

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

NATÁLIA PINHEIRO BORGES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO INDUTIVO E ESTUDO
LITOGEOQUÍMICO: MINA PRIMAVERA, CAÇAPAVA DO SUL – RS**

**Caçapava do Sul
2020**

NATÁLIA PINHEIRO BORGES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO INDUTIVO E ESTUDO
LITOGEOQUÍMICO: MINA PRIMAVERA, CAÇAPAVA DO SUL – 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.

Orientador: Cristiane Heredia Gomes

**Caçapava do Sul
2020**

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

B732a Borges, Natá

APLICAÇÃO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO INDUTIVO E ESTUDO
LITOGEOQUÍMICO: MINA PRIMAVERA, CAÇAPAVA DO SUL - RS / Natá
Borges.

69 p.

Tese(Doutorado)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA,
2020.

"Orientação: Cristiane Gomes".

1. Geologia. 2. Prospecção Mineral. 3. Ocorrência Cuprífera
. 4. Anomalias. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

NATÁLIA PINHEIRO BORGES

**APLICAÇÃO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO INDUTIVO E ESTUDO
LITOGEOQUÍMICO: MINA PRIMAVERA, CAÇAPAVA DO SUL – 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: 10 de dezembro e 2020.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente
UNIPAMPA

Téc. Msc. Lenon Melo Ilha
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2020, às 17:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as norma vas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2020, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as norma vas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LENON MELO ILHA, Técnico de Laboratório Área**, em 16/12/2020, às 09:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as norma vas legais aplicáveis.



A auten cidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0427988** e o código CRC **14814567**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Dedico este trabalho as mulheres da minha vida Cristiane Ruiz, LÍdia Tereza Dalmaso Ruiz, Ana Maria Ruiz e Néli Pinheiro.

AGRADECIMENTO

Sem dúvidas, eu preciso começar esse agradecimento falando da pessoa mais importante da minha vida minha Mãe, sem ela eu não teria realizado e nem alcançado nenhum dos meus sonhos. Obrigada Mãe, por sempre ter me apoiado e nunca ter desistido de mim, nem nos meus momentos mais falhos. Por todos esses anos morando longe e mesmo assim se mostrando cada vez mais perto, tenho um orgulho enorme da pessoa que você é e da pessoa que eu estou me tornando por sua influência. Se hoje eu consegui me graduar é por sua causa por ser a melhor mãe que alguém poderia ter.

Agradeço, a minha Irmã Néli, minha melhor amiga, minha confidente, que desde sempre esteve ao meu lado e me apoiando. Sou muito grata pôr a gente ter feito nosso laço como irmãs, isso é extremamente importante para mim. Você sempre foi uma inspiração para mim e obrigada por ter estado comigo nesses tempos tão difíceis e por me proporcionar ser tia do Aquiles.

Agradeço, minha Vó Lili, a doninha do meu coração, obrigada por nunca ter duvidado de mim, obrigada por ter me ensinado os valores da vida, por me mostrar que mesmo no nosso pior momento é possível dar a volta por cima. Me faltam palavras para descrever o quanto eu sou grata por ser sua neta e poder compartilhar minha vida com você.

Agradeço, minha Tia Ana, que desse o início dessa jornada esteve ao meu lado, por ter me dado apoio, coragem e força para enfrentar tudo isso. Por ter aceitado fazer um bate volte SP-RS para que eu pudesse fazer a minha matrícula e quero agradecer meu Tio Ézio, por sempre ter aceitado essas loucuras para me apoiar e ter feito 3 vezes este bate volte, eu sou muito grata por ter vocês na minha vida, obrigada por me apoiarem e terem me dado todo apoio para eu realizar esta etapa da minha vida.

Agradeço, meu Pai Carlos, por sempre ter acreditado no meu potencial, por todas as conversas e por todas trocas de experiências. Sou muito grata por você ter me adotado com tanto carinho e amor, sou muito grata por tudo que já fez por mim e isso foi extremamente importante para conclusão da minha graduação.

Quero agradecer meu irmão Lucas, por sempre ter sido carinhoso e respeitoso comigo, por sempre me fazer rir em momentos difíceis e por sempre colocar minha autoestima para cima, obrigada por fazer parte da minha vida, pirralhinho.

Não poderia esquecer dos meus amigos Julia, Antônio, Pedro e Ianê, que me apoiaram desde o início desde loucura chamada graduação e mesmo pelos anos longe nunca deixaram de acreditar em mim, de me apoiar e de manter nosso laço de amizade.

Durante esse tempo de UNIPAMPA, eu conheci mulheres incríveis que contribuíram para meu crescimento pessoal e foram minha família em Caçapava do Sul, obrigada Flávia, Daniela, Thayanne, Camila, Pâmela, Moriá, Bueno, Juliana, Kiara e Jéssica.

Quero agradecer todos os amigos que eu fiz durante a graduação, a presença de vocês na minha vida tornou essa fase mais fácil, Nick, Isaac, Vitor, Davi, Mateus e todos os outros que em algum momento estive comigo nessa loucura.

Quero agradecer, a minha orientadora Cris, por todos esses anos de aprendizados, parcerias e por nunca ter desistido de mim. E principalmente por ter tido tanta paciência pelos meus atrasos e bloqueios criativos.

Quero agradecer aos professores e funcionários da unipampa que eu tive o prazer de conhecer durante a graduação, que me ensinaram e ajudaram a me tornar Geóloga e uma pessoa melhor, Pilar, Vini, Igor, Dani, Osmar, Lenon, Gregory, Aline, Isabel, Patrício, Leila, Beto, Katiúcia e Liara.

Quero agradecer todos os animalzinhos que dividiram sua companhia comigo durante esses anos, Liz, Vênus, Sol, Luna, Luke, Pandora e Sirius. Meus dias foram e são mais felizes com vocês.

Quero agradecer a Sani, por ter me proporcionado histórias tão cômicas e únicas, e por ter me protegido da chuva e do frio diversas vezes.

Quero agradecer minha Psicóloga Mariana e minha Psiquiatra Maria, por terem me ajudado a perder o meu bloqueio criativo e por serem as responsáveis por eu terminar este trabalho, mesmo depois de um ano parado. Obrigada por me mostrarem outras formas de ver a vida.

Agradeço, a Geologia por ter me proporcionado histórias tão incríveis, por ter me proporcionado aventuras que jamais pensei em passar, por ter me dado a oportunidade de entender um pouco do nosso planeta e a oportunidade de me conectar com a natureza.

Quero agradecer a Universidade Federal do Pampa, por ter me proporcionado um ensino gratuito e de qualidade, por ter me ensinado valores éticos que levarei para o resto da minha, por ter me influenciado a aprender sobre política e me ensinado que

a educação é a base para revolução. E agradecer ao ex-Presidente Lula e ao ex-ministro da educação Haddad por terem criado e fundado a UNIPAMPA e por serem responsáveis por proporcionar o sonho de uma vaga na federal de tantos brasileiros e brasileiras, como eu.

Não poderia deixar de agradecer a Caçapava do Sul, por ter me acolhido e ter sido minha casa nesses últimos anos.

Por fim, quero agradecer a mim, que mesmo com tantas dificuldades durante a graduação, mesmo adoecendo diversas vezes conseguiu concluí-la de uma maneira honesta e a base de muito esforço.

Obrigada a todos vocês, obrigada por tudo que fizeram e fazem por mim. A graduação não teria sido a melhor fase da minha vida sem vocês!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”

Simone de Beauvoir.

RESUMO

A importância da pesquisa mineral de cobre advém de sua grande aplicabilidade em diversos setores da produção, em virtude de suas características técnicas e sua usabilidade no dia a dia, é de extrema importância o reconhecimento e incorporações de novas alvos cupríferos. A área de estudo Mina Primavera é localizada no município de Caçapava do Sul e está relacionada à Província Cuprífera do Escudo Sul-rio-grandense. O presente trabalho teve como objetivo identificar anomalias correlacionadas a ocorrência mineral da Mina Primavera, com auxílio de medidas estruturais, método geofísico eletromagnético indutivo e análise geoquímica. Este trabalho foi realizado em três etapas: pré-campo, na qual foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a área e os métodos aplicados; etapa campo, a qual foi realizada em 3 dias onde foram coletadas medidas estruturais de foliação da rocha aflorante, aplicado o método geofísico eletromagnético indutivo de sistema EM e modelo XL dividido em 5 perfis com profundidades 7,5 e 15 m e feita amostragem *chip Sample* de 10 amostras de rocha distribuídas pela área; etapa pós-campo, na qual os dados obtidos em campo foram tratados, analisados e por fim correlacionados. Este trabalho resultou na elaboração de uma descrição sucinta da geologia da área, estereogramas das medidas estruturais, mapas de isovalores de Au, Zn, Co, Mo, Ni e Rb e gráficos com as condutividades aparentes dos 5 perfis geofísicos e a elaboração de um mapa de condutividade aparente interpolado por mínima curvatura de todos os perfis geofísicos e profundidades investigadas. Foi possível identificar uma ocorrência cuprífera em toda área de estudo, pelos resultados encontrados das metodologias aplicadas.

Palavras-Chave: Cobre, prospecção mineral, anomalias, alvos cupríferos.

ABSTRACT

The importance of copper mineral research comes from its wide applicability in several sectors of production, due to its technical characteristics and its usability in daily life, the recognition and incorporation of new cupriferous targets is extremely importante. The Study área, Mina Primavera, is located in the municipality of Caçapava do Sul and is related to the Cuprífera Province of Escudo Sul-rio-grandense. This research aimed to collect, analyze data and identify anomalies related to the mineral occurrence of the Primavera Mine, with the aid of structural measures, inductive electromagnetic geophysical method and geochemical analysis of samples. This work was carried out in three stages: pre-field, in which a bibliographic review was carried out on the area and the methods applied; field stage, which was carried out in 3 days where structural measures of foliation of the outcrop rock were collected, applying the EM inductive geophysical method of EM system and XL model divided into 5 profiles with depths 7.5 and 15 m and sampling chip. Sample of 10 rocks samples distributed over the zone; post-field stage, in which the data obtained in the field were treated, analyzed and finally correlated. This work resulted in the elaboration of a brief description of the geology of the area, stereograms of structural measures, maps of isovalues of Au, Zn, Co, Mo, Ni and Rb and graphs with the apparent conductivities of the 5 geophysical profiles and the elaboration of a map apparent conductivity interpolated by minimal curvature of all geophysical profiles and depths investigated. It was possible to identify a cupriferous occurrence in the entire study area, by the results found from the applied methodologies.

Keywords: copper, mineral prospecting; anomalies; cupriferous targets.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização e situação da área de estudo.....	23
Figura 2 - Mapa do ESRG evidenciando suas unidades geotectônicas.....	25
Figura 3 - Mapa Geológico/Estrutural da região da área de estudo, com as ocorrências de cobre proximais.....	28
Figura 4 - Princípio do método eletromagnético indutivo.....	31
Figura 5 - Configuração das bobinas dipolos horizontal e vertical.....	32
Figura 6 - Medida com bussola em notação estrutural <i>Dip Direction</i>	35
Figura 7 - Definição do <i>Dip Direction</i> , o ângulo do <i>Dip</i> e <i>Strike</i>	36
Figura 8 - Princípio construtivos das projeções.....	37
Figura 9 - Diferença entre as áreas da unidade de malha em diversos lugares.....	38
Figura 10 - Mapa de linhas dos perfis geofísicos feitos em campo.....	40
Figura 11 - Mapa de pontos de coleta das amostras para geoquímica.....	40
Figura 12 - A) moinho MA 500 da marca Marcori, moendo uma amostra do estudo; B) peneiras de abertura 0,50 mm e 0,60 mm utilizadas na pesquisa; C) Amostras de pó de rocha ensacadas e identificadas para envio ao laboratório.....	43
Figura 13 - Apresenta a disposição dos afloramentos pela área de estudo.....	44
Figura 14 - A) contraste entre a face exposta da face fresca do afloramento; B) foliação bem marcada, encontrada na área de estudo.....	45
Figura 15 - A) amostra de rocha metavulcânica da área de estudo, com malaquita e calcita associadas; B) mineral de malaquita com 2 cm x 1cm.....	46
Figura 16 – Estereograma da foliação topo com as linhas dos planos em cinza, os polos das linhas em preto, e a densidade em vermelho.....	47
Figura 17 – Estereograma da foliação base com as linhas dos planos em cinza, os polos das linhas em preto, e a densidade em vermelho.....	47
Figura 18 - Mapa de isotores de Au em ppb.....	49
Figura 19 - Mapa de isotores de Co em ppm.....	50
Figura 20 - Mapa de isotores de mo em ppm.....	50
Figura 21 - Mapa de isotores de Ni em ppm.....	51
Figura 22 - Mapa de isotores de Zn em ppm.....	52
Figura 23 - Mapa de isotores de Rb em ppm.....	52
Figura 24 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 1, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.....	53

Figura 25 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 2, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.....	54
Figura 26 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 3, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.....	54
Figura 27 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 4, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.....	55
Figura 28 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 5, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.....	55
Figura 29 – Mapa de condutividade aparente em diferentes profundidades de investigação.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representa a relação entre a profundidade de penetração e as distâncias entre as bobinas e o dipolo utilizado.....	32
Tabela 2 - Relação de alguns elementos farejadores com depósitos de ocorrência de cobre.....	33
Tabela 3 – <i>Backgroud</i> de alguns elementos da área de estudo pela proposta de Da Rocha (2010).....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Abundância normal (clarque) de alguns elementos.....	34
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Au – Ouro

CMPF - Complexo Metamórfico Passo Feio

CPRM – Campanha de Pesquisa de Recursos Minerais

Co - Cobalto

Cu - Cobre

DV – Dipolo Vertical

DH – Dipolo Horizontal

ESRG - Escudo Sul-rio-grandense

FPF – Formação Passo Feio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Mo - Molibdênio

NE – Nordeste

Ni - Níquel

N-S – Norte-Sul

NW – Noroeste

Rb – Rubídio

RS – Rio Grande do Sul

TSG – Terreno São Gabriel

\bar{X} – Valor médio do valor de concentração das amostras

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	20
2.1 Gerais.....	20
2.2 Específicos	20
3 JUSTIFICATIVA	20
4 ÁREA DE ESTUDO.....	21
5 CONTEXTO GEOLOGICO.....	24
5.1 Geologia Regional.....	24
5.1.1 Escudo Sul-rio-grandense (ESRG)	24
5.1.2 Terreno São Gabriel (TSG)	25
5.2 Geologia Local	26
5.2.1 Complexo Metamórfico Passo Feio.....	26
5.3 Depósitos de cobre no Brasil.....	28
5.3.1 Depósitos de cobre no Rio Grande do Sul (RS).....	28
6 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	29
6.1 Métodos Geofísico Eletromagnéticos	30
6.2 Prospecção Geoquímica	33
6.3 Fundamentos básicos estruturais.....	35
6.3.1 Projeção estereográfica.....	36
7 MATÉRIAS E METODOS.....	38
7.1 Etapa pré-campo	39
7.2 Etapa campo	39
7.2.1 Medidas Estruturais.....	39
7.2.2 Geofísica	39

7.2.3 Geoquímica	40
7.3 Etapa pós-campo	41
7.3.1 Dados Estruturais	41
7.3.2 Dados Geofísicos	41
7.3.3 Dados Geoquímicos	41
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
8.1.1 Dados Geológicos e Estruturais	44
8.1.2 Dados Geoquímicos	48
8.1.3 Dados Geofísicos	53
8.2 Discussões.....	57
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE	66

1 INTRODUÇÃO

O ser humano prospecta recursos minerais como ferro, bronze, cobre e ouro, desde a sua origem, seja para construções de ferramentas rudimentares, armas, abrigos, ou até para moeda de troca. Com o passar dos anos e com o conhecimento adquirido as técnicas de prospecção foram se aprimorando, até chegar nas atuais formas de prospecção mineral que são: caracterização geológica, geoquímica e geofísica (PEREIRA, 2003).

Estudos voltados à pesquisa mineral são fundamentais para o reconhecimento e a incorporação de novas reservas, devido ao aumento do uso de recursos minerais. No Brasil, uma das *commodities* mais utilizada atualmente é o cobre e historicamente a demanda por cobre tem sido maior que a sua produção. Essa é uma das *commodities* com impacto negativo na balança comercial brasileira, segundo o Anuário Mineral Brasileiro, em 2019, foram importados 21,5% do cobre utilizado no ano.

A importância de estudos voltados para pesquisa mineral de cobre advém de sua grande aplicabilidade em diversos setores da produção, em virtude de suas características técnicas, como alta condutividade elétrica e térmica, excelente resistência à corrosão, alta plasticidade, facilidade de manufatura e de liga com outros metais, ótimas características abrasivas e de soldagem, além de excelentes condições para a deposição eletrolítica (CHATTERJEE, 2007).

Na região de Caçapava do Sul - RS, a principal atividade econômica vem do desenvolvimento da mineração de mármore dolomítico (Bortolotto, 1987). Contudo, a região também é conhecida por seus depósitos de Au, Cu, Pb, Zn que já foram extraídos e/ou apenas reconhecidos.

A região de estudo é conhecida como Mina Primavera, está localizada nos arredores da área urbana de Caçapava do Sul. A Mina Primavera está hospedada em rochas metamórficas do Complexo Metamórfico Passo Feio (BITENCOURT, 1983), sendo uma faixa alongada disposta predominantemente no sentido norte-sul que se situa a noroeste, oeste e sudoeste do Complexo Granítico Caçapava do Sul (NARDI & BITENCOURT, 1989). Os litotipos ocorrem em toda a área de estudo e são encontradas principalmente ao longo do topo, das encostas e na base do Morro do Andrade. Esta área fez parte de uma grande campanha de exploração de cobre no Rio Grande do Sul em meados do século XX.

A ocorrência mineral foi analisada com a utilização de técnicas de prospecção geoquímica a partir de coleta/análise de amostras, estudos geofísicos aplicados a eletromagnético e mapeamento geológico, pois são ferramentas fundamentais na pesquisa mineral.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

O objetivo geral desse trabalho foi identificar anomalias correlacionadas a ocorrência mineral da Mina Primavera, com auxílio de medidas estruturais, métodos geofísicos e geoquímica de amostras.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- Delimitar anomalias geofísicas da área;
- Delimitar anomalias geoquímicas da área;
- Criar estereogramas com dados estruturais coletados em campo;
- Correlacionar os dados obtidos.

3 JUSTIFICATIVA

Sabendo que, atualmente, o Brasil está com uma demanda maior do que sua produção de cobre é de extrema importância a realização de campanhas de prospecção mineral em áreas promissoras, para possíveis reconhecimentos de alvos minerais e assim definir a localização, viabilidade e o potencial econômico de uma certa localidade.

A área onde se localiza a Mina Primavera é promissora para a extração de cobre. Contudo, a área tem escassez de informações e referências bibliográficas, logo a realização de campanhas de prospecção mineral é indispensável para a região.

Cabe destacar que a área de estudo se encontra a 5 km da região urbana de Caçapava do Sul, sendo um ponto favorável para campanha de prospecção mineral e facilitando o deslocamento e a coleta de dados.

A escolha do método geofísico eletromagnético para esse estudo foi devido ao trabalho realizado por Nelson Ellert em 1971 “Aplicação do método eletro-magnético indutivo na prospecção de minério de cobre” e ao trabalho realizado por Xing-guo Sun em 2007 “*The application of integrated geophysical prospecting method to the evaluation of haolibao copper deposits*”, nos quais mostraram eficiência para identificação de ocorrências de cobre pelo método geofísico eletromagnético indutor. Além disso o equipamento Geocondutivímetro utilizado para aquisição de dados desse método foi disponibilizado pela Universidade Federal do Pampa.

Na área da Mina Primavera não existem estudos com dados geoquímicos e como a análise geoquímica é de extrema importância para reconhecimento de ocorrências minerais para compreender a distribuição de anomalias, foi introduzido estudos geoquímicos neste trabalho, com intuito de complementar os resultados geofísicos e agregar para conhecimento científico à área.

Vale ressaltar que este estudo está incluído no projeto Reconhecimento de Indicadores Prospectivos de Depósitos Minerais na região Centro-Sul do Rio Grande do Sul, que proporcionou financeiramente os custos dessas pesquisas.

Não podemos deixar de enfatizar que a expansão da prospecção mineral no município de Caçapava do Sul, pode contribuir com a geração de empregos, melhoria na economia e desenvolvimento da região.

4 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Caçapava do Sul se encontra na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, com distância de 260 km da capital Porto Alegre. O acesso se dá pela BR-290 no sentido oeste por 240 km até o trevo com a BR-392 e seguindo ao sul por mais 20 km, até a entrada do perímetro urbano da cidade de Caçapava do Sul.

A área de estudo tem perímetro de 600 metros e 23 mil metros quadrados, com coordenada central 257284 mE e 6615498 mS e é localizada na porção centro-oeste de Caçapava do Sul (figura 1). O acesso se dá através da rodovia RS-357, sentido Caçapava-Lavras, onde é percorrido 1,5 km após a Vila do Segredo, entrando a oeste

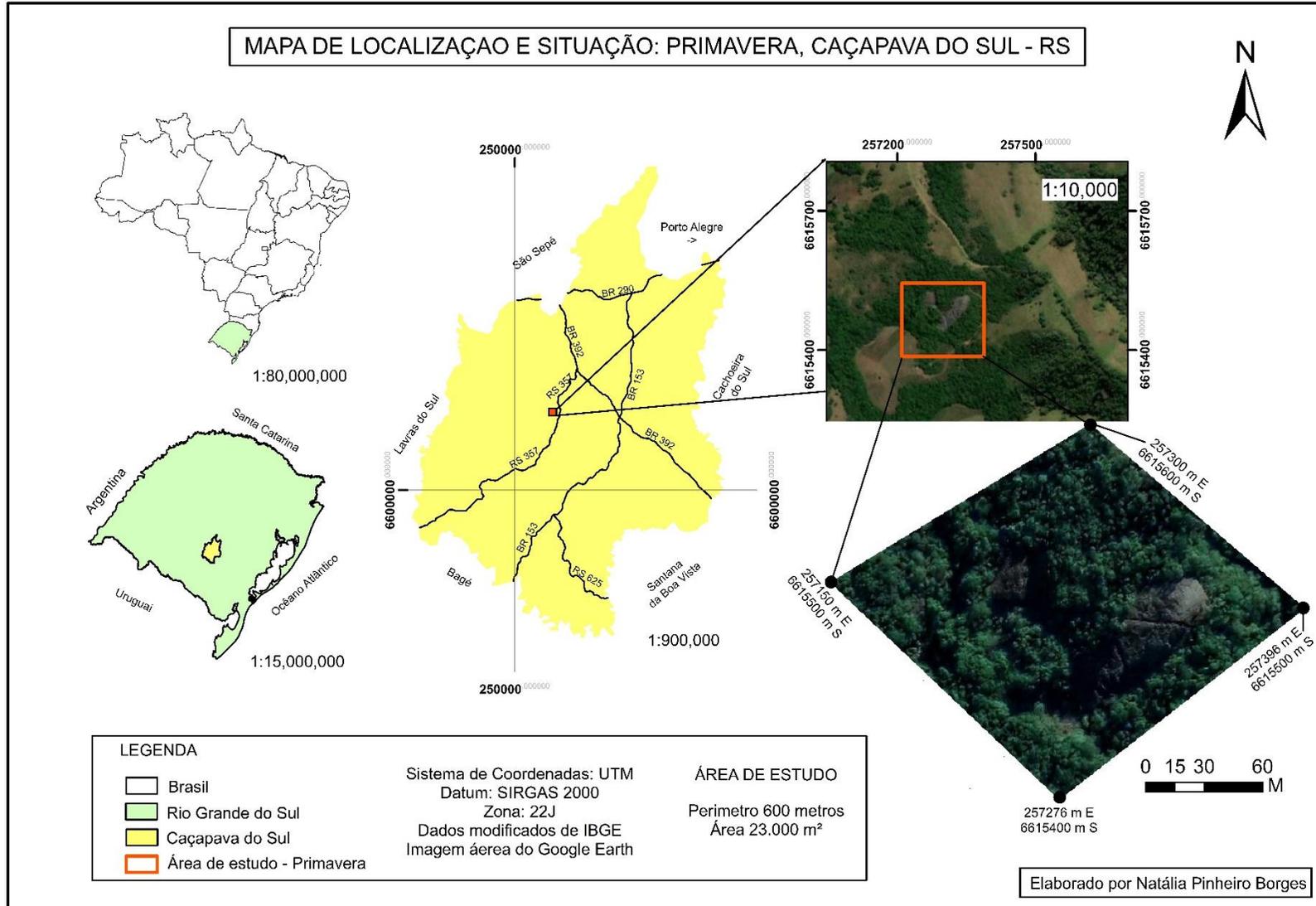
e deslocando-se 1 km até uma porteira com entrada a sul onde é necessário deslocar-se mais 1 km até a área.

A oeste da área de estudo se encontram os altos topográficos denominados Serra do Segredo e Serra dos Lanceiros, e a norte o Morro do Andrade que está localizado em um alto topográfico.

Com solo residual pertencente ao Grupo de Litossolos (COSTA, 1961), a área está situada sobre um solo litólico distrófico a moderado, com textura média cascalhenta com substrato de migmatito, possuindo alguns afloramentos de rocha e relevo ondulado (IBGE, 2002), com altitudes que variam de 250 à 300 m. As formas geomorfológicas são resultantes de forças antagônicas (endógenas-atividades tectogenéticas e exógenas-mecanismos-morfoclimáticos) (CASSETI, 1996) e de acordo com o Mapa Geomorfológico da Região (IBGE, 2009), a área se insere no Planalto Rebaixado Marginal, que compreende as superfícies posicionadas altimetricamente entre 100 e 200 m podendo atingir 450 m.

Por seu relevo ser acentuado, os rios que passam por esta região se adaptam às linhas do relevo (GEOPROSPEC, 2016) e fazem parte do sistema aquífero Embasamento Cristalino II (IBGE, 2012), onde o principal curso d'água deságua no Arroio dos Lanceiro.

Figura 1 - Mapa de localização e situação da área de estudo.



Fonte: Modificado de IBGE e imagem aérea do Google Earth.

5 CONTEXTO GEOLÓGICO

Nesse capítulo será descrito o contexto geológico em escala regional e local da área de estudo.

5.1 Geologia Regional

A evolução geotectônica do estado do Rio Grande do Sul possui um registro de longa data. Hartmann et al. (2007) sugerem que na região já ocorreram colisões entre continentes, arcos de ilha, assoalhos oceânicos, soerguimento de bacias, eventos metamórficos, seguidos por um período pós-colisional com sedimentação e intenso plutonismo/vulcanismo em ambiente extensional e transcorrente. Eventos estes que constituem associações petrotectônicas muito antigas e que compõem o Escudo Sul-rio-grandense, que é limitado a norte e oeste pela cobertura fanerozoica da Bacia do Paraná.

5.1.1 Escudo Sul-rio-grandense (ESRG)

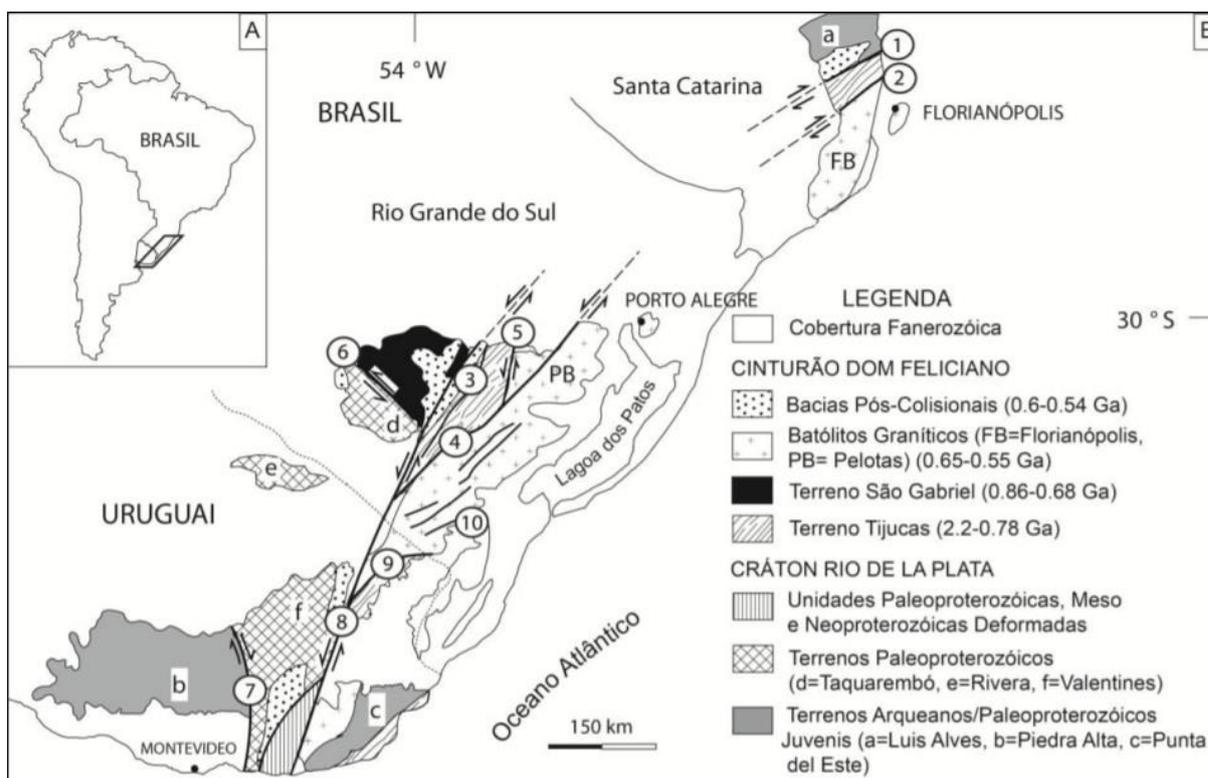
O Escudo Sul-rio-grandense (ESRG) é o resultado de processos de geração de crosta continental e de fontes mandélicas que abrange uma área de aproximadamente 65.000 km² com grande diversidade geológica (CHEMALE Jr., 2000). Comportam rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, que datam de terrenos Arqueanos à Paleoproterozóicos (2,26-2,0 Ga) e unidades Neoproterozóicas (900-535 Ma) relacionadas a dois ciclos orogênicos conhecidos, respectivamente, como Transamazônico e Brasileiro/Pan-Africano (FRAGOSO-CESAR, 1980; SOLIANI JR, 1986; HARTMANN, et. al. 2007).

O ESRG consiste em uma colagem orogênica composta por fragmentos de antigos crátons, arcos magmáticos e prismas sedimentares de idades variadas que foram amalgamados através de uma interação complexa de placas cinemáticas que ocorreu durante o Neoproterozóico, sendo que o ESRG se situava a SW do Gondwana (HARTMANN *et al.* 2007).

ESRG foi dividido em quatro unidades geotectônicas principais (HARTMANN *et al.*, 1998; 2007) (Figura 2), de acordo com suas características estruturais, geofísicas, geoquímicas e litológicas. Sendo elas: Terreno Taquarembó, composto por

rochas do complexo granulítico paleoproterozoico – neoproterozoico; Terreno São Gabriel, representado por unidades formadas principalmente por acreção juvenil e rochas derivadas de um manto neoproterozoico; Terreno Tijucas, caracterizado por rochas granito-gnáissicas anfibolíticas paleoproterozoicas, rochas plutônicas e vulcânicas cálcio-alcálicas e metassedimentares; e Batólito Pelotas, cujos componentes são suítes e complexos graníticos brasileiros.

Figura 2 - Mapa do ESRG evidenciando suas unidades geotectônicas. (A) Localização da área estudada na América do Sul. (B) Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de Cisalhamento: 1- Itajai-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro, 10- Arroio Grande.



Fonte: Philipp et al. (2012), modificado de Hartmann et al. (2007).

5.1.2 Terreno São Gabriel (TSG)

A área de estudo está inserida no Terreno São Gabriel (TSG), que é o único terreno de idade neoproterozoica e assinatura isotópica juvenil do ESRG (BORBA, 2006). É composto por uma associação de rochas metavulcanossedimentares e plutônicas de arco e fragmentos de ofiolitos. Os agrupamentos petrotectônicas, têm

têm significativa imbricação estrutural e estão dispostos como faixas de direção preferencial NE-SW.

O TSG é limitado a sudoeste por uma zona de cisalhamento regional, o Lineamento de Ibaré (HARTMANN *et al.*, 2007) que o limita a sul o Domínio Taquarembó, onde ocorrem as rochas do embasamento Paleoproterozoico do Complexo Granulítico Santa Maria Chico. A leste é limitado pelo Terreno Tijucas através do Lineamento Magnético de Caçapava do Sul (COSTA, 1997) e a N e NW é limitado pela cobertura fanerozoica da Bacia do Paraná.

O TSG é dividido em faixas alongadas limitadas por zonas de cisalhamento dúcteis e distintas classificadas por Hartmann *et al.*, (2007) como: Complexo Cambaí; Complexo Palma; Complexo Bossoroca; Complexo Passo Feio.

O Complexo Cambaí é composto por três associações magmáticas: gnaisses dioríticos, tonalíticos e trondjemíticos; metatonalitos e metadioritos; e Suíte Lagoa da Meia Lua. (HARTMANN *et al.*, 2007).

O Complexo Palma foi definido por Garcia & Hartmann (1981) como um conjunto de rochas metassedimentares, disposto em uma estrutura alongada. É representado por uma sequência de dois litotipos: rochas metassedimentares e rochas metaígneas.

O Complexo Bossoroca é limitado a SE pela Bacia do Camaquã, a SW e NE por granitos pós-tectônicos (Ramada, Cerro da Cria e São Sepé), e a NW pela Bacia do Paraná. Este complexo é definido como Sequência Bossoroca, representada por rochas metavulcânicas ácidas, intermediárias e básicas (HARTMANN *et al.*, 2007). O Complexo Passo Feio é representado por uma sequência vulcano-sedimentar metamorfizada sob condições de fácies xisto verde à anfíbolito. (BITENCOURT, 1983).

5.2 Geologia Local

Neste tópico será apresentado uma síntese da unidade onde se localiza a área de estudo, a Mina Primavera.

5.2.1 Complexo Metamórfico Passo Feio

Há diversas nomenclaturas distintas adotadas por diferentes autores para designar esta unidade litológica. Machado (2017) cita as classificações sugeridas por Goñi et al. (1962) (*apud* RIBEIRO et al. 1966), que propôs a designação de “Formação Vacacaí” para rochas mapeadas no entorno de Caçapava do Sul. Estas foram posteriormente reinterpretadas por Bittencourt (1983) sob a nomenclatura de Complexo Metamórfico Passo Feio e por Remus et al. (2000) sob a nomenclatura de Formação Passo Feio (FPF). Neste trabalho, será utilizada a nomenclatura sugerida por Bittencourt (1983), por achar-se que se encaixa melhor nos objetivos propostos.

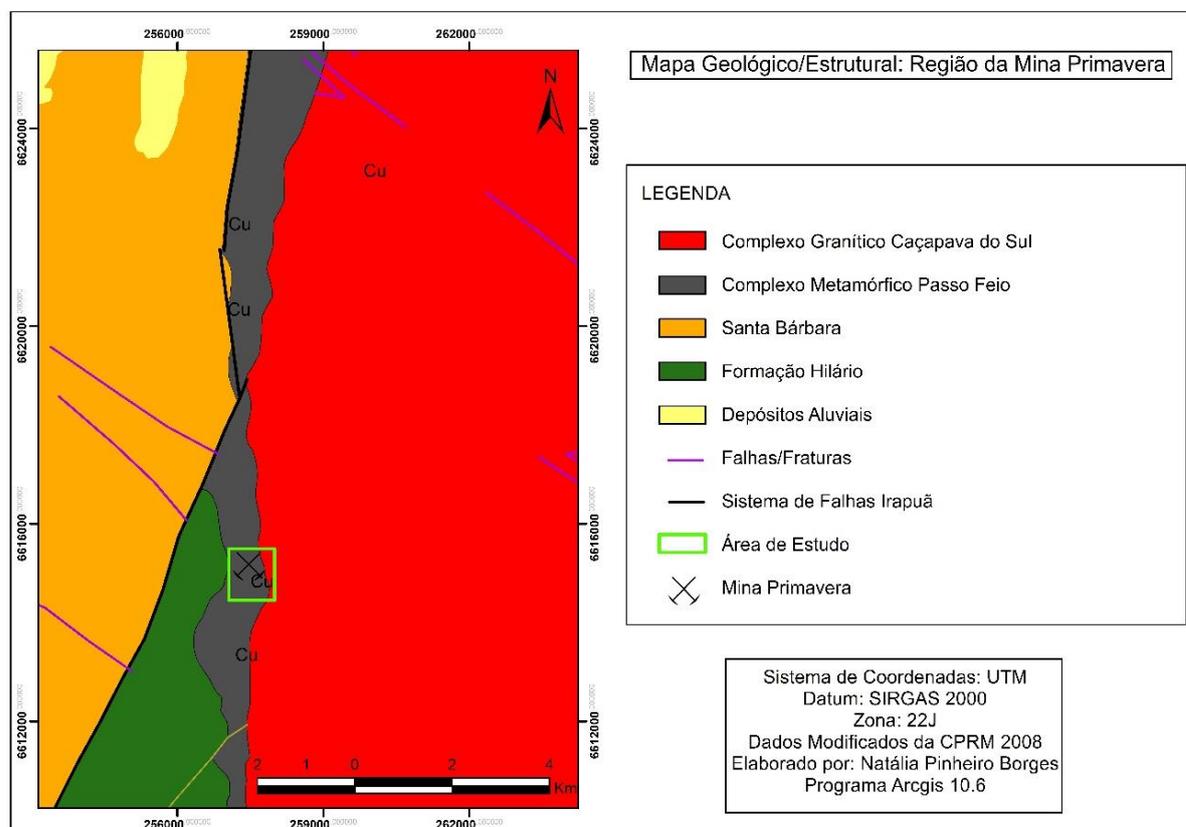
A área de estudo está localizada no CMPF (figura 3), que é constituído por uma sequência de rochas metapelíticas com anfibolitos, metavulcanoclásticas, rochas cálcio-silicatadas, metaconglomerados, anfibolitos, xistos magnesianos, quartzitos e gnaisses quartzo-feldspáticos, com ocorrência restrita de metavulcânicas ácidas de composição riolítica a riodacítica (BITENCOURT, 1983).

Pelo método U-Pb em zircões (SHRIMP – II) para rochas aflorantes, obtiveram idades de 753 ± 2 Ma (BABINSKI et al., 1995). Localmente na porção sudeste, gnaisses e anfibolitos sugerem a presença do embasamento Paleoproterozoico (REMUS et al., 1996), que sofreu um evento de deformação de baixo ângulo que afetou toda a unidade.

Estudos realizados por Bittencourt (1983), sugerem que o CMPF sofreu dois eventos metamórficos regionais M1 e M2, onde ambos tiveram um carácter dínamo-termal, e sofreram duas fases deformacionais D1 e D2. Também, foi reconhecida uma terceira fase deformacional (D3) que não acompanha o metamorfismo regional. O primeiro evento metamórfico (M1) atingiu a fácies anfibolito em alto grau e baixa pressão, e o segundo (M2) atingiu a fácies xisto verde e tem carácter retrogressivo.

O CMPF foi afetado por falhas transcorrentes de direção NE, do Sistema de Falhas Irapuã. Reis (2016), sugere que os efeitos termais da intrusão do Granito Caçapava do Sul ocorreram no CMPF, e que ocorrências de cobre são observadas na direção NE do Sistema de Falhas Irapuã ou nas fraturas extensionais transversais na direção NW.

Figura 3 - Mapa Geológico/Estrutural da região da área de estudo, com as ocorrências de cobre proximais.



Fonte: Modificado da CPRM, 2008.

5.3 Depósitos de cobre no Brasil

Normalmente, as jazidas de cobre possuem grandes dimensões e baixos teores. De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro de 2019, o teor médio dessas jazidas no Brasil é de 0,72% de cobre.

Brito et al. (2010), definiram que o Brasil tem cinco modelos de depósito de cobre principais, sendo eles em ordem crescente de volume: em séries sedimentares; Vulcanogênicos (VMS); de segregação magmática; de cobre-pórfiro; tipo Óxido de Fe-Cu-Au.

5.3.1 Depósitos de cobre no Rio Grande do Sul (RS)

As principais ocorrências de cobre que ocorrem no RS podem estar relacionadas a diferentes processos geológicos. Sabe-se que as subdivisões do ESRG possuem ocorrências de depósitos e/ou mineralizações distintas, sendo as

mais importantes economicamente: Mina do Camaquã, é um depósito de séries sedimentares detríticas; Cerro dos Martins, possui dois estilos de mineralizações um em filões e outro de forma disseminada, compreende um teor médio de 0,83% Cu (COMPANHIA BRASILEIRA DE COBRE, 1978; TONIOLO, 2004); Cerro das Ovelhas, compreende um conjunto de filões mineralizados; e Mina do Seival, localizada a NE da cidade de Lavras do Sul, sendo separada em duas áreas que apresentam baixos teores até teores de 1,7% de Cu.

Na borda oeste do Granito Caçapava do Sul são observados indícios de mineralizações de Cu; encaixados e/ou disseminados em brechas de falhas que cortam os xistos do CMPF (RIBEIRO, 1978).

A dezenas de metros da auréola do metamorfismo da intrusão, na região de Caçapava do Sul, há duas ocorrências de cobre que chamam atenção desde o século passado; a Mina Andradas e a Mina Primavera, esta última sendo a área de estudo (RIBEIRO, 1978).

Robertson e Johnson (1966), sugerem que a proveniência dos xistos verdes de baixo grau da Mina Primavera é fruto do metamorfismo sobre tufos e brechas básicas. Como apontado por Ribeiro (1978), embora as ocorrências de cobre sejam consideradas hidrotermais, estas associadas a falhamentos paralelos ao contato entre o Granito Caçapava do Sul e o CMPF e deslocadas para além da zona de metamorfismo de contato deste plúton.

Conforme Ribeiro (1978), na Mina Primavera o minério é formado por calcocita, crisocola e malaquita disseminadas em metavulcânicas brechadas e em algumas fraturas, chegando a teores de até 4% de Cu em zonas mais ricas (bolsões). A ocorrência está localizada na intersecção da Falha Andradas de direção N-S, e mergulho de 70°W com a falha Primavera de direção N55°W e mergulho de 40°SW.

É reportado uma pequena anomalia magnética superficial na Mina Primavera, o que pode ser advindo de uma expressão magnética de andesitos ou intrusivas básicas controladas por falhamento (JACKSON, 1973).

6 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste capítulo serão detalhadas as teorias sobre os métodos e técnicas utilizadas no trabalho.

6.1 Métodos Geofísico Eletromagnéticos

Na mineração são utilizados diversos métodos geofísicos, um deles é o método eletromagnético indutor, que se baseia no contraste das propriedades elétricas e magnéticas das rochas. Ele é usado na prospecção mineral para localizar depósitos de minerais metálicos (SCOLLAR, 1962), como alumínio, chumbo, cobre, cromo, entre outros.

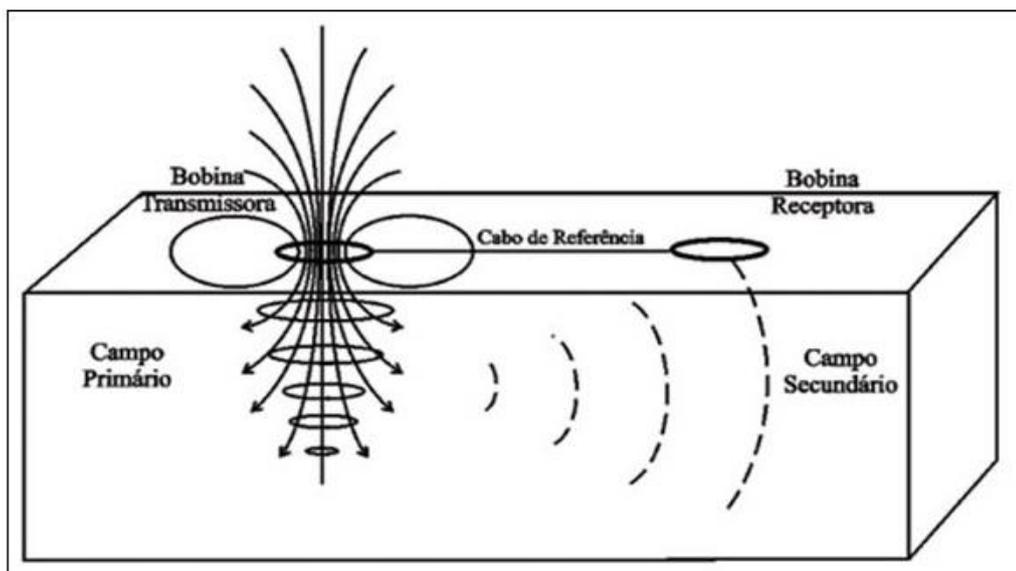
Existe uma variedade enorme de modelos de levantamentos, aplicações e procedimentos para os métodos eletromagnéticos. Cada modelo, envolve a medida, em um receptor de uma ou mais componentes do campo elétrico e/ou magnético, gerado a partir de alguma fonte natural ou artificial a energia eletromagnética (SWIFT, 1987).

Conforme Silva (2002), o método eletromagnético é fundamentado pelo conceito físico da eletricidade e do magnetismo, que resultam na propagação de ondas eletromagnéticas de baixa frequência (<30000 Hz).

Quando uma corrente elétrica passa por um fio é gerado um campo magnético nas vizinhanças desse fio, esse processo é chamado de indução eletromagnética. No método indutivo o campo primário é gerado através da bobina transmissora. É estabelecido uma corrente que flui no campo magnético, nas proximidades da bobina e causa o fluxo de nova correntes, que são as secundárias. Essas novas correntes ao fluírem pelo condutor (rocha/solo) criam um novo campo magnético, que reflete informações sobre o condutor (figura 4).

Segundo Silva (2002), as respostas do método eletromagnético vêm através da indução de uma bobina entre transmissor e receptor. Manifesta-se como: campos resultantes da relação entre campo primário e secundário; e campos secundários. Sendo que o campo primário é gerado pela bobina transmissora e se propaga perpendicularmente. E o secundário é gerado em volta de um corpo em subsuperfície.

Figura 4 – Princípio do método eletromagnético indutivo.



Fonte: MOREIRA et al. (2005).

Conforme Reynolds (2011), este método utiliza duas configurações de dipolo, para a realização das medições, sendo Dipolo Horizontal (DH) e Dipolo Vertical (DV). São a partir desses dipolos que o levantamento eletromagnético vai ter profundidade de penetração da radiação eletromagnética e a resolução da profundidade.

Reynolds (2011), afirma que a profundidade de penetração é responsável pela realização da frequência e da condutividade do meio onde a radiação eletromagnética se espalha em frequências habituais (<5kHz).

Skidepht é o termo utilizado para referenciar a profundidade de penetração, na qual a profundidade é definida por *Sheriff*, em que a amplitude da onda plana tem decréscimo de 1 ou 37%, considerando à amplitude inicial (REYNOLDS, 2011).

Ainda segundo Reynolds (2011), em sistemas EM34 a profundidade de penetração é representada pela função de separação entre as bobinas, onde a profundidade da penetração é o comprimento de onda, na qual são inversamente proporcionais.

O equipamento do método eletromagnético indutivo deve ser operado por pelo menos duas pessoas, onde cada uma ficará com uma bobina a Transmissora ou a Receptora afastados por uma distância (s), comprimento do fio escolhido e posição das bobinas (tabela 1), que determina a profundidade das ondas eletromagnéticas, na qual é considerada a frequência do campo (f) e a condutividade do meio (σ), (JOSÉ e CAVALCANTE, 2000; REYNOLDS 1997).

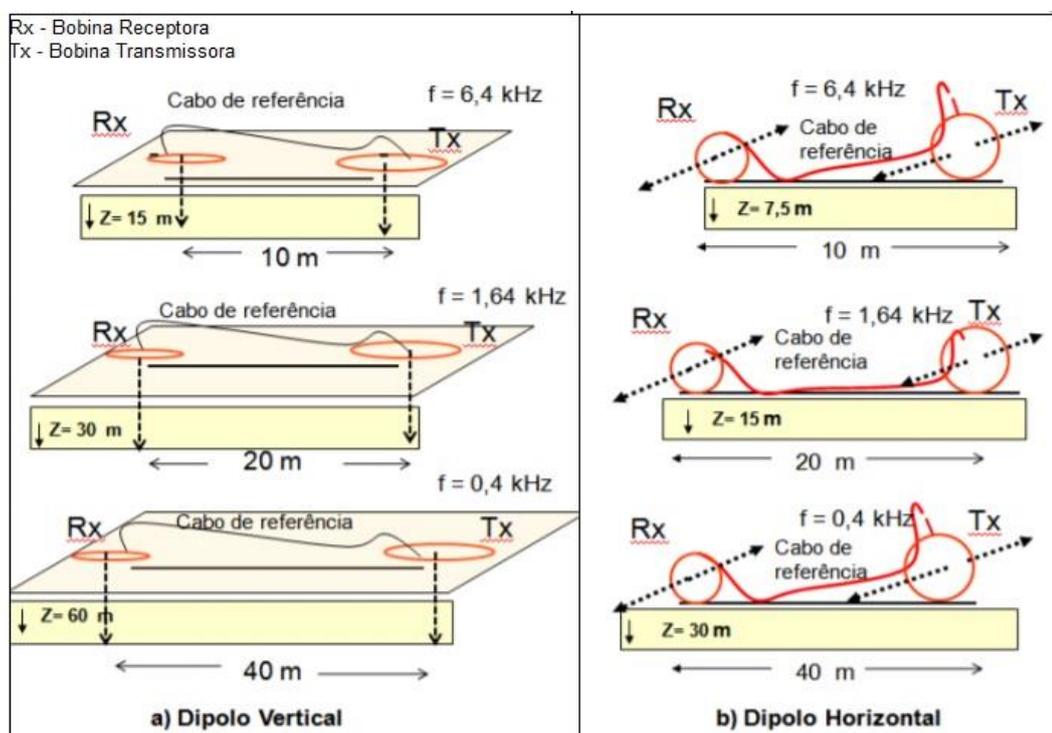
Tabela 1 – Representa a relação entre a profundidade de penetração e as distâncias entre as bobinas e o dipolo utilizado.

Espaçamento entre as Bobinas (metros)	Profundidade de Penetração (metros)	
	Dipolos Horizontais	Dipolos Verticais
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

Fonte: Adaptado de José e Cavalcante (2000).

As leituras de condutividade feitas em sistemas EM34 são expressas em milisemens por metro (mS/m). E podem ser utilizadas em duas combinações (figura 5), (CUNHA, 2009).

Figura 5 – Configuração das bobinas dipolos horizontal e vertical. A) Bobinas coplanares horizontais, gerando um dipolo magnético vertical; B) Bobinas coplanares verticais, gerando um dipolo magnético horizontal



Fonte: Cunha, 2009.

6.2 Prospecção Geoquímica

De acordo com White (1997), a prospecção geoquímica utiliza ferramentas da química para entender a Terra e seus processos. Entende-se que a geoquímica de exploração tem objetivo de encontrar depósitos minerais (DA ROCHA, et al. 2010) com auxílio das leis que regem a distribuição e migração dos elementos na Terra.

Os elementos químicos possuem afinidade com outros elementos, então, é de extrema importância saber essa relação, pois na pesquisa mineral o enfoque é no elemento mais abundante em associação geoquímica com aquele mais raro ou de dispersão mais restrita (DA ROCHA, et al. 2010). A tabela 2, associa os elementos farejadores com elemento de interesse e seu respectivo depósito.

Tabela 2 - Relação de alguns elementos farejadores com depósitos de ocorrência de cobre.

DEPÓSITO MINERAL	ELEMENTO PROCURADO	ELEMENTO FAREJADOR
Cobre Pórfiro	Cu, Mo	Zn, Au, Re, Ag, As, F
Depósitos complexos de sulfetos	Zn, Cu, Ag, Au	Hg, As, S (SO ₄), Sb, Se, Cd, Ba, F, Bi
Depósitos tipo "Skarn"	Mo, Zn, Cu	B, Au, Ag, Fe, Be

Fonte: Adaptado de Da Rocha, et al., (2010).

A geoquímica de exploração procura uma distribuição de anomalias pela área de interesse. Entende-se que anomalias são uma concentração anormal, podem ser positiva ou negativa. Essas anomalias são definidas a partir da concentração normal (quadro 1) dos elementos na Terra, os quais são denominados de Clarke, para um enfoque mundial. Para o enfoque regional ou local é comparado os resultados com o valor de *Background*.

Da Rocha et al., (2010) sugere que:

- Anomalia positiva são os valores maiores que a média mais dois desvios padrões ($X + 2 \sigma$);

- Limiar é o valor que se separa uma anomalia positiva do *Background* definido por: $X + 2 \sigma$;
- *Background* é definido pelo intervalo de $X + 2 \sigma$ e $X - 2 \sigma$;
- Anomalia negativa são os valores abaixo de $X - 2 \sigma$.

Para a prospecção e a exploração mineral procura-se anomalias positivas, que possuem teores de elementos mais abundantes. Existem diversas aplicações da prospecção geoquímica, como análise de sedimento de corrente, solo, água, botânica e rocha. Nesse trabalho será explorado a litogeoquímica, onde as análises podem ser de minerais individuais ou de rocha total.

Quadro 1 - Abundância normal (clarque) de alguns elementos.

Elemento	Símbolo	Abundância em ppm	Elemento	Símbolo	Abundância em ppm
Bromo	Br	1,8	Mercurio	Hg	0,02
Cadmio	Cd	0,1	Molibdenio	Mo	1,5
Calcio	Ca	33000	Niobio	Nb	20
Carbono	C	230	Níquel	Ni	75
Cerio	Ce	81	Ouro	Au	0,003
Cesio	Cs	3	Oxigênio	O	473000
Chumbo	Pb	10	Paládio	Pd	0,01
Cloro	Cl	130	Prata	Ag	0,05
Cobalto	Co	25	Platina	Pt	0,0005
Cobre	Cu	50	Potássio	K	25000
Cromo	Cr	100	Rênio	Re	0,0006
Escandio	Sc	13	Rubídio	Rb	150
Estanho	Sn	80	Selênio	Se	0,1
Estroncio	Sr	300	Silício	Si	291000
Flúor	F	600	Sódio	Na	25000
Fósforo	P	900	Tálio	Tl	0,45
Gálio	Ga	26	Tântalo	Ta	2
Germanio	Ge	2	Telúrio	Te	0,002
Hafnio	Hf	3	Titânio	Ti	4400
Ferro	Fe	46500	Tório	Th	10
Índio	In	0,1	Tungstênio	W	1
Iodo	I	0,15	Urânio	U	2,5
Lantânio	La	25	Vanádio	V	150
Lítio	Li	30	Zinco	Zn	2
Magnésio	Mg	17000	Zircônio	Zr	150

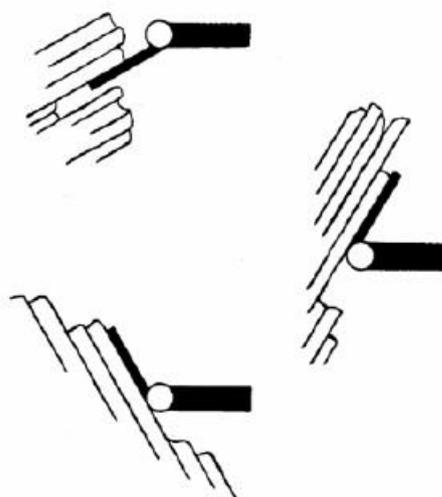
Fonte: Da Rocha et al., (2010).

6.3 Fundamentos básicos de geologia estrutural

Para realizar medidas estruturais é necessário saber alguns conceitos sobre geologia estrutural. Assim, Fossen (2017) descreve alguns termos importantes nesse campo:

- Obtenção de dados em campo: o trabalho em campo inicia pela percepção visual e desenvolvimento de croquis, com o uso de ferramentas básicas tais como martelo, lupa, bússola e câmera fotográfica.
- Croquis e fotografias: os desenhos de croquis e tirar fotografias durante o campo facilita a observação de detalhes minúsculos. Um desenho feito em cima de uma boa fotografia feita em campo pode revelar feições fundamentais para aquisição de dados.
- Medições com a bússola: há uma variedade grande de bússolas e notações de medidas de atitudes, nesse trabalho foi utilizado a bússola modelo Bruton em notação de *Dip Direction* (figura 6).

Figura 6 – Medida com bússola em notação estrutural *Dip Direction*.



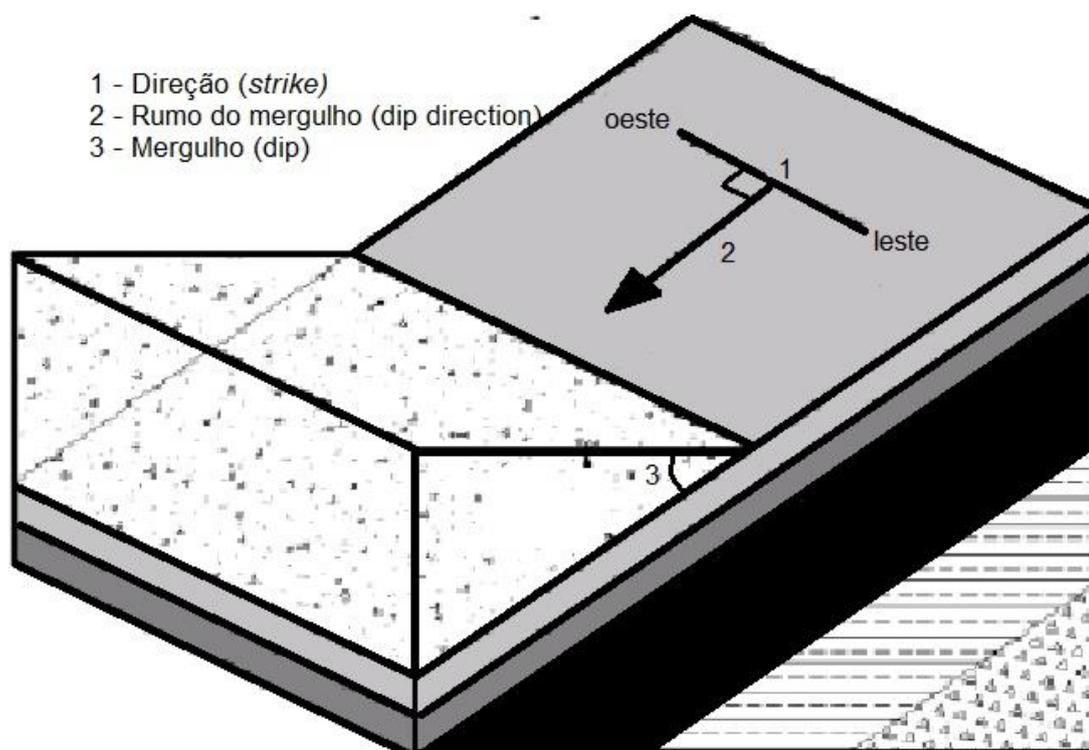
Fonte: extraído de Ranga (2009).

Para ter êxito nessas medidas é importante entender alguns conceitos descritos por Ragan (2009):

- Plano é uma superfície plana que uni duas linhas de interseção;
- Atitude é um termo geral para orientação de um plano ou linha espaço;

- Azimute é o ângulo horizontal medido no sentido horário a partir do norte;
- *Strike* (direção) é a tendência de uma linha horizontal em um plano inclinado (figura 7);
- Mergulho verdadeiro é a inclinação da linha mais íngreme em um plano;
- Mergulho aparente é a inclinação de uma linha oblíqua em um plano;
- Rolamento estrutural é o ângulo horizontal medido a partir da direção do *Strike* até o objeto de interesse.

Figura 7 - Definição do *Dip Direction*, o ângulo do *Dip* e o *strike*.



Fonte: Modificado de DANG (2008).

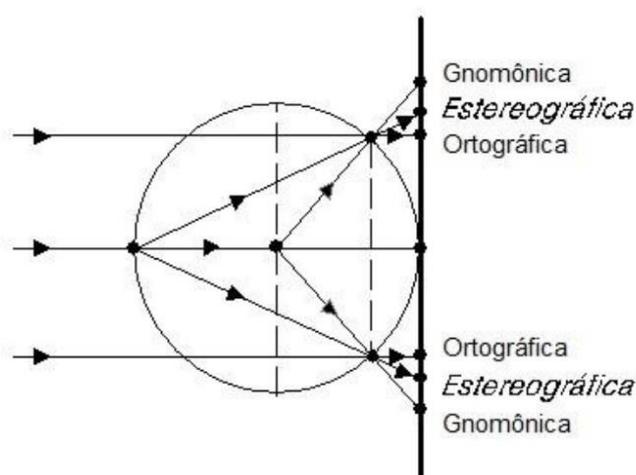
6.3.1 Projeção estereográfica

Projeção estereográfica é uma ferramenta que permite a manipulação e representação de dados tridimensionais, sendo uma das ferramentas mais importante usada na geologia estrutural. Com ela, é possível representar graficamente os dados coletados em campo para a interpretação de orientações preferenciais das estruturas geológicas (LISLE & LEYSHON, 2004).

A ferramenta de projeção estereográfica processa e analisa os dados, que podem ser mostradas em gráficos por construções geométricas padronizadas (redes estereográficas) (LISLE & LEYSHON, 2004).

As redes estereográficas fazem uso de propriedades baseadas em princípios de perspectiva, onde a posição do centro em relação com a esfera determina o tipo de projeção como a ortográfica, gnomônica e estereográfica (figura 8), (CARNEIRO, 1996).

Figura 8 – Princípio construtivos das projeções.

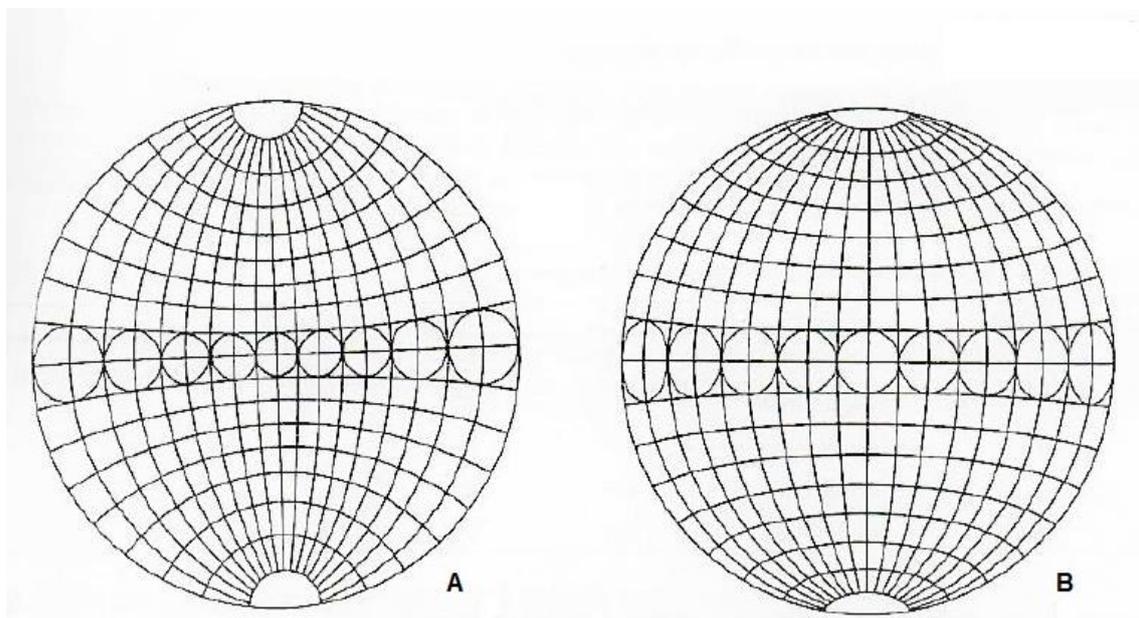


Fonte: Carneiro, 1996.

Existem diversos tipos de redes estereográficas, entretanto as mais comuns usadas na Geologia são rede de Wulff e rede Schimdt (ROWLAND et al., 2013). O Wulff é representado pelo próprio círculo equatorial da esfera de referência, no qual os círculos máximos são descritos como longitudes e os círculos mínimos como latitudes, com intervalos de 2 graus (HOBBS et al., 1976). Já o Schimdt também é descrito por círculos máximos e mínimos, entretanto as áreas iguais na esfera de referência permanecem as mesmas na projeção. Nesta rede não se preserva as relações angulares. (ROWLAND et al., 2013)

De modo geral a rede de Wulff e a de Schimdt são bem semelhantes, a maior diferença é a construção das áreas equivalentes em toda rede (figura 9). No Schimdt, a área da unidade de malhar é constante em qualquer ponto de observação. Já no Wulff, a área da unidade de malha tende a se concentrar no centro da rede. (CARNEIRO, 1996). Neste trabalho foi usado a rede de Schimdt, pois é a mais utilizada atualmente por geólogos estruturais.

Figura 9 – Diferença entre as áreas da unidade de malha em diversos lugares. (A) Rede Wulff; (B) Rede Schmidt



Fonte: Modificado de Carneiro (1996).

7 MATERIAIS E METODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas três etapas que envolvem revisão bibliográfica (pré-campo), trabalho de campo (campo), interpretação e discussões dos dados obtidos juntamente com as conclusões fornecidas pelas revisões bibliográficas (pós-campo).

7.1 Etapa pré-campo

Nessa etapa foram revisados diversos trabalhos/artigos/livros sobre campanha de prospecção mineral, uso de métodos geofísicos para prospecção de cobre, prospecção geoquímica, geologia regional e local da área de Caçapava do Sul. E a partir dela foi determinada a delimitação da área de estudo e os métodos aplicados para campanha de prospecção mineral. Em seguida foi realizado a elaboração de mapas da área pelo *software* Arcgis 10.3 com dados disponíveis pelo *site* da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

7.2 Etapa campo

Essa etapa, consistiu nas saídas de campo para o recolhimento de dados da área.

7.2.1 Medidas estruturais

No dia 10 de julho de 2019, foram coletados dados estruturais no afloramento rochoso da área de estudo. Foram feitas 40 medidas com a bússola modelo tipo Brunton em notação de *Dip Direction*, da foliação da rocha e foi feito uma descrição sucinta de todo afloramento. Essa técnica teve como objetivo favorecer a interpretação de como os minerais de minério estavam dispostos na rocha.

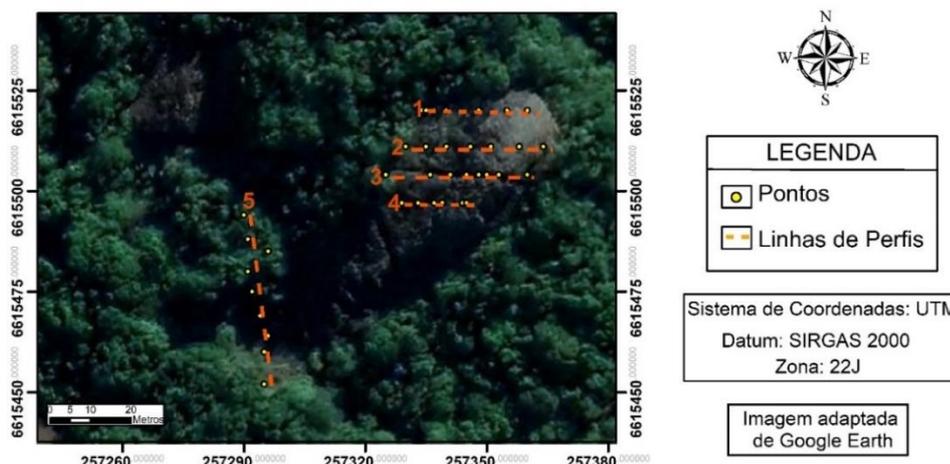
7.2.2 Geofísica

Os levantamentos de dados geofísicos ocorreram nos dias 10 de julho de 2019 e 21 de agosto de 2019. Nestes foi utilizado o método geofísico eletromagnético indutor, em perfis transversais à deposição da ocorrência de cobre com auxílio do equipamento Geocondutivímetro com sistema EM34 modelo XL da marca Geonics Ltd.

A técnica de caminhamento utilizada foi proposta por Greenhouse & Slaine (1986) com espaçamento entre as bobinas de 10 metros e entre os pontos de 5 metros, com Dipolo Horizontal (DH) e Dipolo Vertical (DV), tendo profundidade de investigação de 7,5 e 15 m, respectivamente, em cada ponto, por toda área de trabalho.

No total foram realizados 5 perfis de caminhamento (figura 10). Nos perfis 1 e 4 foram demarcados 7 pontos com comprimento total de 30 metros. Nos perfis 2 e 3 foram demarcados 8 pontos com comprimento total de 35 metros e no perfil 5 foram demarcados 10 pontos com comprimento total de 45 metros. A variação de tamanho dos perfis ocorreu devido a topografia acidentada da área de estudo.

Figura 10 - Mapa de linhas dos perfis geofísicos feitos em campo.

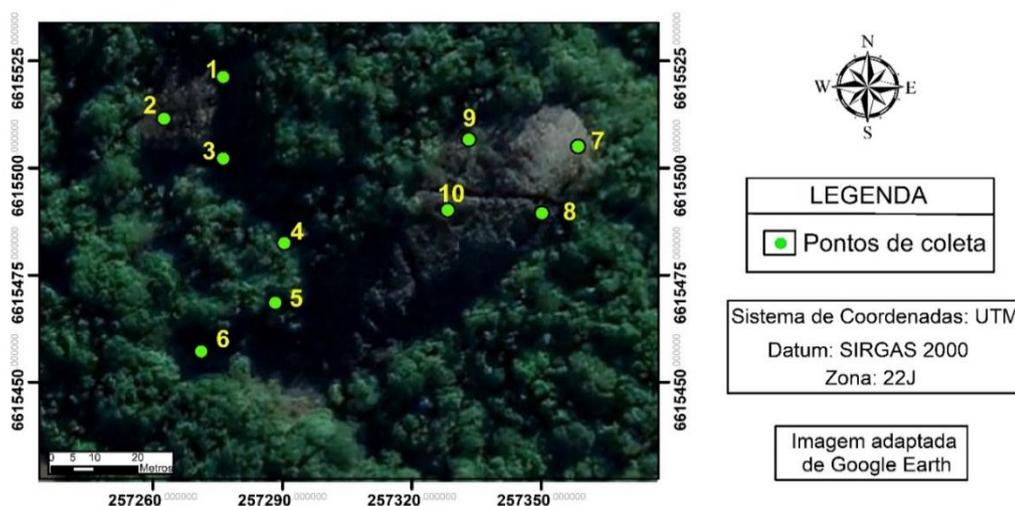


Fonte: Adaptado de Google Earth.

7.2.3 Geoquímica

No dia 11 de julho de 2019 foi realizada a coleta de 11 amostras de rochas, figura 10, dispersas pela área de estudo, para a coleta foi utilizando a técnica de amostragem *Chip Sample* ou amostras de pedaços de rocha (DA ROCHA, et al. 2010). Nessa técnica é determinada uma área de 1 m² e nela são coletados pequenos pedaços de rochas que representem de maneira não tendenciosa a localidade. Para prospecção mineral em rochas heterogênicas, esse tipo de amostragem traz um melhor resultado que a amostragem tradicional.

Figura 11 - Mapa de pontos de coleta das amostras para geoquímica.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

7.3 Etapa pós-campo

Nesta etapa, os dados obtidos em campos foram tratados, analisados e por fim correlacionados.

7.3.1 Dados estruturais

Os dados estruturais obtidos em campo, foram organizados no programa Microsoft Excel 2013 (apêndice A). Posteriormente exportados para o *software* OpenStereo, no qual foram criados estereogramas de rede Schimidt, para uma melhor interpretação dos dados.

7.3.2 Dados Geofísicos

Para a interpretação dos dados geofísicos, os resultados obtidos em campo foram interpolados pelo método da mínima curvatura. De acordo com Andriotti (2009), consiste na utilização de um polinômio que gera uma superfície que minimize a curvatura entre os dados determinando uma função. Para tanto, foi utilizado *software* Surfer 13, para gerar um mapa de anomalias geofísicas com as profundidades de 7,5 e 15 metros.

Os dados de cada perfil, também, foram transcritos no programa Microsoft Excel 2018 e transpassados a gráficos comparativos aos dados obtidos em cada ponto em relação ao DH e DV.

7.3.3 Dados Geoquímicos

As amostras coletadas para as análises geoquímicas foram reduzidas a tamanho brita com auxílio de marreta e posteriormente transformadas em pó com o auxílio do equipamento moinho MA 500, marca Marconi (figura 12 – A), no Laboratório de Petrologia e Mineralogia da Universidade Federal do Pampa. Para a realização da moagem foram adicionadas 30 bolas de porcelana junto a amostra, a fim de aumentar o atrito, por um período que variou entre 1 a 2 horas, estando diretamente relacionado à resistência e quantidade da amostra. Após esta etapa, as amostras em pó foram transferidas para as peneiras de abertura 0,50 e 0,60 mm da marca Granuteste, (figura

12 – B) e caso houvesse algum resíduo da amostra elas foram novamente submetidas ao moinho.

Após todo este processo, as amostras foram adicionadas em sacos plásticos específicos, identificadas individualmente (figura 12 – C) e encaminhadas ao Laboratório GeoSol em Belo Horizonte – MG, que realizou a análise dos elementos maiores por ICP (*Inductively Coupled Plasma*) e elementos menores por ICP-MS (*inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*).

Os limites detectáveis pelo laboratório, em ordem de menor para maior precisão, são: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, K₂O Na₂O, P₂O₅, LOI e F = 0,01% (100 ppm) ; TiO₂ e MnO 0,001% (10 ppm); Cr e Ni = 20 ppm; Cu e Zn = 10 ppm; Pb e V = 5 ppm; Ba = 3 ppm; Sr, Mo e Ag = 2 ppm; Rb, Sc, Sn, Zr, Be, Co, Ga, Li = 1 ppm; As, Ge, W, Y = 0,5 ppm (500 ppb), Nb e Sb = 0,2 ppm (200 ppb); Bi, Cs, Hf e In = 0,1 ppm (100 ppb); Th, Tl, La, Ce, Nd = 0,05 ppm (50 ppb); Lu = 0,02 ppm (20 ppb); Au = 2 ppb.

Os resultados das 10 amostras foram organizados em uma tabela no programa Microsoft Excel 2013 (apêndice B). Foram separados os elementos Co, Mo, Ni, Zn e Au que são correlacionados diretamente ao cobre e o elemento Rb que é correlacionado inversamente ao cobre, para a elaborados mapas de isovalores no *software* Surfer 13, no qual foi utilizado o interpolador inverso da distância a uma potência quadrada (*Inverse Distance to a Power - IDP*) por ter dado o melhor resultado e por ser comumente mais utilizado em pesquisas minerais.

E por fim foram calculados os valores de *Background* para Co, Mo, Ni, Zn, Au e Rb que obedeceu a proposta de Rocha (2010), onde o valor de *Background* é descrito pelo intervalo de $X + 2\sigma$ e $X - 2\sigma$, onde x é o valor médio encontrado nas amostras e σ é o desvio padrão.

Figura 12 – A) moinho MA 500 da marca Marconi, moendo uma amostra do estudo; B) peneiras de abertura 0,50 mm e 0,60 mm utilizadas na pesquisa; C) Amostras de pó de rocha ensacadas e identificadas para envio ao laboratório.



Fonte: Autora.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão expostos os resultados e discussões alcançados a partir da execução das metodologias propostas no item 7.

8.1.1 Dados Geológicos e Estruturais

Em campo foi possível observar que as rochas aflorantes estão predominantemente em tipo domo e lajeado (figura 13), com baixo a médio grau de alteração.

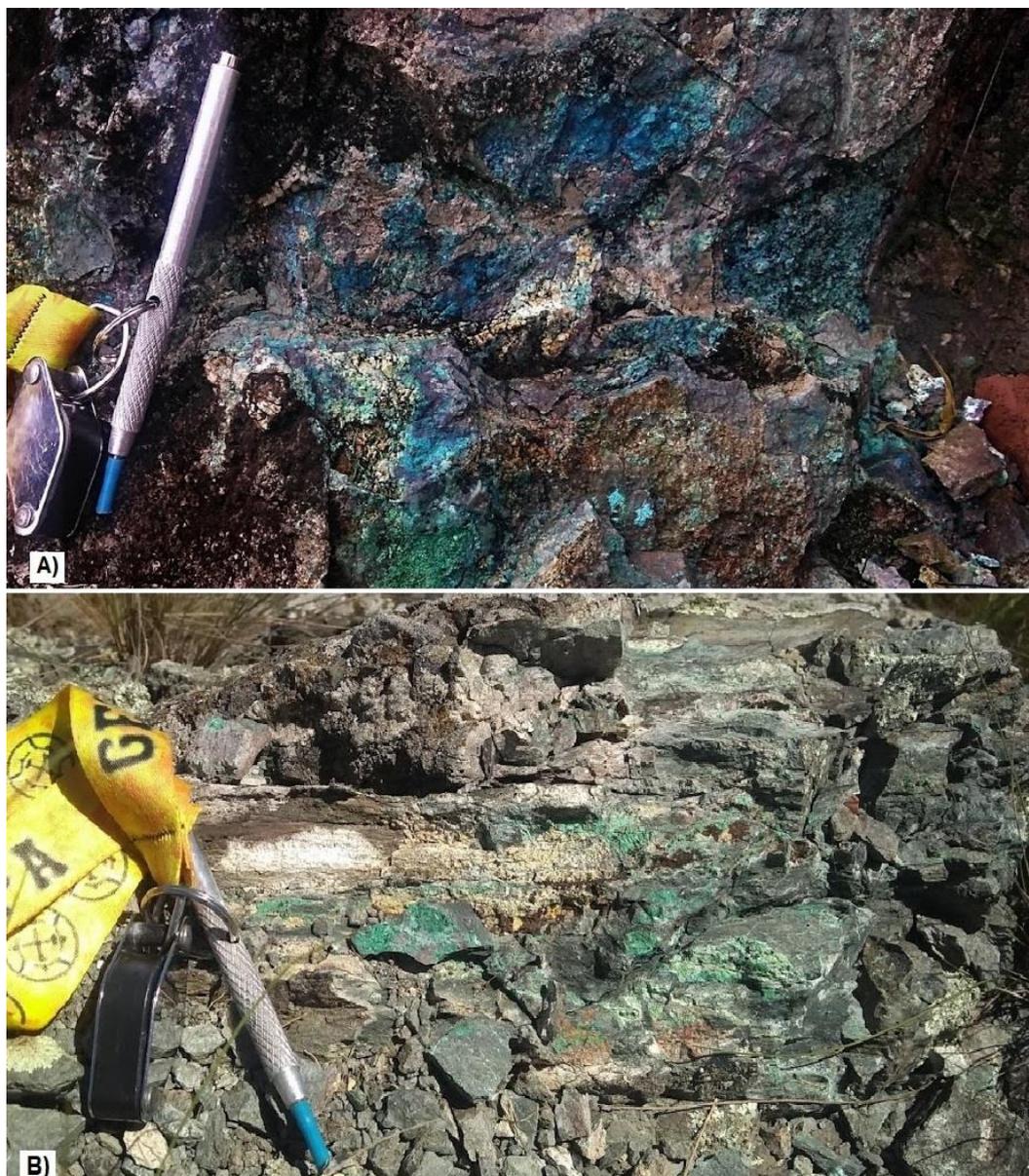
Figura 13 – Apresenta a disposição dos afloramentos pela área de estudo.



Fonte: Autora.

De modo geral, os afloramentos possuem coloração acinzentada nas faces expostas e esverdeada nas faces fresca (figura 14 -A) e apresentam uma foliação bem marcada (figura 14 - B).

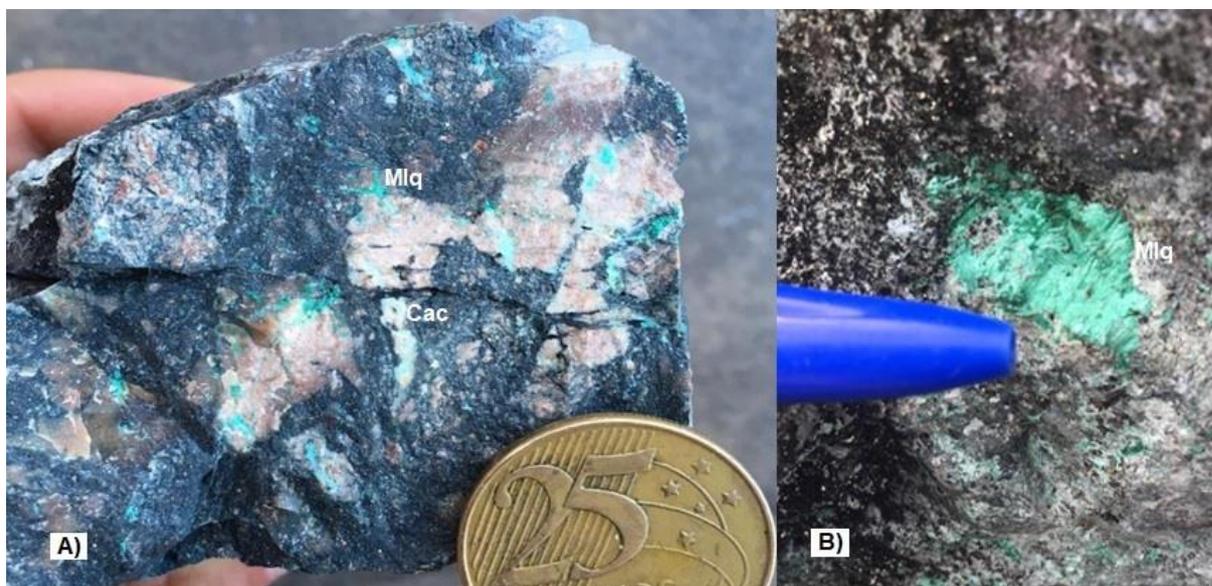
Figura 14 – A) contraste entre a face exposta da face fresca do afloramento; B) foliação bem marcada encontrada na área de estudo.



Fonte: Autora.

Macroscopicamente, foi possível identificar a disseminação de malaquita (carbonato de cobre) de coloração esverdeada, com calcita de coloração branca em rochas metavulcânicas (figura 15 A-B), sendo mais acentuadas na região oeste da área de estudo. As malaquitas também, foram encontradas preenchendo fraturas paralelas a foliação. Isto é, as malaquitas ocorrem disseminados e orientadas segundo à foliação principal.

Figura 15 – A) amostra de rocha metavulcânica da área de estudo, com malaquita (Mlq) e calcita (Cac) associadas; B) mineral de malaquita (Mlq) com 2 cm x 1cm.



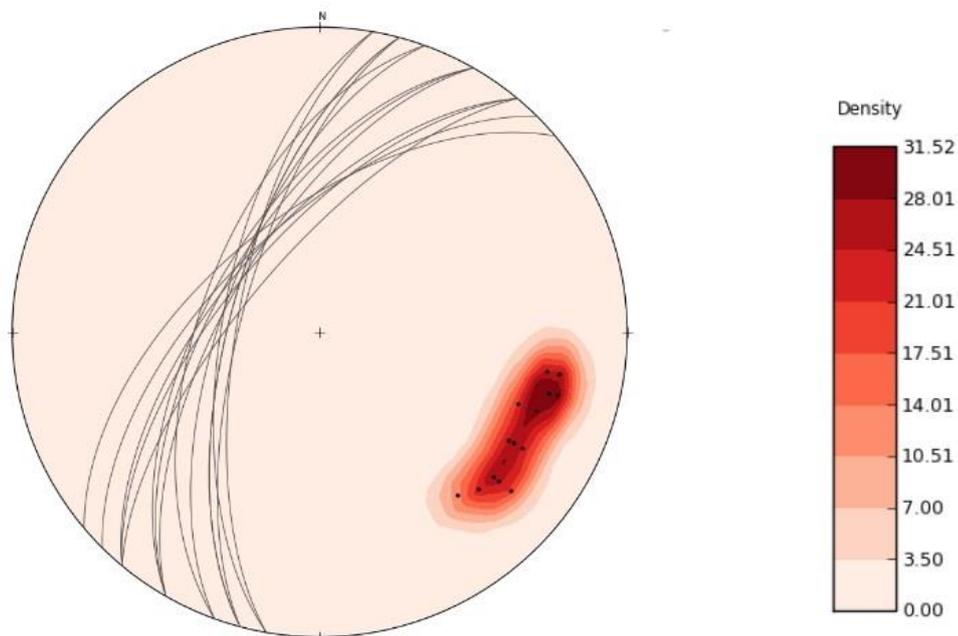
Fonte: Autora.

Em campo, foi possível determinar duas foliações principais, uma predominante nos afloramentos na região leste e outra predominante nos afloramentos a oeste na área de estudo, que receberam o nome respectivamente de foliação 1 e foliação 2. As 20 medidas estruturais de cada tipo de foliação foram plotadas no estereograma denominando as linhas de plano, os polos e a densidade da foliação.

Na figura 16, está representado as medidas da foliação 1, na qual é possível verificar que existe um padrão disposto segundo a direção NE – SW com mergulho para NW. Ocorre leves inversões e nenhuma dispersão nos polos que representam as atitudes.

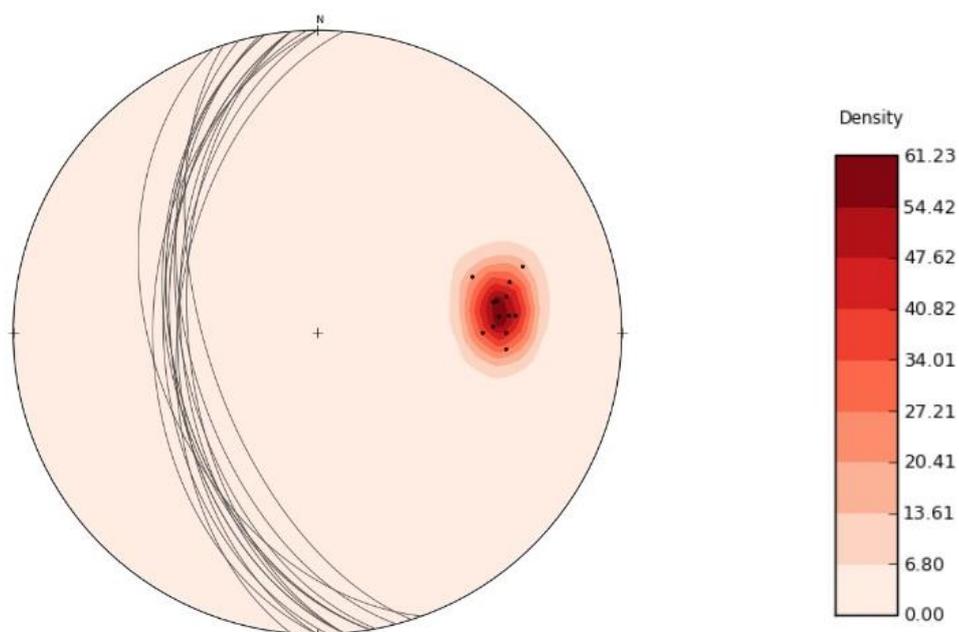
Na figura 17, está representado as medidas da foliação 2, na qual é possível verificar que existe um padrão disposto segundo a direção NNW – SSE com mergulho para NWW. Nessa, também, ocorrem leves inversões e nenhuma dispersão nos polos que representam as atitudes.

Figura 16 – Estereograma da foliação 1 com as linhas dos planos em cinza, os polos das linhas em preto e a densidade em vermelho.



Fonte: Autora.

Figura 17 – Estereograma da foliação 2 com as linhas dos planos em cinza, os polos das linhas em preto, e a densidade em vermelho.



Fonte: Autora.

8.1.2 Dados Geoquímicos

Com os resultados geoquímicos das amostras, foi possível encontrar os valores de *background* (tabela 3) e gerar mapas de isotores com o interpolador IDP, com escala em ppb ou ppm dos elementos selecionados, para representar os valores mais baixos foram escolhidas cores frias e para valores mais altos cores quentes.

Tabela 3 – *Background* de alguns elementos da área de estudo pela proposta de Da Rocha (2010).

Elemento	Au (Ppb)	Zn (Ppm)	Co (Ppm)	Mo (Ppm)	Ni (Ppm)	Rb (Ppm)
Background	3	30,34	25	1,5	75	94,223
	a	a	a	a	a	
	172,82	145,65	170,55	5,898	234	

Fonte: Autora.

- **Cobre**

Devido aos resultados de concentração de cobre tenham sido idênticos em todas as amostras (> 10000 ppm) não foi possível determinar o *Background* do elemento para região e muito menos a elaboração de mapa local de isovalores.

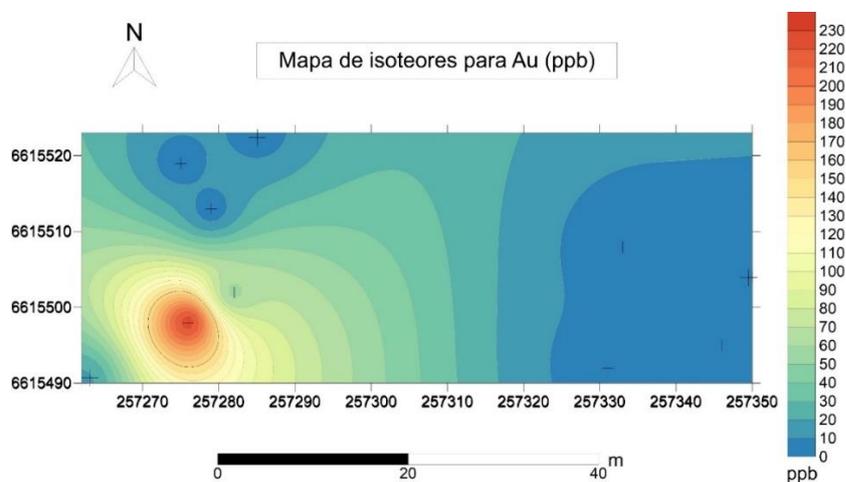
Conforme Skinne (1969), para o setor de exploração mineira alguns metais precisam ter o valor de concentração bem maior que o *clarque*. Portanto para indentificar anomalias a concentração de cobre deve ser de no mínimo 500 ppm ou 0,5 %, para que seja retável. Devido a isso, o valor para indentificar uma anomalia de cobre será baseado no teor de corte, portanto em toda área de estudo existe uma forte anomalia positiva de cobre.

- **Ouro**

Foram analisados concentração de três tipos de ouro, Au - Au1 - Au2, os dois últimos não apareceram concentração nas amostras. Diferente do Au, onde seus resultados geoquímicos variaram de < 5 a 226 ppb com a maior concentração na amostra de número 5, localizada na região sudoeste da área de estudo. Deve-se pontuar que, conforme o quadro 1, o valor *clarque* do ouro é 0,003 ppm ou 3 em ppb, devido a isto podemos apontar que existe uma anomalia positiva em toda área de estudo do elemento Au. Na região sudoeste existe uma forte anomalia positiva, em escala local, isto é, de acordo com o valor de *Background* definido na área.

No mapa de isotores para Au (figura 18), é possível observar a distribuição dos teores e as anomalias de Au.

Figura 18 - Mapa de isotores de Au em ppb.



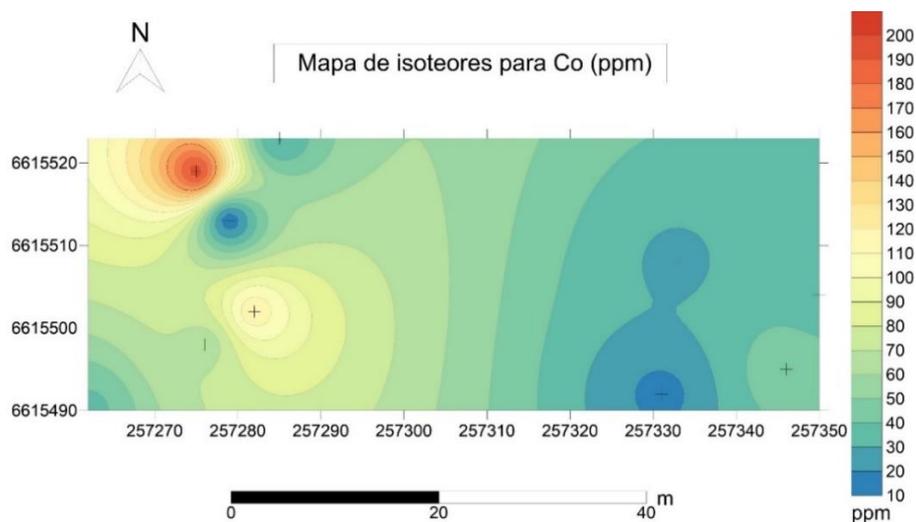
Fonte: Autora.

- **Cobalto**

Os resultados geoquímicos do elemento cobalto (Co) variaram de 14,4 a 194,3 ppm com a maior concentração na amostra de número 2, localizada na região noroeste da área de estudo. Deve-se pontuar que, conforme o quadro 1, o valor *clarque* do cobalto é 25 ppm. Devido a isto, é possível apontar que existe uma anomalia positiva na região noroeste da área e uma anomalia negativa na região leste de toda área. Na região noroeste existe uma forte anomalia positiva, em escala local, isto é, de acordo com o valor de *Background* definido na área.

No mapa de isotores para Co (figura 19), conseguimos observar a distribuição dos teores e as anomalias de Co.

Figura 19 - Mapa de isotores de Co em ppm.



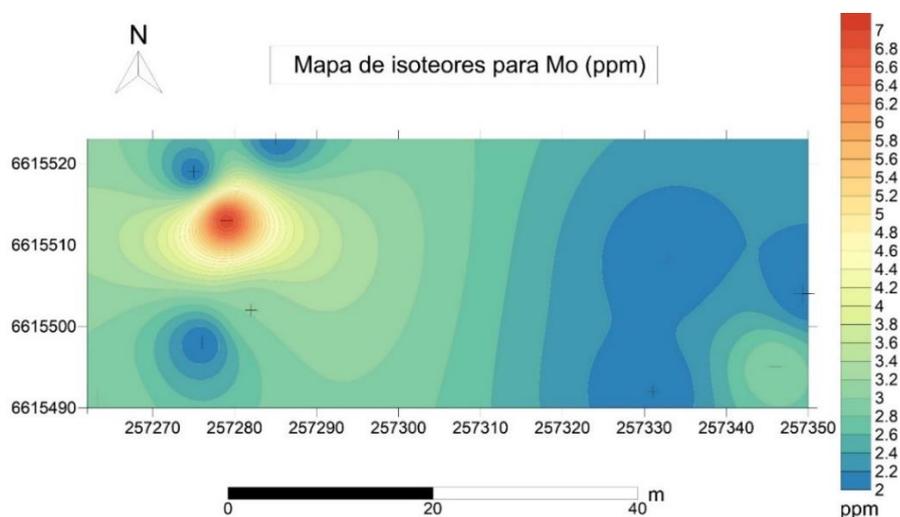
Fonte: Autora.

- **Molibdênio**

Os resultados geoquímicos do elemento molibdênio (Mo) variaram de <2 a 7 ppm com a maior concentração na amostra de número 3 localizada na região noroeste da área de estudo. Deve-se pontuar que, conforme o quadro 1, o valor *clarque* de Mo é 1,5 ppm. Devido a isto, é possível apontar que existe uma anomalia positiva na região noroeste da área. Em escala local, os valores de Mo estão em abundancia normal, de acordo com o valor de *Background* definido na área.

No mapa de isotores para Mo (figura 20), é possível observar a distribuição dos teores e as anomalias de Mo.

Figura 20 - Mapa de isotores de Mo em ppm.



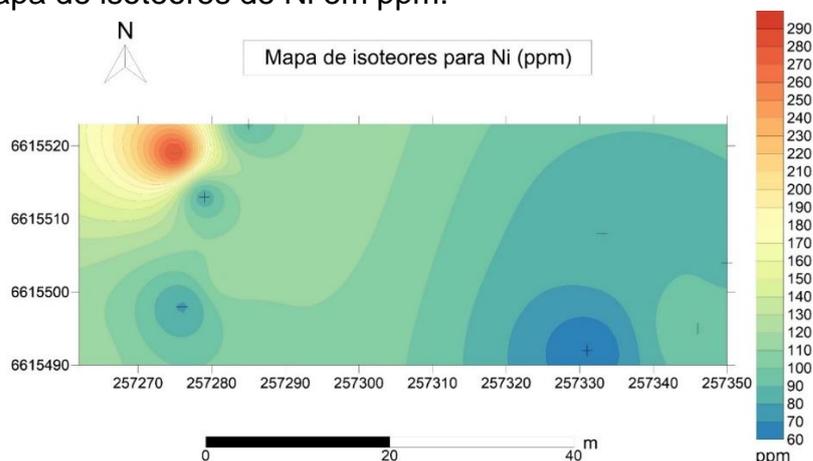
Fonte: Autora.

- **Níquel**

Os resultados geoquímicos do elemento níquel (Ni) variaram de 62 a 282 ppm com a maior concentração na amostra de número 2, localizada na região noroeste da área de estudo. Deve-se pontuar que, conforme o quadro 1, o valor *clarque* do Ni é 75 ppm. Devido a isto, é possível apontar que existe uma anomalia positiva na região noroeste da área e teores normais nas demais áreas. Na região noroeste existe uma forte anomalia positiva, em escala local, isto é, de acordo com o valor de *Background* definido na área.

No mapa de isotores para Ni (figura 21), é possível observar a distribuição dos teores e as anomalias de Ni.

Figura 21 - Mapa de isotores de Ni em ppm.



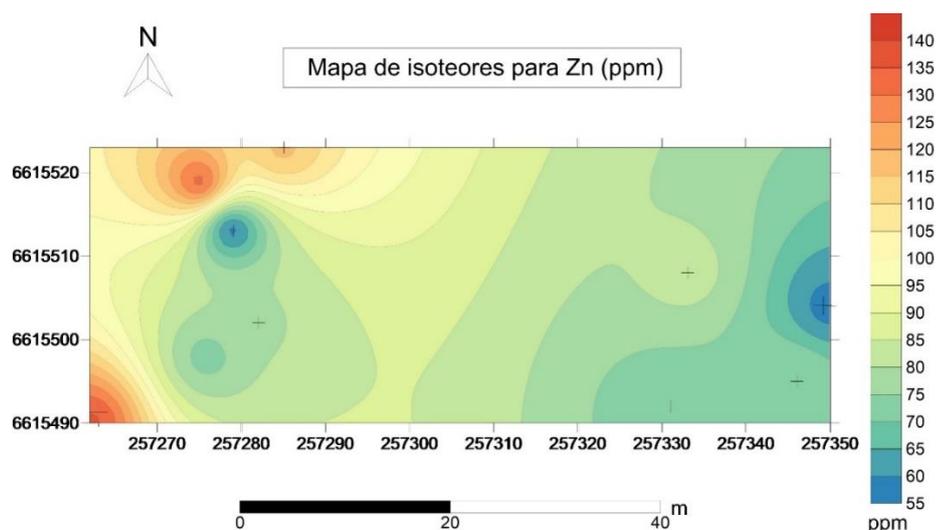
Fonte: Autora.

- **Zinco**

Os resultados geoquímicos do elemento Zinco (Zn) variaram de 58 a 136 ppm com a maior concentração na amostra de número 2, localizada na região noroeste da área de estudo. Deve-se pontuar que, conforme o quadro 1, o valor *clarque* do Zn é 2 ppm. Devido a isto, é possível apontar que existe uma anomalia positiva forte em toda região preferencialmente na região oeste da área de estudo. Na região oeste existe uma forte anomalia positiva, em escala local, isto é, de acordo com o valor de *Background* definido na área.

No mapa de isotores para Zn (figura 22), é possível observar a distribuição dos teores e as anomalias de Zn.

Figura 22 - Mapa de isotores de Zn em ppm.



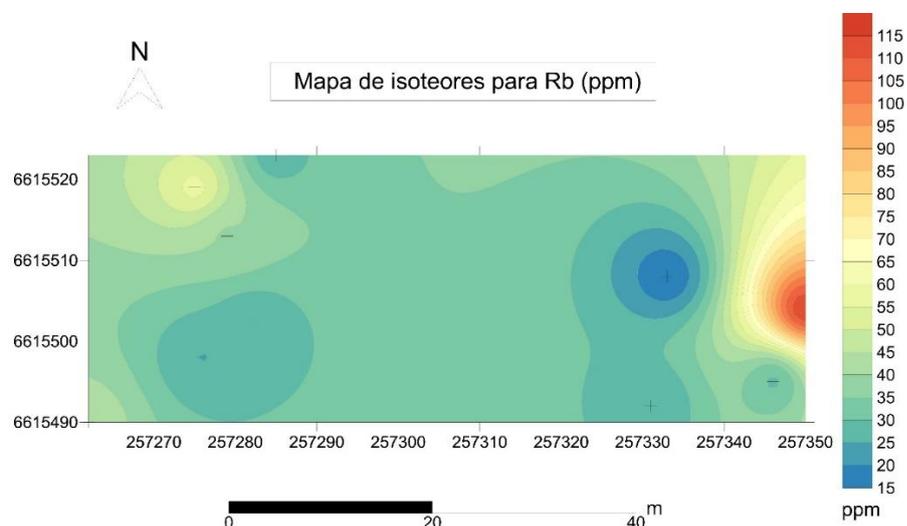
Fonte: Autora.

- **Rubídio**

Os resultados geoquímicos do elemento Rubídio (Rb) variaram de 16,2 a 114,3 ppm com a maior concentração na amostra de número 7, localizada na região leste da área de estudo. Deve-se pontuar que, conforme o quadro 1, o valor *clarque* do Rb é 150 ppm. Devido a isto, é possível apontar que existe uma anomalia negativa em toda região da área de estudo. Na região extrema a leste existe uma anomalia positiva, em escala local, isto é, de acordo com o valor de *Background* definido na área.

No mapa de isotores para Rb (figura 23), é possível observar a distribuição dos teores e as anomalias de Rb.

Figura 23 - Mapa de isotores de Rb em ppm.



Fonte: Autora.

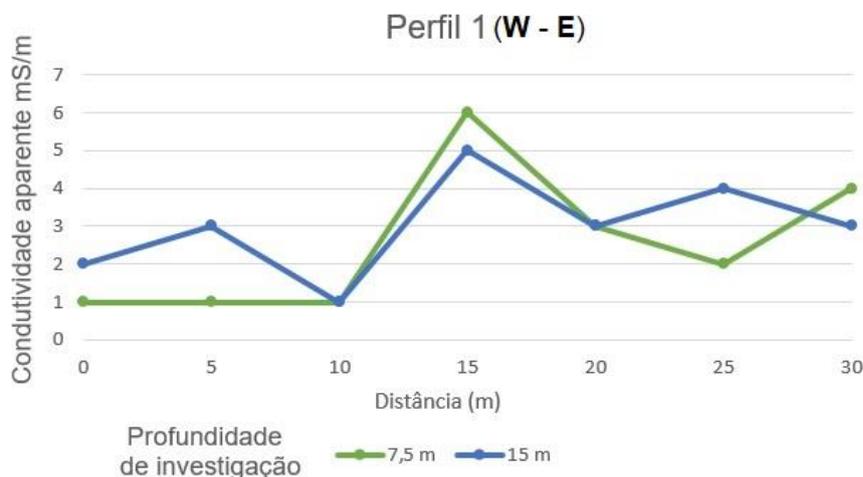
8.1.3 Dados Geofísicos

Com os dados geofísicos coletados em campo (apêndice C) foi possível processá-los em seções de condutividade aparente (mS/m) pela distância e profundidade de investigação de 7,5 m correspondente ao DH e 15 m que corresponde ao DV. Depois foram passados para mapas e gráficos de forma padronizados em escala única de valores.

Pelos gráficos e o mapa de condutividade aparente nota-se uma predominância de valores medianos a baixos, variando de 1 a 8 mS/m, sendo a moda em profundidade 7,5 m de 5 mS/m e profundidade 15 m de 3 mS/m.

No perfil 1 (figura 24) os valores de condutividade aparente apresentam uma variação de 1 a 6 mS/m. Deve-se pontuar que houve pouca diferença nos valores de uma profundidade a outra do mesmo ponto, tendo valores iguais ou com pouca diferença de até 2 mS/m.

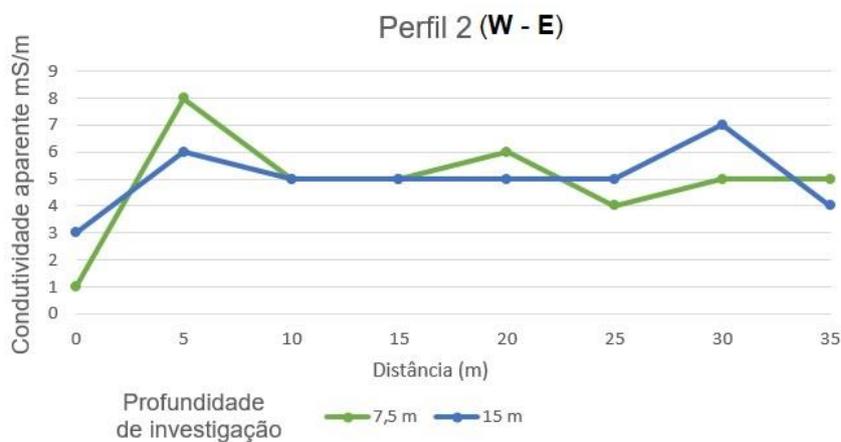
Figura 24 – Gráfico individual de caminhamento do perfil 1, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.



Fonte: Autora.

No perfil 2 (figura 25), os valores de condutividade aparente apresentam uma variação de 1 a 8 mS/m. Deve-se pontuar que houve pouca diferença nos valores de uma profundidade a outra do mesmo ponto e este perfil manteve-se com valores maiores que o perfil anterior.

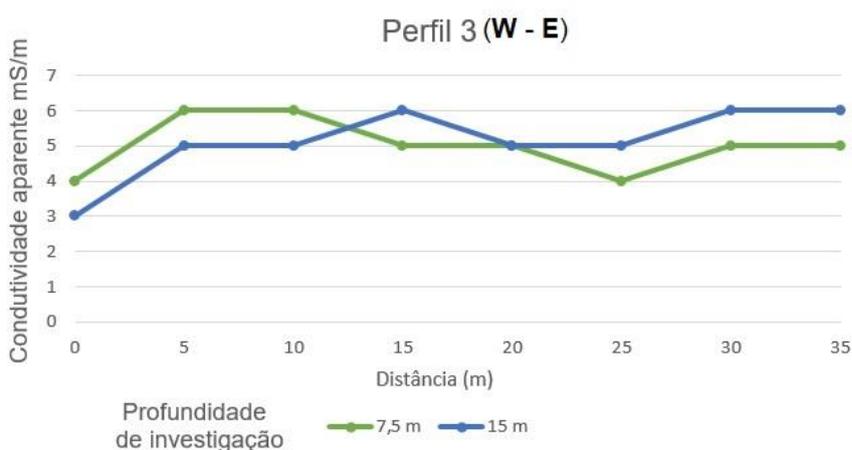
Figura 25 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 2, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.



Fonte: Autora.

No perfil 3 (figura 26), os valores de condutividade aparente apresentam uma variação de 3 a 6 mS/m. Deve-se pontuar que houve pouca diferença nos valores de uma profundidade a outra no mesmo ponto. Entretanto, este perfil apresentou os valores mais elevados em comparação aos perfis 1 e 2, e apresentou a menor amplitude entre os resultados obtidos.

Figura 26 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 3, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.

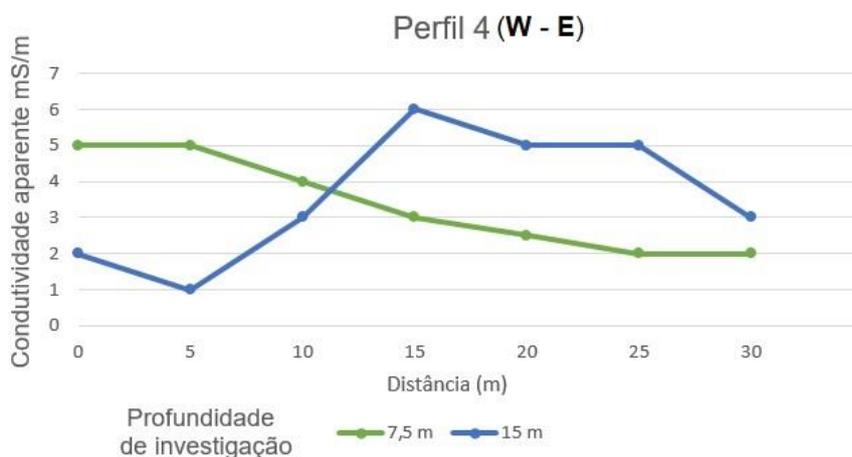


Fonte: Autora.

No perfil 4 (figura 26), os valores de condutividade aparente apresentam uma variação de 2 a 6 mS/m. Diferente dos demais perfis, este teve uma diferença considerável nos valores de uma profundidade a outra no mesmo ponto, mostrando

um padrão de aumento da condutividade na investigação de 15 metros e uma queda nos valores da investigação de 7,5 metros, essa mudança pode indicar a presença de uma feição estrutural.

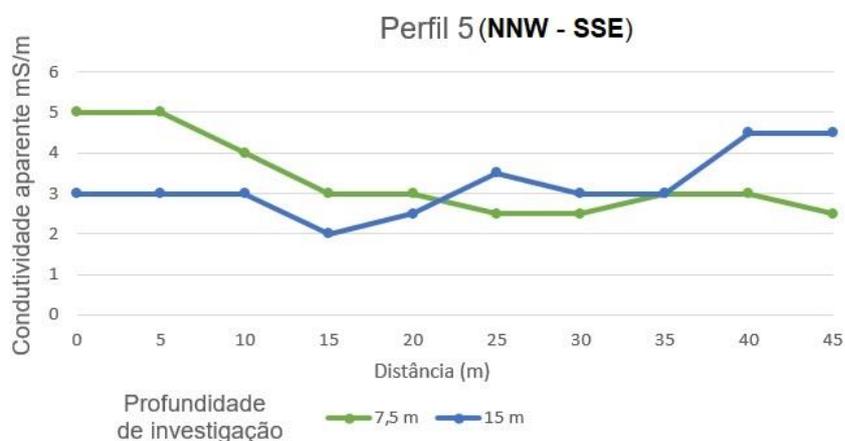
Figura 27 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 4, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.



Fonte: Autora.

No perfil 5 (figura 28), os valores de condutividade aparente apresentam uma variação de 2 a 5 mS/m. Deve-se pontuar que houve uma pequena diferença nos valores de uma profundidade a outra no mesmo ponto, com variação de 1 a 2 mS/m.

Figura 28 - Gráfico individual de caminhamento do perfil 5, com condutividade aparente mS/m por distância em metros.



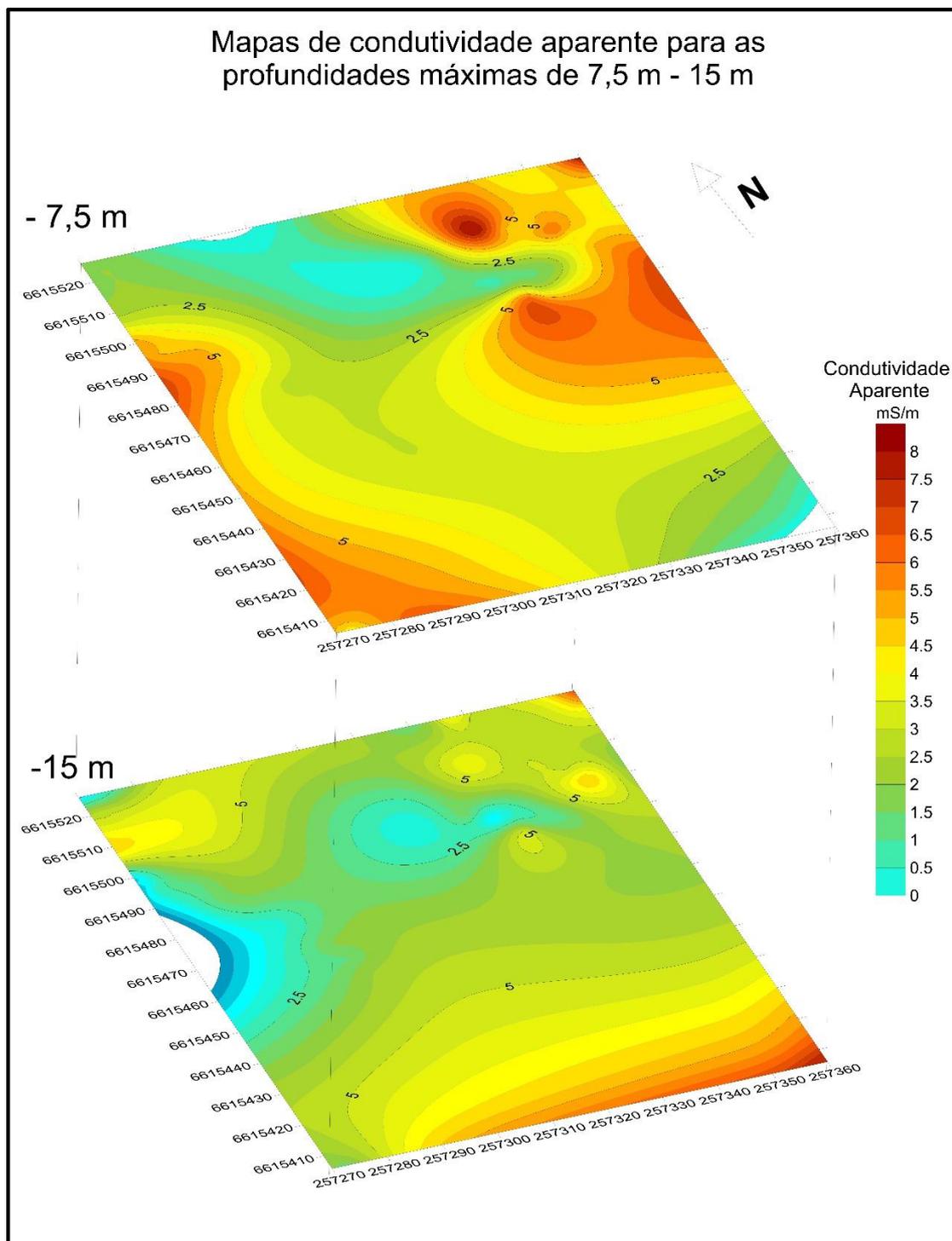
Fonte: Autora.

Os mapas de condutividade aparente (figura 29) foram elaborados pela interpolação por mínima curvatura de todos os pontos coletados nos perfis de caminhada, separados apenas pelas profundidades. A profundidade de 7,5 m é correspondente ao dipolo horizontal e a profundidade 15 é referente ao dipolo vertical.

O mapa de dipolo horizontal apresenta uma continuidade da anomalia. Na seção, as curvas se mostram mais espaçadas e com uma gradação suave dos valores, isto ocorre, pois, o DH demarca estruturas horizontais e como a seção foi cortada e representada de forma horizontal, os valores representam uma melhor continuidade. Entretanto, no mapa de dipolo vertical, as curvas e anomalias se comportam de forma menos continua e mais abrupta, pois ao contrário de DH, o DV demarca estruturas verticais.

É notório, a existência de uma anomalia negativa no norte e noroeste da área de estudo, que aparece nas duas profundidades e sendo mais presente na profundidade 15 m, esta anomalia pode ser indicação de feições estruturais.

Figura 29 – Mapa de condutividade aparente em investigações de profundidades 7,5 m e 15 m.



Fonte: Autora.

8.2 Discussões

Pride et al. (1994), relatam que apenas um elemento com teores elevados não pode ser usado como indicação de mineralização, por isso para identificar uma

assinatura geoquímica é preciso ter altos teores de mais de um elemento. Ainda Pride et al. (1994), indica que alguns elementos em baixo teor podem ser indicativos de alteração e mineralização.

Segundo Da Rocha et al. (2010), alguns elementos em alto teor de concentração podem identificar uma correção com uma mineralização de cobre podendo ser: Co, Mo, Ni, Zn e Au. E segundo Pride et al. (1994), a baixa concentração do elemento Rb pode indicar zona de alteração e mineralização de alguns metais, como o cobre.

Perante a isso, é notório a relação desses elementos com a ocorrência de cobre da área, levando em consideração que os teores de Co, Mo, Ni, Zn e Au se mostraram elevados principalmente na região oeste e noroeste da área de estudo. E Rb, apresentou teores baixos e uma anomalia negativa em toda região oeste, sendo oposto as anomalias dos elementos citados.

A observação em campo, mostrou que por toda área de estudo possui malaquita disseminada e orientada pela foliação da rocha. E é notório a relação dos resultados geoquímicos, que mostram alta concentração de cobre em toda área.

Visualmente a região noroeste possui maior concentração de malaquita, sendo a mesma região que possui os maiores teores de concentração dos elementos (Co, Mo, Ni, Zn e Au) que podem indicar mineralização de cobre.

Tanto o trabalho de Ellert (1971) e como o de Sun (2007) determinaram a ocorrência de cobre com variações de 10 a 20 mS/m da condutividade aparente para o método eletromagnético indutivo. Deve-se pontuar, que os resultados da área de estudo apontaram valores menores que estes citados, entretendo em trabalhos que correlacionam mais de um método geofísico para prospecção de cobre, como no trabalho de Pereira et al. (2018), conseguiram determinar a ocorrência com valores inferiores semelhantes aos gerados na área de estudo devido a correlação com outro método geofísico.

Segundo Dalan (1991), as rochas ígneas e metamórficas apresentam condutividade aparente de 3 a 10 mS/m em métodos eletromagnéticos, perante a isso é possível indicar que os valores entre 3 e 8 mS/m confirmam a geologia da área identificada como metavulcânica.

Pelos mapas de condutividade aparente, é possível identificar uma anomalia negativa na região norte e noroeste da área de estudo, próximo à área que foi identificado anomalias geoquímica.

Dalan (1991), propõem que condutividades muito baixas podem ser indicativo de feições estruturais, perante a isso, a região noroeste pode ter feições estruturais, correlacionadas com a ocorrência mineral. Deve-se pontuar que, a foliação 1 fica predominantemente na região leste e a foliação 2 fica predominantemente na região oeste, devido a isso pode ser que esta anomalia negativa mostre essa mudança entre as foliações e/ou feições estruturais não vistas na superfície.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização das metodologias proposta neste trabalho possibilitou entender um pouco mais sobre a ocorrência cuprífera da Mina Primavera. É notório, a presença da ocorrência mineral de cobre, que foi confirmada com as interpretações dos resultados obtidos neste trabalho, com grande foco na região oeste e noroeste da área de estudo.

Foi possível identificar uma assinatura geoquímica de cobre na área, devido aos resultados geoquímicos mostraram um elevado teor de cobre (\bar{X} - 10000 ppm) e com a presença de teores elevados de Co (\bar{X} - 58,43 ppm) Mo (\bar{X} - 2,8 ppm) , Ni (\bar{X} - 109,4 ppm) , Zn (\bar{X} - 88 ppm) e Au (\bar{X} - 33,6 ppb). Deve-se pontuar, que o baixo teor de Rb (\bar{X} - 40,17 ppm), na área, também foi um indicativo para esta conclusão.

A observação das rochas aflorantes juntamente com as medidas estruturais, foi possível definir que a ocorrência mineral está disposta de forma disseminada e continua as foliações da rocha encaixante.

O método geofísico eletromagnético indutivo apresentou baixa sensibilidade na definição de áreas mineralizadas, portanto não foi possível identificar contrastes entre a mineralização e a rocha encaixante da área. Porém, foi possível identificar uma anomalia negativa, que pode ser resultado de feições estruturais.

A correlação dos dados obtidos indica que na Mina Primavera possui potencial para extração de cobre, entretanto para ser classificada como um alvo rentável e favorável para mineração é necessários novos estudos.

Recomenda-se, na finalidade de determinar tamanho, posição, geometria e teor da ocorrência cuprífera da área a realização de novos estudos para complementos deste, como:

- Aplicação do método geofísico da eletrorresistividade, pois a correlação deste método com o eletromagnético possibilitará verificar o contraste entre a mineralização e a rocha encaixante;
- Descrição, amostragem geoquímica e análise estrutural dos testemunhos de sondagem existentes da área de estudo, que indicará provável teor e geometria da ocorrência;
- Aberturas de trincheiras para novas análises geoquímicas e descrição petrografia, que possibilitará uma clareza melhor da distribuição da mineralização.

Este estudo foi finalizado de forma satisfatória, foi todos os objetivos propostos foram alcançados e a sua importância foi reconhecer que na Mina Primavera ocorre uma zona cuprífera que deve ser estudada mais a fundo para compreendê-la em um todo.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. São Leopoldo, RS: Unisinos. 2ª reimpressão, 2009.
- BABINSKI, M. et al. Crescimento juvenil no bloco São Gabriel e retrabalhamento crustal no Cinturão Dom Feliciano durante o Ciclo Brasileiro: evidências isotópicas. In: **SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 6, Porto Alegre, 1995. Anais Porto Alegre: SBG, 1995. p. 105-107.
- BITENCOURT, M. F. Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS- Geologia e Relações com o Corpo Granítico. 1983. In: **I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Porto Alegre**, p. 37-47.
- BORBA, Andre Weissheimer de. Evolução geológica da " Bacia do Camaquã"(Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-riograndense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de esteatigrafia, petrografia e geologia isotópica. 2006.
- BORTOLOTTI, Olavo José. Petrography of marbles from Caçapava do Sul, RS, Southern Brazil. **Ciência e Natura**, v. 9, n. 9, p. 37-66, 1987.
- BRITO, Reinaldo Santana Correia de; SILVA, Maria da Glória da; KUYUMJIAN, Raul Minas. Modelos de depósitos de cobre do Brasil e sua resposta ao intemperismo. CPRM, 2010.
- CASSETI, Valter. Abordagem sobre os estudos do relevo e suas perspectivas (Notas Preliminares). **Anais do I Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rev. Sociedade e Natureza, Uberlândia, ano**, v. 3, p. 37-43, 1996.
- CARNEIRO, C. D. R. Projeção estereográfica para análise de estruturas. **Programas Stereonet e Trade. Fundamentos teóricos, exercícios e aplicações em microcomputador, laboratório e campo. São Paulo: Universidade de Campinas/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (UNICAMP/CPRM/IPT)**, 1996.
- CHATTERJEE, K. K. **Uses of Metals and metallic minerals**. New Age International, 333p., 2007.
- CHEMALE JR, Farid. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. **Geologia do Rio Grande do Sul**, p. 13-52, 2000.
- COMPANHIA BRASILEIRA DE COBRE-CBC. Relatório de reavaliação na área do decreto nº. 70.926 (DNPM 7566/64), Cerro dos Martins, município de Caçapava do Sul. Porto Alegre. 2 v.(Inédito). 1978.
- DA COSTA, Geraldo Tolozan Dias. Os grandes grupos de solos no Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 11, p. 105-112, 1961.

DALAN, Rinita A. Defining archaeological features with electromagnetic surveys at the Cahokia Mounds State Historic Site. **Geophysics**, v. 56, n. 8, p. 1280-1287, 1991.

CUNHA, Luiz Fernando Jorge da. MÉTODOS ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS NA AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR ATIVIDADES DE MINERAÇÃO E INDÚSTRIA DE CURTUME, Salvador, 2009.

DANG, TrungThanh. Application of Photogrammetry for measuring dip and dip direction and creating 3D model for slope and face of underground works. In: **Proc. of 1st International Conference on Advances in Mining and Tunnelling**. 2008. p. 289-302.

ROCHA DA ROCHA, Alexandre Magno; CAVALCANTI NETO, Mário Tavares de Oliveira. Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos em Geologia e Mineração. 2010.

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro ano 2019 – Principais Substâncias Metálicas**, Brasil, 2020.

ELLERT, Nelson. **Aplicação do método eletro-magnético indutivo na prospecção de minério de cobre**. 1971. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FOSSEN, H. **Geologia Estrutural**. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 2017. p. 34-38

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. **O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sulriograndense**. In: Congr. Bras. Geol., 31, 1980, Balneário Camboriú. Anais Balneário Camboriú: SBG, n.5, p. 2879-2892, 1980.

GARCIA, M. A. M.; HARTMANN, L. A. Petrologia do Complexo Palma-RS. **Acta Geol Leopold**, v. 5, n. 9, p. 51-119, 1981.

GEOPROSPEC. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA**. Caçapava do Sul, 277 p. Av. Farrapos, 146 conj. 62 - CEP 90220-000 - Bairro Floresta - Porto Alegre/RS. 2016.

GOÑI, J. C.; GOSO, H.; ISSLER, R. S. Estratigrafia e geologia econômica do Pré-Cambriano e Eo-Paleozóico Uruguaio e Sul-riograndense. **Avulso da Escola de Geologia, UFRGS (3)**, p. 1-105, 1962.

GREENHOUSE, John P.; SLAINE, David D. Geophysical modelling and mapping of contaminated groundwater around three waste disposal sites in southern Ontario. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 23, n. 3, p. 372-384, 1986.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR, Farid; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no pré-cambriano. **Ianuzzi R. & Frantz JC.(Org.)**, v. 50, p. 97-123, 2007.

HOBBS, Bruce E.; MEANS, Winthrop Dickinson; WILLIAMS, Paul Frederick. **An outline of structural geology**. Wiley, 1976.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, “IBGE, 2002”. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/cacapava-do-sul.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2019

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; nº 5).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa exploratório de solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2012.

JACKSON, Veron N. et al. Projeto Aerogeofísico Camaqua. Estado do Rio Grande do Sul. 1973.

LISLE, Richard J.; LEYSHON, Peter R. **Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers**. Cambridge University Press, 2004.

JOSÉ, C.; CAVALCANTE, I. N. METODOLOGIA GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA APLICADA EM ESTUDOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DE CONTAMINAÇÃO DO AMBIENTE HIDROGEOLOGICO. **1ST JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER**, Fortaleza, 2000.

MACHADO, B. N. **Geologia e Paragênese Mineral das mineralizações no granito Santo Ferreira, sudeste de Caçapava do Sul, RS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal do Pampa, Geologia, 2017.

MOREIRA, César Augusto; DOURADO, João Carlos. Análise de contaminantes de fase líquida não aquosa (NAPLs) por aplicação do método Eletromagnético Indutivo (EM). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 3, p. 213-220, 2005.

NARDI, Lauro Valentim Stoll; BITENCOURT, M. F. A. S. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, n. 2, p. 153-169, 1989.

PEREIRA, Henrique Garcia; MOREIRA, César Augusto; CAMARERO, Pedro Lemos. Correlação de dados geofísicos em pesquisa mineral de ocorrência de cobre em Caçapava do Sul (RS). **Geociências (São Paulo)**, v. 36, n. 4, p. 717-729, 2018.

PEREIRA, Ronaldo Mello. **Fundamentos de prospecção mineral**. Interciência, 167 p, 2003.

PHILIPP, R.P.; BITENCOURT, M.F.; JUNGES, S. Nd isotopic study of the Neoproterozoic Cambai and Cambaizinho Complexes, São Gabriel Terrane, south Brazil: implications for the evolution of the Vila Nova Arch in Dom Feliciano Belt. **Journal of South American Earth Sciences**, 2012.

PRIDE, Douglas E.; TIMSON, Glenn H.; ROBINSON, Charles Sherwood. **Use of Selected Elements to Study Hydrothermal Alteration-mineralization of a Porphyry Molybdenum Prospect, Breckenridge Mining District, Colorado**. 1978.

RAGAN, Donal M. **Structural geology: an introduction to geometrical techniques**. Cambridge University Press, 2009.

REIS, R. S. **Origem e evolução dos halos de alteração clorítica no flanco leste do Granito Caçapava, RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, 75p, 2016.

REYNOLDS, John M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. John Wiley & Sons, 2011.

REMUS, M. V. D. et al. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 13, n. 3, p. 191-216, 2000.

REMUS, M. V. D. et al. SHRIMP U/Pb zircon dating at 2448 Ma of the oldest igneous rock in Southern Brazil: Identification of the westernmost border of the Dom Feliciano Belt. In: **Symposium on Archaean Terranes of the South American Platform (Brasília-DF): Extended Abstracts**. 1996. p. 67-70.

RIBEIRO, Mauricio et al. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. **Boletim do DNPM**, v. 127, p. 19-231, 1966.

RIBEIRO, Marcelo José. **Mapa preliminar do cobre no Escudo Sul-Rio-Grandense 1: 500 000**. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1978.

ROBERTSON, J. & JOHNSON, R. **Copper deposits of Caçapava do Sul- Lavras do Sul Region**. 1966. MMF-USGS - BR 8.

ROWLAND, Stephen M.; DUEBENDORFER, Ernest M.; SCHIEFELBEIN, Ilsa M. **Structural analysis and synthesis: a laboratory course in structural geology**. John Wiley & Sons, 2013.

SCOLLAR, I. Electromagnetic prospecting methods in archaeology. **Archaeometry**, v. 5, n. 1, p. 146-153, 1962.

SILVA, Regina Célia dos Santos. Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança, nordeste do Pará. 2002.

SKINER, B.J. Recursos Minerais da Terra, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1980, Título original de 1969, 140p.

SOLIANI JÚNIOR, Enio. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica**. 1986. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SUN, Xing-guo et al. The application of integrated geophysical prospecting method to the evaluation of haolibao copper deposits [J]. **Progress in Geophysics**, v. 6, 2007.

SWIFT JR, Charles M. Fundamentals of the electromagnetic method. **Electromagnetics Methods in Applied Geophysics**, v. 1, p. 5-10, 1988.

TEIXEIRA, G.; GONZALEZ, M. Minas do Camaqua, Município de Caçapava do Sul-RS. In: **Principais depósitos minerais do Brasil**. 1986. p. 33-41.

TONIOLO, João Angelo et al. Metalogênese do depósito de cobre Cerro dos Martins, RS: revisão e geoquímica isotópica de SR, O e C. **Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 31, n. 2 (2004), p. 41-67**, 2004.

WHITE, William M. **Geochemistry. John-Hopkins University Press**. 1997

APÊNDICE

Apêndice A – Medidas estruturais das foliações.

Foliação 1		Foliação 2	
Rumo	Mergulho	Rumo	Mergulho
300	60	260	50
315	62	270	45
310	65	255	55
310	70	252	60
320	59	250	45
300	65	260	50
280	64	275	52
285	66	265	55
285	66	260	49
285	69	259	53
280	68	268	48
300	62	270	52
310	63	265	50
290	64	265	53
290	58	265	50
320	65	255	52
315	60	272	48
315	68	249	49
310	59	265	52
290	67	265	55

Apêndice B – Resultado geoquímico das 10 amostras da área de estudo.

Coordenadas UTM mE/mS	N da Amostra	Au ppb	Au1 ppb	Au2 ppb	Al2O3 %	Ba ppm	CaO %	Cr2O3 %	Fe2O3 %	K2O %	MgO %	
257285	6615523	1	<5	N.A.	N.A.	15.09	3165	1.29	0.03	11	2.05	6.41
257275	6615519	2	<5	N.A.	N.A.	15.56	1126	0.47	0.03	10.8	3.75	8.15
257279	6615513	3	<5	N.A.	N.A.	14.05	1441	0.56	0.03	7.34	1.54	3.77
257282	6615502	4	58	N.A.	N.A.	12.69	285	0.42	0.02	9.72	0.49	4.75
257276	6615498	5	226	238	N.A.	9.47	253	3.02	0.02	6.74	1.34	3.33
257262	6615490	6	17	N.A.	N.A.	14.3	274	0.29	0.03	13.06	1.08	7.08
257350	6615504	7	<5	N.A.	N.A.	15.11	541	1.28	0.02	9.72	1	5.04
257346	6615495	8	<5	N.A.	N.A.	14.46	1199	0.86	0.03	10.45	1.27	5.12
257333	6615508	9	<5	N.A.	N.A.	14.68	3486	1.09	0.03	10.31	2.14	5.84
257331	6615492	10	<5	N.A.	N.A.	14.7	3598	0.79	0.02	8.99	2.21	5.27

Coordenadas UTM mE/mS	N da Amostra	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	Sr ppm	TiO2 %	Zn ppm	Zr ppm	V ppm	LOI %	
257285	6615523	1	0.15	2.42	0.19	54.58	216	1.01	116	188	165	5
257275	6615519	2	0.32	0.62	0.25	51.91	91	1.35	131	165	162	5.9
257279	6615513	3	0.11	2.78	0.18	62.61	205	0.7	59	176	106	4.58
257282	6615502	4	0.23	2.62	<0,01	54.95	126	0.91	79	98	179	5.33
257276	6615498	5	0.14	1.38	0.16	61.11	96	0.84	73	101	159	6.24
257262	6615490	6	0.25	1.54	0.11	53.58	92	1.6	136	127	370	5.36
257350	6615504	7	0.13	3.95	0.19	55.96	335	1.15	58	188	161	4.57
257346	6615495	8	0.15	3.05	0.09	58.71	277	1.25	75	166	213	4.37
257333	6615508	9	0.15	2.4	0.17	52.48	219	1.08	82	145	167	5.04
257331	6615492	10	0.13	2.44	0.22	54.81	229	0.78	71	117	150	5.09

Coordenadas UTM mE/mS	N da Amostra	Sn ppm	Ta ppm	Tb ppm	Th ppm	Tl ppm	Tm ppm	U ppm	W ppm	Y ppm	Yb ppm	
257285	6615523	1	1.6	0.73	1.06	5.2	<0,5	0.6	1.8	3.4	33.67	3
257275	6615519	2	1.1	0.42	2.29	2.2	0.5	0.73	1.17	1.3	60.77	4.7
257279	6615513	3	1.2	0.58	1.18	7.2	<0,5	0.56	1.11	2	32.38	3.2
257282	6615502	4	1	0.25	1.1	1.6	<0,5	0.38	0.99	16.3	27.08	2.4
257276	6615498	5	1.4	0.44	1.01	1.6	<0,5	0.36	1.51	1.8	25.18	2.2
257262	6615490	6	1.1	0.65	1.32	2.2	<0,5	0.57	0.91	5.8	37.94	3.3
257350	6615504	7	1.4	0.61	1.09	3.1	<0,5	0.47	1.09	3.5	31.02	3.1
257346	6615495	8	0.9	0.6	1.03	4	<0,5	0.46	1.06	6.6	29.14	2.9
257333	6615508	9	1.2	0.61	0.96	3	<0,5	0.43	1.15	2.6	28.85	2.9
257331	6615492	10	0.9	0.66	1.08	3.7	<0,5	0.4	0.91	4.8	24.69	2.5

Coordenadas UTM mE/mS	N da Amostra	Ce ppm	Co ppm	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	
257285	6615523	1	58.7	29.4	0.72	>10000	9.61	7.06	2.06	19.4	7.46	5.11
257275	6615519	2	151.2	194.3	2.33	>10000	12.2	5.85	5.23	14.8	17.24	4.02
257279	6615513	3	84.5	14.4	1.55	>10000	7.25	3.97	1.97	14.8	6.96	4.26
257282	6615502	4	57.4	115.8	0.73	>10000	5.97	2.91	2.81	14.1	7.89	2.57
257276	6615498	5	67.9	65.8	1.23	>10000	5.47	2.76	2.66	13.9	7.6	2.51
257262	6615490	6	60.5	37.3	1.47	>10000	7.72	4.3	2.5	19.5	8.23	3.28
257350	6615504	7	91	36.8	0.73	>10000	6.24	3.57	2.23	17.2	7.61	4.32
257346	6615495	8	75.2	45	0.9	>10000	6.25	3.44	2.24	16.2	7.42	4.17
257333	6615508	9	56.3	28.1	0.16	>10000	5.46	3.06	2.01	15.5	6.35	3.31
257331	6615492	10	127.6	17.4	0.16	>10000	5.3	2.82	3.1	13.3	9.5	2.91

Coordenadas UTM mE/mS	N da Amostra	Ho ppm	La ppm	Lu ppm	Mo ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sm ppm	
257285	6615523	1	2.27	32.2	0.36	<2	19.14	32.8	89	8.34	25.3	7.7
257275	6615519	2	2.22	52.9	0.68	<2	7.94	82.1	282	19.47	27.1	17.6
257279	6615513	3	1.47	33.7	0.4	7	10.2	32.6	84	8.64	25.2	6.9
257282	6615502	4	1.06	24.4	0.37	3	4.27	34.2	114	7.9	16.2	8.5
257276	6615498	5	0.99	24.1	0.34	2	7.12	39.9	79	9.65	24.9	8.8
257262	6615490	6	1.51	29.5	0.48	3	8.44	33.1	114	8	39.8	7.9
257350	6615504	7	1.21	43.8	0.47	<2	8.94	44.9	88	11.76	114.3	8.4
257346	6615495	8	1.2	34.5	0.43	3	9.55	36.3	99	9.36	56.4	8.1
257333	6615508	9	1.08	31.5	0.48	<2	8.7	31.9	83	7.96	43	6.6
257331	6615492	10	0.97	70.9	0.39	<2	6.89	65.9	62	16.9	29.5	11.8

Apêndice C – Dados coletados em campo dos perfis geofísicos.

Perfil - Ponto	Coordenadas - UTM mE/mS		7.5 m - mS/m	15 m - mS/m
01//01	257324	6615498	1	2
01//02	257329	6615497	1	3
01//03	257333	6615494	1	1
01//04	257337	6615490	6	5
01//05	257339	6615491	3	3
01//06	257344	6615497	2	4
01//07	257345	6615491	4	3
02//08	257325	6615506	1	3
02//09	257336	6615511	8	6
02//10	257341	6615510	5	5
02//11	257345	6615509	5	5
02//12	257348	6615507	6	5
02//13	257350	6615504	4	5
02//14	257353	6615501	5	7
02//15	257360	6613500	5	4
03//16	257334	6615525	4	3
03//17	257335	6615525	6	5
03//18	257335	6615525	6	5
03//19	257337	6615526	5	6
03//20	257340	6615525	5	5
03//21	257348	6615525	4	5
03//22	257355	6615523	5	6
03//23	257360	6615520	5	6
04//24	257272	6615496	5	2
04//25	257270	6615498	5	1
04//26	257272	6615406	4	3
04//27	257271	6615507	3	6
04//28	257273	6615519	2.5	5
04//29	257273	6615520	2	5
04//30	257274	6615524	2	3
05//31	257280	6615494	5	3
05//32	257281	6615488	5	3
05//33	257286	6615485	4	3
05//34	257288	6615480	3	2
05//35	257292	6615475	3	2.5
05//36	257294	6615469	2.5	3.5
05//37	257296	6615464	2.5	3
05//38	257297	6615460	3	3
05//39	257297	6615460	3	4.5
05//40	257302	6615452	2.5	4.5