de pesquisa e exploração. Mineração e Metalurgia,** 364: 18-22.

KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I. 2009. **Geofísica de Exploração.** 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 429 p.

LIMA, O. A. L. 2014. **Propriedades Física das Rochas. Bases da Geofísica Aplicada,** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica.

MEXIAS, A. S., FORMOSO, M. L. L., MEUNIER, A. & BEAUFORT, D. 1990a. **O Sistema Hidrotermal Fóssil de Volta Grande – Lavras do Sul/RS. Parte I – Petrografia do Hidrotermalismo.** Geochimica Brasiliensis, 4(2): 139-157.

MEXIAS, A. S., FORMOSO, M. L. L., MEUNIER, A., BEAUFORT, D. 1990b. **O Sistema Hidrotermal Fóssil de Volta Grande – Lavras do Sul/RS. Parte II – Geoquímica das cloritas.** Geochimica Brasiliensis, 4(2): 159-174.

MEXIAS, A. S. et al. 2005. **Geochemical modelling of gold precipitation conditions in the Bloco do Butiá Mine, Lavras do Sul/Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Geociências, 77(3):1-12.

NARDI, L. V. S. & LIMA, E. F. 1988. **Hidrotermalismo no Complexo Granítico Lavras e Vulcânicas Associadas**. RS. Revista Brasileira de Geociências, 18(3): 369-375.

ORELLANA, E. 1972. **Prospeccion Geoelectrica em corriente continua**, Madrid.

OSTROVSKIY, E. Ya. Antagonism of radioactive elements in wallrock alteration fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting. International Geological Review, v. 17, p. 461-468, 1975.

PIRES, A. C. B. **Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, CrixásGuarinos, Goiás**. Revista Brasileira de Geociências 25, 61-68, 1995.

RIBEIRO, M, BOCCHI P. R., FIGUEIREDO FILHO, P. M., TESSARI, R. I. 1966. **Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia DPM-DNPM**, 127, 232p.

STRIEDER, A. J., FERREIRA, F. J. F., BUFFON F. S. A FORLIN M., PALMA P. S. 2001. **Geophysical Signatures of Lode Au-Quartz vein type deposits related to Lavras do Sul intrusive Complex (RS, Brazil)**. Labor. Modelagem Geológica, MODELAGEUFRGS, Porto Alegre – RS – Brazil (2) Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada, LPGA-UFPR, Curitiba – PR – Brazil.

TATUM, J.; **4.2: Resistance and Ohm's Law**. University of Victoria, 2017 [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Electricity_and_Magnetism/Book%3A_Electricity_and_Magnetism_\(Tatum\)/4%3A_Batteries%2C_Resistors_and_Ohm's_Law/4.02%3A_Resistance_and_Ohm's_Law](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Electricity_and_Magnetism/Book%3A_Electricity_and_Magnetism_(Tatum)/4%3A_Batteries%2C_Resistors_and_Ohm's_Law/4.02%3A_Resistance_and_Ohm's_Law). Acesso em 18. Abril.2019; Hora 15:27.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P., Sheriff, R. E. 1990. **Applied geophysics**, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, 792p.

YOSHIMURA, E. M. 2009. **Física das Radiações: interação da radiação com a matéria**. Revista Brasileira de Física Médica.

WARD, S. H. 1987. **ELECTRICAL METHODS IN GEOPHYSICAL PROSPECTING**, earth science laboratory.

WHITE, N. C.; HEDENQUIST, J. W. **Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration**. SEG Newsletter, 1995, v. 23, p. 1-13.