

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Henrique Garcia Pereira

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ENTRE AS OCORRÊNCIAS CUPRÍFERAS CAPÃO
GRANDE E VICTOR TEIXEIRA, CAÇAPAVA DO SUL – RS**

Rio Claro (SP)

2015

Henrique Garcia Pereira

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ENTRE AS OCORRÊNCIAS CUPRÍFERAS CAPÃO
GRANDE E VICTOR TEIXEIRA, CAÇAPAVA DO SUL – RS**

**Dissertação de mestrado elaborada junto ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre
em Geociências e Meio Ambiente.**

Orientador: Prof. Dr. Walter Malagutti Filho

Rio Claro (SP)

2015

551 Pereira, Henrique Garcia
P436p Prospecção geofísica entre as ocorrências cupríferas
Capão Grande e Victor Teixeira, Caçapava do Sul-RS. /
Henrique Garcia Pereira. - Rio Claro, 2015
88 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Walter Malagutti Filho

1. Geofísica. 2. Magnetometria. 3. Prospecção mineral. I.
Título.

Henrique Garcia Pereira

**PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ENTRE AS OCORRÊNCIAS CUPRÍFERAS CAPÃO
GRANDE E VICTOR TEIXEIRA, CAÇAPAVA DO SUL – RS**

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Walter Malagutti Filho - Orientador
Departamento de Geologia Aplicada – Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. César Augusto Moreira
Departamento de Geologia Aplicada – Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. Maximilian Fries
Laboratório de Geofísica – Universidade Federal do Pampa

Rio Claro, SP 17 de Março de 2015

Resultado: Aprovado

Dedico toda honra e toda a glória pela realização desse
trabalho ao meu Senhor e Salvador Jesus Cristo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me sustentado em um dos momentos mais difíceis de minha carreira acadêmica, onde eu mesmo quis pôr um fim na continuidade deste trabalho, mas a porta que Ele abre nem mesmo eu posso fechar.

Aos meus pais Leondes Leão Pereira e Odeth Garcia Pereira. Sem vocês, eu não seria nem 10% do que sou hoje!

Ao meu orientador Prof. Dr. Walter Malagutti Filho, pela sua enorme sabedoria ao lidar com minhas compulsões de jovem bobo, burro e muitas vezes imaturo para as decisões da vida.

Também não posso deixar de mencionar o meu primeiro orientador, o Prof. Dr. Antônio Ranali Nardy, que me auxiliou no desenvolvimento do projeto pioneiro de pesquisa, em tempo hábil para que eu pudesse ter recebido a bolsa de estudos da CAPES, que possibilitou o mantimento do meu sustento em Rio Claro.

Ao Prof. Dr. César Augusto Moreira pela dica em continuar pesquisando na área de estudo do presente trabalho.

Ao professor Maximilian Fries, por sua boa vontade e prontidão para me auxiliar em etapas de campo e de processamento dos dados.

Falando em etapas de campo, queria agradecer a todos os futuros companheiros de profissão e amigos que me ajudaram: Marcelo Lusa, Ikaro Cruz, Daniela Alves, Ketlem Melo, Carolina Leandro, Lucas Mota, Kassio Oliveira, Mariele Machado, Lukas Rosso, Fernanda Teles, Shayele Fernandes, Neto Rufino.

Quanto ao processamento, também não posso deixar de mencionar o meu ex-colega de trabalho Joney Justo, pelos esclarecimentos iniciais.

Ao programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES pela bolsa de estudos concedida.

A secretária da pós-graduação Rosangela Vacello.

Aos colegas de pós-graduação que, com sua companhia e amizade, amenizavam a saudade de casa. Em especial: Carla Xavier, Syngra Lopes, Adriano Seixas, Felipe Stefani e Rubem Mamani!

Ao povo amado da Igreja Pentecostal Nova Vida e da Quadrangular do Cervezão, bem como os demais amigos que fiz em Rio Claro.

Também a todos os irmãos na fé que oraram por mim e pela continuidade deste trabalho.

Certa vez ouvi do meu primeiro pastor: “e sejais imitadores de Cristo, meus amados”. Pois bem, Jesus foi mestre em Israel e hoje eu sou mestre no Brasil!

RESUMO

Esse trabalho consiste na aquisição de dados de magnetometria terrestre numa área compreendida por duas ocorrências cupríferas denominadas Capão Grande e Victor Teixeira, localizadas no interior do município de Caçapava do Sul-RS. Os dados resultantes da aplicação desse método geofísico foram adquiridos com o propósito de caracterizar a subsuperfície para verificar uma potencial relação de conexão entre as mineralizações dessas ocorrências de cobre. A ocorrência Capão Grande tem como encaixante as rochas sedimentares da Bacia do Camaquã. Já a ocorrência Victor Teixeira está inserida em rochas metamórficas do Escudo Sul-Rio-Grandense. Na caracterização de subsuperfície foram empregados levantamentos de medidas de intensidade do campo magnético total ao longo de perfis e sob a forma de malha no intervalo de 2300 m entre as ocorrências mineralizadas. Essas medidas foram processadas em conjunto, e os produtos resultantes foram os mapas do campo magnético total, passa banda profundo, passa banda raso e amplitude do sinal analítico. Análises e discussões posteriores desses mapas com a sobreposição das principais informações geológicas da área e de resultados geofísicos de interesse de estudos anteriores permitiram a definição de que as mineralizações das ocorrências estudadas não apresentam conexão em subsuperfície.

Palavras-chave: magnetometria, caracterização, subsuperfície, conexão.

ABSTRACT

This paper consists of the acquisition of terrestrial magnetometry data in an area comprised of two mineralized occurrences copper called Capão Grande and Victor Teixeira, located in the city of Caçapava do Sul, in the south of Brasil. The resulting data from the application of this geophysical method characterizing the subsurface to check a potential connection relationship between these copper mineralization occurrences. The Capão Grande occurrence has the enclosing sedimentary rocks of the Camaquã Basin. Victor Teixeira occurrence is inserted into metamorphic rocks Sul-Rio-Grandense Shield. In characterizing subsurface magnetic surveys were employed intensity of the total magnetic field measurements along the profiles and in the form of mesh in the of 2300 m between the mineralized occurrences. These measurements were processed together, and the products resulting were, the total field maps, band pass deep, band pass shallow, and the analytic signal amplitude. Analysis and further discussion of these maps with the overlay of the main geological information of the area and geophysical results of interest from previous studies allowed the definition of the mineralization of the cases studied show no connection in the subsurface.

Keywords: magnetometry, characterization, subsurface, connection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização com as principais vias de acesso à área de estudo.	3
Figura 2 – Unidades tectono estratigráficas do ESRG e da Bacia do Camaquã.	5
Figura 3 – Principais fases tectônicas do Neoproterozóico.	6
Figura 4 – Geologia e ocorrências abordadas no estudo.	7
Figura 5 – Características do afloramento Capão Grande.	10
Figura 6 – Características do afloramento Victor Teixeira.	11
Figura 7 - Principais domínios magnetométricos.	13
Figura 8 - Perfis de investigação em forma azimutal.	14
Figura 9 - Modelos de inversão de resistividade elétrica.	15
Figura 10 – Resultados das seções de Ilha (2010) ao longo do domínio magnético de Silva (2010).	16
Figura 11 – Perfis de investigação.	17
Figura 12 - Integração dos resultados de Pereira.	18
Figura 13 - Disposição dos resultados de interesse dos trabalhos anteriores.	19
Figura 14 – Estereograma de atitudes em fraturas e camadas.	19
Figura 15 – Perfis de investigação.	20
Figura 16 - Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade aparente.	21
Figura 17 – Perfis NE e NS.	22
Figura 18 - Diagrama de rosetas.	22
Figura 19 – Seções NE e NS de condutividade aparente.	23
Figura 20 – Mapa de superfície de condutividade aparente.	24
Figura 21 - Modelo de dipolo do campo magnético terrestre.	25
Figura 22 - Representação geométrica do campo magnético da Terra e seus elementos.	26
Figura 23 - Comportamento dos elementos vetoriais do CMT. NM-norte magnético; SM-sul magnético.	27
Figura 24 - Influência das partículas de vento solar sobre o CMT dipolar.	29
Figura 25 - Esquema de funcionamento do sensor do magnetômetro de precessão de prótons.	35
Figura 26 – Mapa litológico da área de estudo com as principais formas adotadas na aquisição de dados.	36
Figura 27 – Magnetômetros utilizados nesse estudo: (a) base; (b) móvel; e (c) detalhe dos módulos de aquisição.	37
Figura 28 – Sistema antena/receptor DGPS Pathfinder ProXRT.	38
Figura 29 - Janela de comandos da ferramenta IGRF do <i>Oasis Montaj</i>	40
Figura 30 - Mapa das variações magnéticas do campo total da área de estudo.	41
Figura 31 – Grid preparado para a transformada de Fourier.	42
Figura 32 – Interpretação do espectro de potência radial de energia média para a área de estudo.	43
Figura 33 – Espectro de potência usado na filtragem interativa e determinação dos valores de corte.	44
Figura 34 – Mapa com os valores do campo magnético total submetidos a uma filtragem passa banda.	44
Figura 35 – Espectro de potência usado na filtragem interativa e determinação dos valores de corte.	45
Figura 36 - Mapa com os valores do campo magnético total submetidos a uma filtragem passa banda.	45
Figura 37 – Mapa com os valores do campo total submetidos a técnica de realce da amplitude do sinal analítico.	46
Figura 38 – Mapa do campo total com as informações geológicas e geofísicas revisadas para a área de estudo.	48
Figura 39 - Mapa passa banda profundo com as informações geológicas/geofísicas revisadas para a área de estudo.	50
Figura 40 - Mapa de passa banda raso com as informações geológicas e geofísicas revisadas para a área de estudo.	51
Figura 41 - Mapa do sinal analítico com as informações geológicas/geofísicas revisadas para a área de estudo.	53
Figura 42 – Bloco de quartzo EW em que está inserido o afloramento Victor Teixeira.	55
Figura 43 – Estrutura NW do afloramento mineralizado Capão Grande.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Suscetibilidade dos minerais diamagnéticos	30
Tabela 2 - Suscetibilidade dos minerais paramagnéticos.	31
Tabela 3 - Suscetibilidade magnética de algumas rochas. Realçado em amarelo estão as rochas encaixantes da área de estudo.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Generalidades.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Geral.....	2
1.2.2	Específicos.....	2
1.3	Justificativas	2
2	ÁREA DE ESTUDO	3
2.1	Aspectos geológicos	4
2.1.1	Contexto geológico regional.....	4
2.1.2	Contexto geológico local.....	7
2.1.3	Características dos afloramentos mineralizados	9
2.1.3.1	Capão Grande.....	9
2.1.3.2	Victor Teixeira	10
2.1.4	Gênese das mineralizações.....	11
3	ESTUDOS ANTERIORES	12
3.1	Trabalhos em Capão Grande.....	12
3.2	Trabalhos em Victor Teixeira.....	20
4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA MAGNETOMETRIA	25
4.1	O campo magnético terrestre.....	25
4.1.1	As componentes do campo magnético terrestre.....	26
4.1.1.1	O campo magnético principal.....	26
4.1.1.2	O campo magnético externo	28
4.1.1.3	Campo Crustal.....	30
4.1.1.3.1	Propriedades magnéticas dos minerais e das rochas	30
4.2	Instrumentação magnetométrica.....	33
4.2.1	Magnetômetro de precessão de prótons	34
5	LEVANTAMENTO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS.....	36
5.1	Metodologia de aquisição	36
5.1.1	Aquisição de dados magnetométricos: magnetômetro base	37
5.1.2	Aquisição de dados magnetométricos: magnetômetro móvel.....	37
5.1.3	Georreferenciamento das estações magnetométricas.....	38
6	PROCESSAMENTO DE DADOS E ELABORAÇÃO DE MAPAS.....	39
6.1	Correção Diurna	39
6.2	Correção do IGRF	39
6.3	Mapas Magnetométricos	40
6.3.1	Mapa dos valores magnéticos do campo total.....	40
6.4	Filtragem e realce de anomalias.....	41
6.4.1	Filtragem.....	42
6.4.1.1	Filtro Passa banda	42
6.4.1.1.1	Passa banda – Valores profundos.....	43
6.4.1.1.2	Passa banda – Valores rasos	43
6.4.2	Realce de anomalias	46
6.4.2.1	Amplitude do Sinal Analítico	46
7	RESULTADOS	47
7.1	Interação geofísica/geológica.....	47
7.1.1	Mapa dos valores magnéticos do campo total.....	47
7.1.2	Mapa do campo magnético total submetido a filtragem passa banda profundo	49
7.1.3	Mapa do campo magnético total submetido a filtragem passa banda raso.....	50
7.1.4	Mapa do campo total submetido ao realce da Amplitude do Sinal Analítico	52
8	DISCUSSÕES	54
8.1	Mapa do campo total com os dados geológico/geofísicos integrados	54
8.2	Mapa de passa banda profundo com os dados geológico/geofísicos integrados.....	57
8.3	Mapa de passa banda raso com os dados geológico/geofísicos integrados	58
8.4	Mapa do Sinal Analítico com os dados geológico/geofísicos integrados	60
9	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS	63
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	65
	APÊNDICE 1 – ESTAÇÕES MAGNETOMÉTRICAS ADQUIRIDAS NO ESTUDO.....	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Desde os primórdios da história da humanidade que o homem busca conhecer a Terra para encontrar materiais geológicos de interesse às suas necessidades. No princípio, quando ainda nômade, o homem procurava apenas por minerais líticos para o desenvolvimento de seus instrumentos de caça e de seus utensílios domésticos. A busca por minerais metálicos ocorreu somente após o domínio da fundição do bronze, do ferro e do cobre, quando já estava estabelecido nas primeiras sociedades (em aldeias próximas dos grandes rios) como produtor-pastor (RONCHI, 2000; PEREIRA, 2003).

A decorrente evolução da civilização levou o homem à descoberta de novas formas de produção e aproveitamento dos bens minerais do seu interesse, sendo que a passagem da produção manufaturada para a produção maquinofaturada foi a mais significativa, por ter provocado um aumento exponencial no consumo de minérios das reservas conhecidas e, por sua vez, ter acarretado a necessidade da busca por novas acumulações minerais capazes de suportar essa nova demanda (RONCHI, 2000).

Atualmente, boa parte da demanda exigida pela sociedade industrial e de consumo estabelecida é suprida por metais. Dentre os metais, o cobre é o terceiro metal mais consumido do mundo (atrás apenas do ferro e do alumínio), devido seu amplo emprego em diversos setores da produção, decorrente de suas características técnicas, como alta condutibilidade elétrica e térmica, excelente resistência à corrosão, alta plasticidade, facilidade de manufatura e de liga com outros metais, ótimas características para abrasagem e soldagem e excelentes condições básicas para deposição eletrolítica (PEREIRA, 2003).

No estado do Rio Grande do Sul existe um amplo potencial para a produção de cobre, especialmente na área do Escudo cristalino, em torno do município de Caçapava do Sul (RONCHI et al., 2000). Nessa região são reconhecidas diversas jazidas e ocorrências de cobre associadas preferencialmente às litologias de rochas metavulcanoclásticas e vulcanossedimentares, caso das ocorrências Victor Teixeira e Capão Grande (PORCHER et al., 1995).

Essas duas ocorrências compreendem disseminações de óxidos de cobre, principalmente malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) e azurita ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$), com presença reduzida de sulfetos primários, geralmente constituindo remobilizações hidrotermais ao longo de zonas de falhas ou zonas brechadas (BOCCHI, 1970; RIBEIRO, 1978).

Estudos de pesquisa e prospecção mineral nessas ocorrências podem ser realizados por meio de métodos diretos e indiretos de investigação de superfície/subsuperfície. Os métodos diretos são representados por mapeamento geológico, trincheiras, poços, testemunhos de sondagem e análises químicas e estruturais em amostras de solos e rochas. Já os métodos indiretos compreendem sensoriamento remoto e geofísica (PEREIRA, 2003).

Os métodos geofísicos constituem uma ferramenta de alta aplicabilidade na pesquisa mineral, principalmente em casos com minérios e sulfetos (maciços e/ou disseminados), pois a partir do contraste de propriedades físicas entre um alvo potencialmente mineralizado e a rocha encaixante é possível a detecção de acumulações minerais economicamente significativas (KEAREY, 2002).

Dentre os diversos métodos geofísicos, a magnetometria é reconhecida e consolidada na prospecção mineral, apresentando bons resultados referentes ao mapeamento geológico e delineamento estrutural, e também em associações entre domínios magnéticos e possíveis mineralizações (TELFORD et al., 1976).

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O principal objetivo desse trabalho é utilizar a magnetometria como ferramenta de investigação de subsuperfície para verificar a potencial relação de conexão entre as mineralizações das ocorrências cupríferas Capão Grande e Victor Teixeira.

1.2.2 Específicos

Realizar levantamentos de dados magnetométricos no intervalo de 2300 m entre as ocorrências mineralizadas em cobre Capão Grande e Victor Teixeira;

Analisar de forma integrada os mapas magnetométricos resultantes dos levantamentos de dados com as disposições das informações geológicas da área de estudo.

1.3 Justificativas

Estudos anteriores (SILVA, 2010; ILHA, 2010; FAGUNDES, 2010; PEREIRA, 2011 e BITENCOURT, 2011) serviram como balizadores para a elaboração dos objetivos propostos. A importância econômica do mercado mundial de cobre, o livre acesso às ocorrências minerais e a disposição de equipamentos concedida pelo Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho também integram os principais determinantes para a aplicação desse trabalho.

2.1 Aspectos geológicos

2.1.1 Contexto geológico regional

O Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) faz parte da porção meridional da Província Estrutural Mantiqueira, que compreende cerca de 65.000 km² da área de exposição do estado do Rio Grande do Sul, onde predominam uma grande variedade de rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas (CHEMALE JR., 2000).

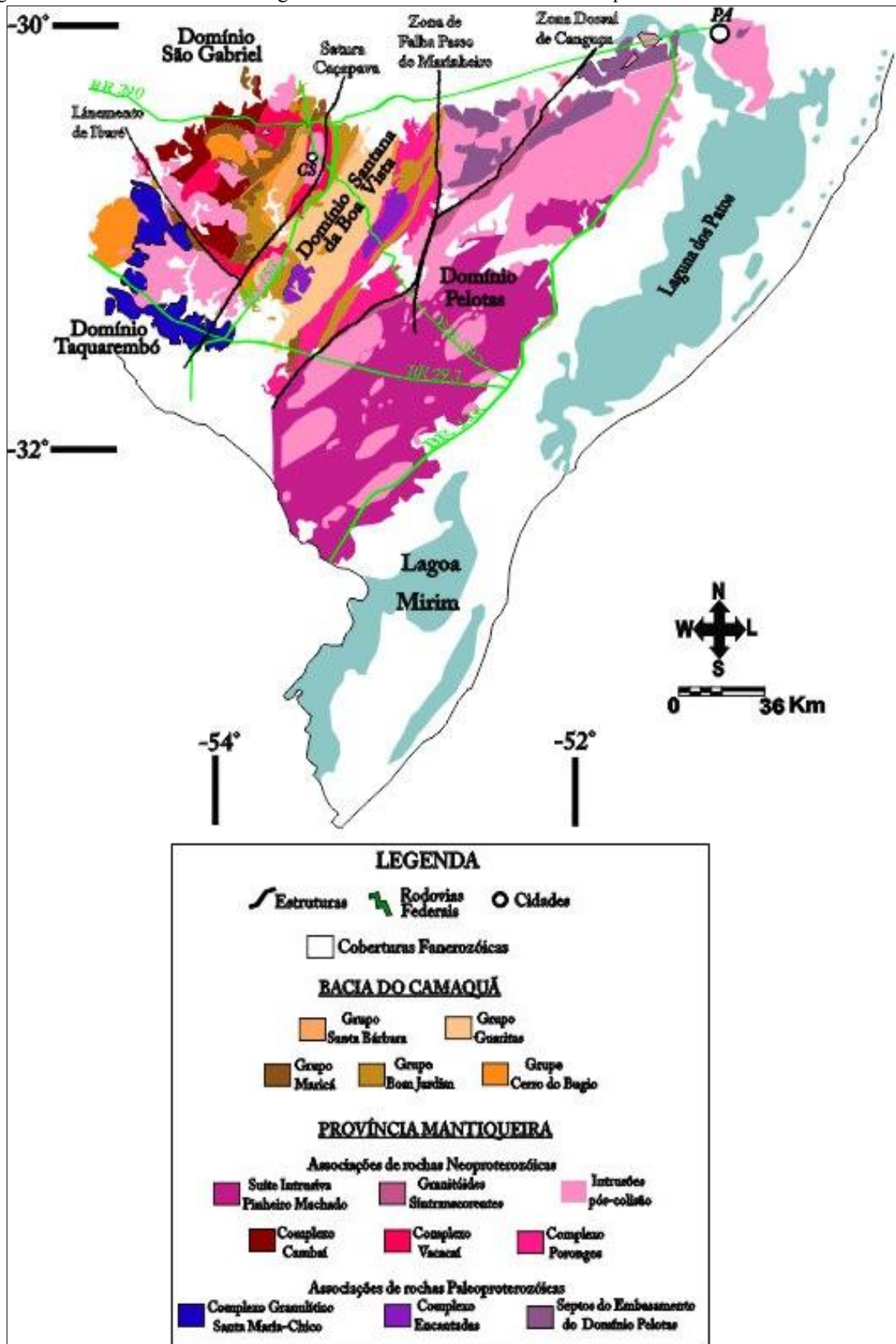
As principais unidades tectono-estratigráficas do ESRG (Figura 2) têm sua gênese relacionada aos processos de formação de crosta ocorridos durante os Ciclos Orogênicos Transamazônico/Eburiano (Paleoproterozóico 2,5 a 2,0 Ga) e Brasileiro/Pan-Africano (Neoproterozóico 900-540 Ma) (BORBA, 2006; CPRM, 2007).

Ao longo do Paleoproterozóico ocorreram os processos de acreção e desenvolvimento das plataformas continentais em torno dos Crátons Arqueanos, responsáveis pela formação de rochas granulíticas (Complexo Santa Maria-Chico), granito-gnáissicas de médio grau (Complexo Encantadas) e anfíbolitos e granito-gnaisses de médio a alto grau dos septos de embasamento do Domínio Pelotas (Figura 2). Essas unidades foram formadas em ambientes de colisão e *greenstone* e não registram quase nenhum processo de deformação ou retrabalhamento neoproterozóico.

Durante o Neoproterozóico ocorreram dois ciclos tectônicos principais; o São Gabriel e o Dom Feliciano (Figura 3). O Ciclo São Gabriel corresponde as duas fases de subducção para leste, que ocorreram no fechamento do Oceano Charrua, responsáveis pela formação dos Arcos Magmáticos Intra-Oceânico (900-800 Ma) e Continental (800-700 Ma). A esse evento é associado à formação das unidades tectono-estratigráficas dos Complexos Cambaí, Vacacaí e Porongos (Figura 2).

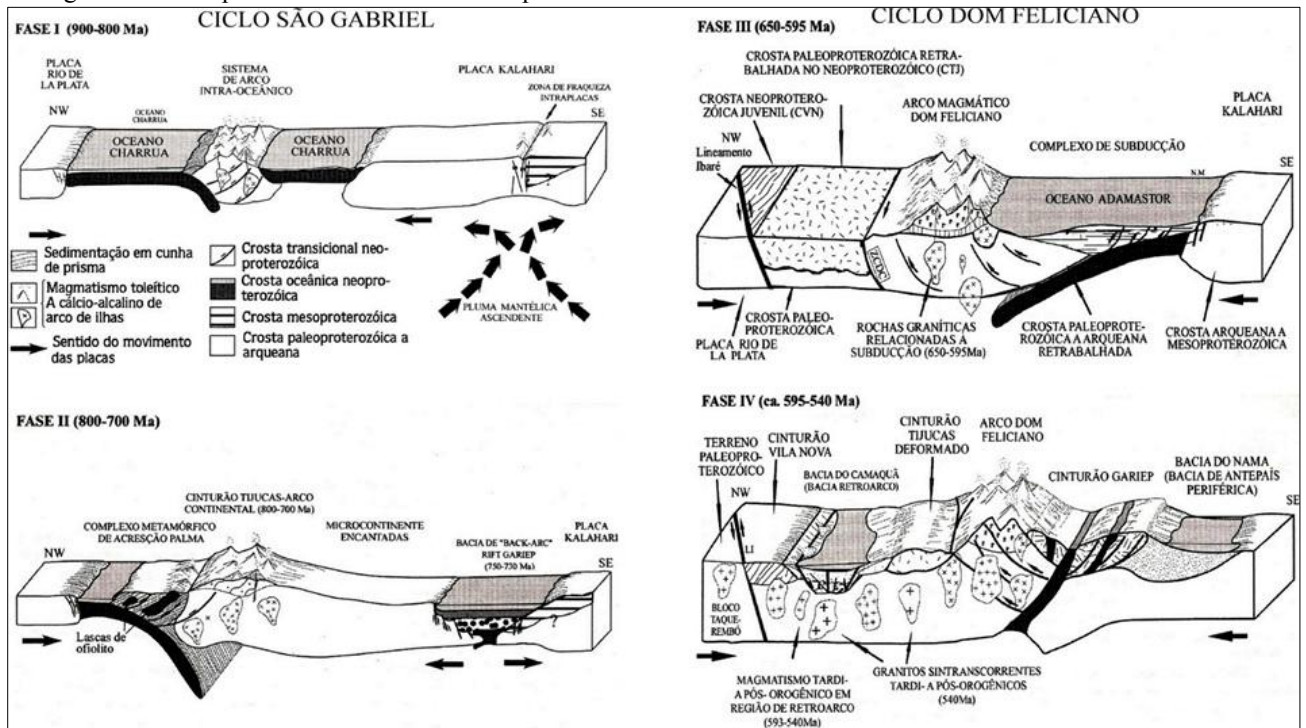
Processos de rifteamento prosseguiram na placa do Kalahari de modo a formar a crosta do Oceano Adamastor que, em menos de 100 Ma, entrou em processo de subducção com vergência para oeste na margem leste da Microplaca Encantadas, entre 650 e 595 Ma, estabelecendo o início do Ciclo Dom Feliciano (Figura 3), com a formação da Suíte Intrusiva Pinheiro Machado (Figura 2). Os estágios da fase final (595-540 Ma), que culminaram na aglutinação das Placas Rio de La Plata com o Microcontinente Encantadas e a Placa do Kalahari (Figura 3), correspondem à formação dos corpos plutônicos sintranscorrentes e pós-colisionais, bem como as unidades basais da Bacia Sedimentar do Camaquã, em um ambiente de retroarco (Figura 2).

Figura 2 – Unidades tectono estratigráficas do ESRG e da Bacia do Camaquã.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Borba (2006) e CPRM (2007).

Figura 3 – Principais fases tectônicas do Neoproterozóico.



Fonte: Chemale Jr. (2000).

Genericamente pode-se dizer que a Bacia do Camaquã caracterizou-se pela alternância entre episódios de subsidência e sedimentação e de soerguimento e erosão.

O tipo de preenchimento também foi alternado, pois ora a atividade vulcânica dominava o contexto geológico, sendo representada por lavas e depósitos piroclásticos e epiclásticos, ora a deposição era predominantemente siliciclástica (CHEMALE JR., 2000).

Tais eventos ígneos, sedimentares e tectônicos geraram um preenchimento complexo, onde unidades mais deformadas são sobrepostas por unidades cada vez menos deformadas.

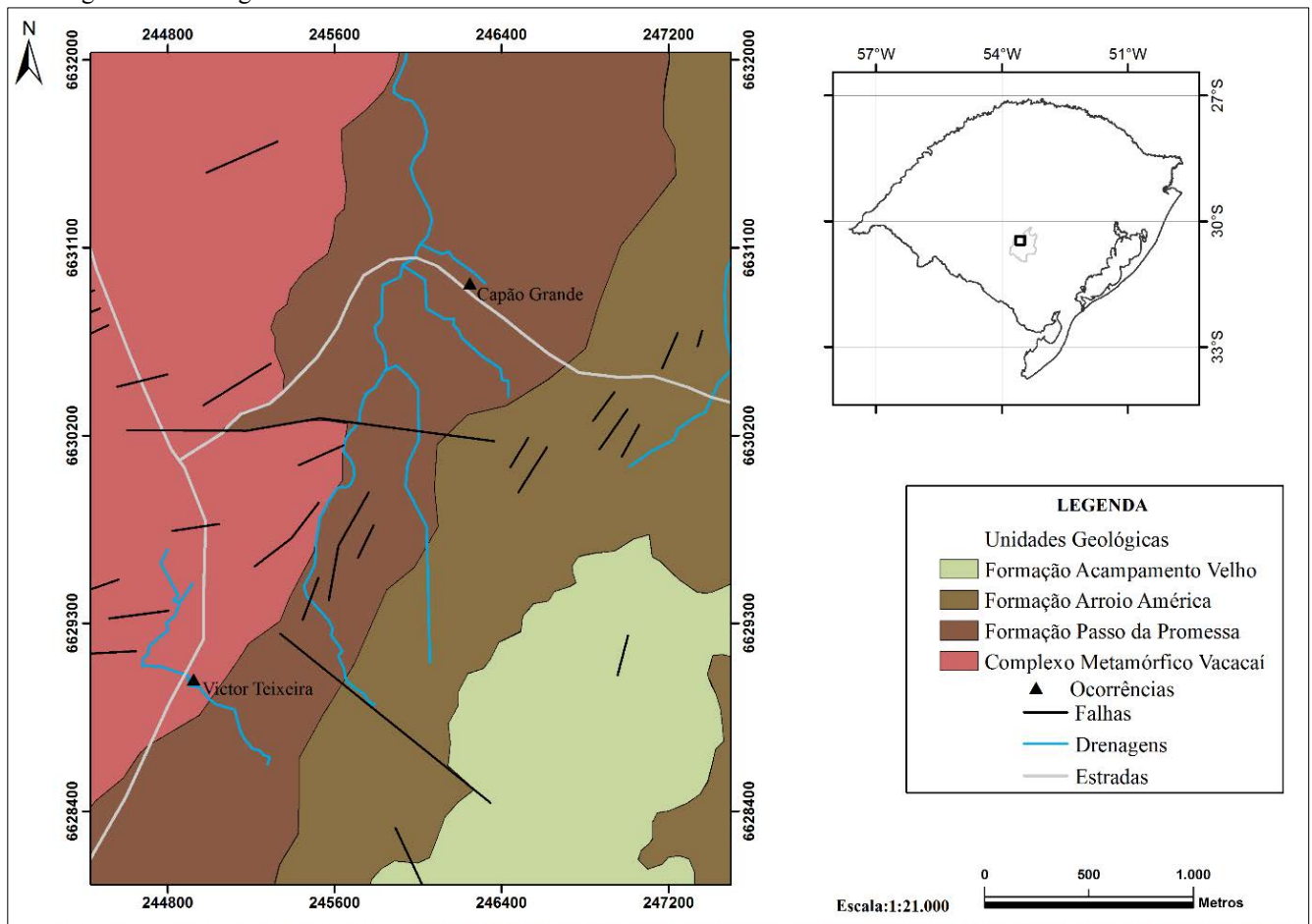
De acordo com Borba (2006) e CPRM (2007), estratigraficamente a sequência de preenchimento da Bacia do Camaquã foi denominada de Supergrupo Camaquã e subdividida em cinco Grupos principais: Maricá (620-580 Ma), Bom Jardim (580 Ma), Cerro do Bugio (550 Ma), Santa Bárbara (550-470 Ma) e Guaritas (470 Ma), separados entre si por discordâncias angulares. Cada Grupo ainda foi subdividido em Formações, limitadas principalmente por discordâncias erosivas (Figura 2).

O Grupo Maricá compreende a unidade basal de deposição sedimentar da Bacia do Camaquã. A atividade magmática da Bacia é representada pelas rochas vulcânicas e vulcanoclásticas dos Grupos Bom Jardim e Cerro do Bugio, e também por manifestações plutônicas referentes à intrusões de granitoides. Os Grupos Santa Bárbara e Guaritas constituem os últimos episódios de deposição siliciclástica da Bacia do Camaquã (CHEMALE Jr., 2000; Borba, 2006).

2.1.2 Contexto geológico local

A ocorrência cuprífera Victor Teixeira está alojada em uma unidade de embasamento do Escudo Sul-Rio-Grandense, correspondente às rochas metavulcanoclásticas do Complexo Metamórfico Vacacaí. Já a ocorrência cuprífera Capão Grande está inserida em rochas vulcanossedimentares da Formação Passo da Promessa, pertencentes ao grupo Maricá de deposição sedimentar da Bacia do Camaquã (Figura 4).

Figura 4 – Geologia e ocorrências abordadas no estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Porcher et al. (1995).

Rochas como as que integram as Formações Arroio América (Grupo Maricá) e Acampamento Velho (Grupo Cerro do Bugio) são muito comuns nas proximidades da área de estudo (Figura 4).

De acordo com Porcher et al. (1995), a unidade metavulcanoclástica do Complexo Metamórfico Vacacaí é constituída predominantemente de rochas vulcanoclásticas, às quais se associam a rochas epiclásticas e químicas com coloração predominante verde a verde-acinzentado.

As rochas vulcanoclásticas são representadas essencialmente por metatufos finos a grosseiros, metatufos lapilíticos, metaglomerados, metacherts, e rochas metavulcânicas intercaladas. Esse espesso pacote de material foi formado por diversos ciclos de atividades vulcânicas, variando entre fluxos de cinzas, púmices e lavas (PORCHER *et al.*, 1995).

As rochas epiclásticas são constituídas por metarenitos, metargilitos e metaconglomerados (PORCHER *et al.*, 1995). Segundo Wildner (1990), a origem dessas rochas também está associada com atividades vulcânicas, porém, com fase principal baseada em correntes de lavas de alta densidade.

As rochas químicas consistem basicamente de metacherts e formações ferríferas bandadas (PORCHER *et al.*, 1995). Mas, Segundo Koppe (1990), em alguns locais também ocorrem tufos chéríticos.

Grande parte das paragêneses minerais das rochas acima descritas foi afetada pelo contato com rochas supracrustais, cujo metamorfismo gerou condições de fácies xisto verde inferior para médio a superior, zona da clorita (PORCHER *et al.*, 1995).

Vestígios de fácies metamórficas mais elevadas, geradas por metamorfismos de contato, também são registradas, como hidrotermalismo, silicificação e carbonatização, responsáveis pelas fácies hornblenda hornfels, impostos principalmente por intrusões graníticas brasileiras pós-tectônicas mais jovens (PORCHER *et al.*, 1995).

As foliações regionais (fácies xisto verde) foram inseridas num contexto de falhas de empurrão, marcadas por duas fases principais: (a) um regime dúctil, marcado por dobras isoclinais, falhas de empurrão, de deslocamento e falhas normais com direção geral NW-SW; (b) um regime dúctil-rúptil a rúptil, com orientações preferenciais NNE-SSW e, secundariamente, NW-SE e E-W, responsável por falhas inversas, crenulação e clivagem de crenulação.

Alguns desses registros estão pouco preservados em decorrência das movimentações direcionais ou horizontais dos eventos transcorrentes mais jovens (brasilianos), evidenciados por falhas normais e oblíquas com direção preferencial NE que recortam boa parte das foliações regionais (PORCHER *et al.*, 1995).

Naime (1987), ao identificar um sistema de falhas e fraturas (N30°-50°W) em locais de contato com as rochas da Formação Passo da Promessa, resultante de reativações das zonas de cisalhamento transcorrentes, e ao comparar com o caráter retilíneo e direcional (N30°-40°) das sucessões estratigráficas dessa Formação, pode definir a implantação da bacia sedimentar segundo a direção dos falhamentos encontrados no contato. Essa relação de contato também é a mesma associada à mineralização de cobre aflorante na área de estudo (BOCCHI, 1970).

A Formação Passo da Promessa distribui-se como uma estreita faixa alongada na direção nordeste, sobrepondo-se (500 a 750 m) às rochas da unidade metavulcanoclástica do Complexo Metamórfico Vacacaí.

Segundo Porcher et al. (1995), essa unidade é constituída por duas litofácies principais: arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada e arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular.

A litofácies de arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada é a dominante, sendo constituída por espessos pacotes de arcóseos róseos a avermelhados, cinza-avermelhados ou castanho-avermelhados. Os arcóseos apresentam granulometria variando de média a grossa com grau de selecionamento de moderado a bom. São feldspáticos, pouco micáceos, mas com abundantes minerais escuros, provenientes de granitos, quartzitos, gnaisses, xistos esverdeado, riolitos, milonitos, quartzos leitoso, de interclastos de argila e, ocasionalmente, de rochas sedimentares silicificadas (arenitos e siltitos) (PORCHER *et al.*, 1995).

A litofácies de arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada tabular é constituída por arcóseos idênticos aos descritos anteriormente, diferenciando-se apenas na estratificação tabular (PORCHER *et al.*, 1995).

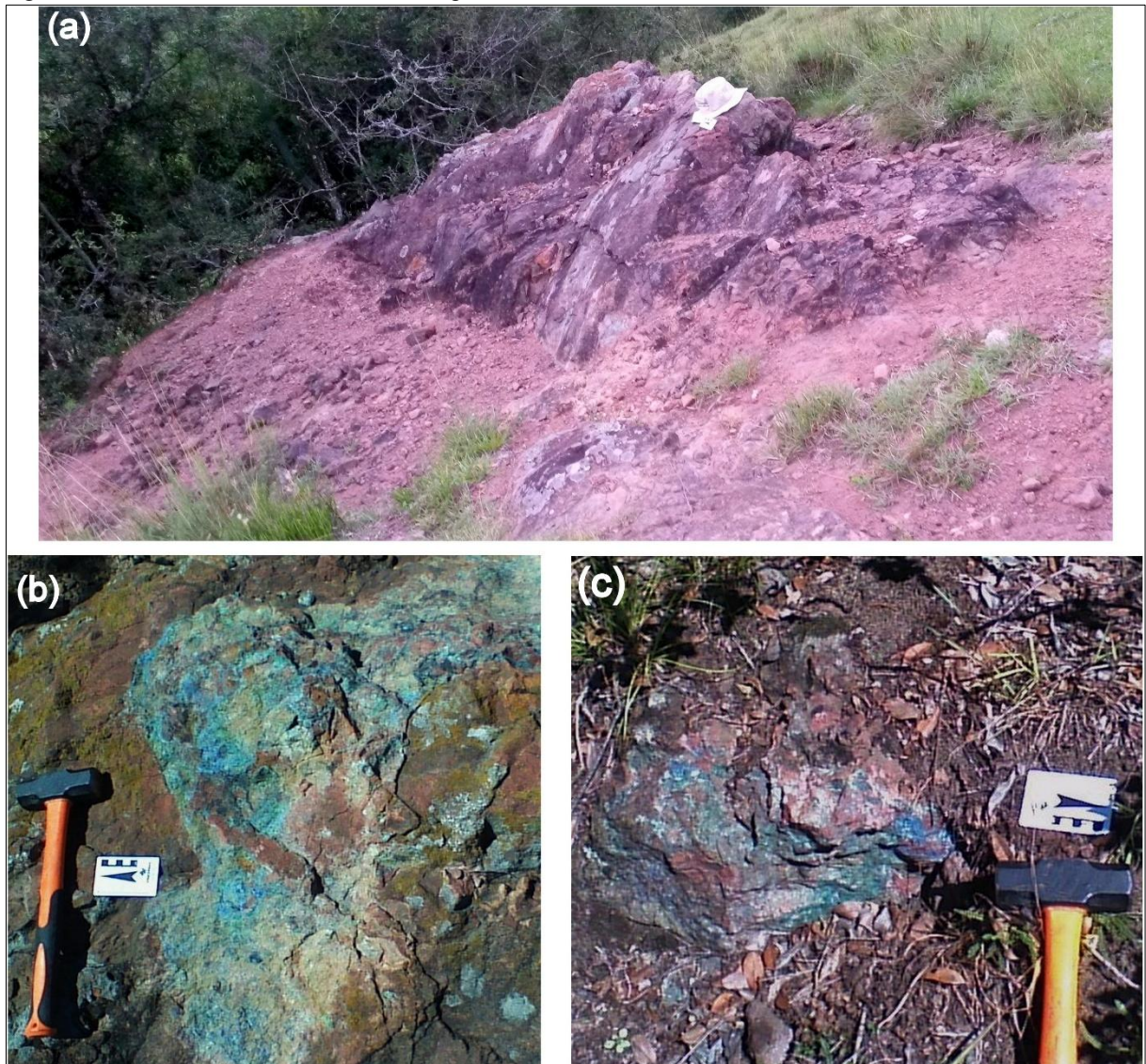
A litofácies de estratificação cruzada acanalada é interpretada como representativa de depósitos construídos pela migração de formas de leito tipo dunas subaquosas. Já a estratificação cruzada tabular é representativa de depósitos tipo barras transversais. No conjunto, caracterizam um sistema fluvial entrelaçado, onde dominam depósitos arenosos, formados por fluxo trativo unidirecional (PORCHER *et al.*, 1995).

2.1.3 Características dos afloramentos mineralizados

2.1.3.1 Capão Grande

A ocorrência mineralizada em cobre Capão Grande compreende um afloramento de arenito arcosiano conglomerático com aproximadamente 19 m de comprimento por 10 m de espessura, disposto na direção NW, saliente na topografia (Figura 5a). O afloramento apresenta mineralizações de cobre que ocupam boa parte dos interstícios da rocha (Figura 5b). As mineralizações são constituídas por carbonatos de cobre, respectivamente malaquita e azurita (Figura 5c).

Figura 5 – Características do afloramento Capão Grande.

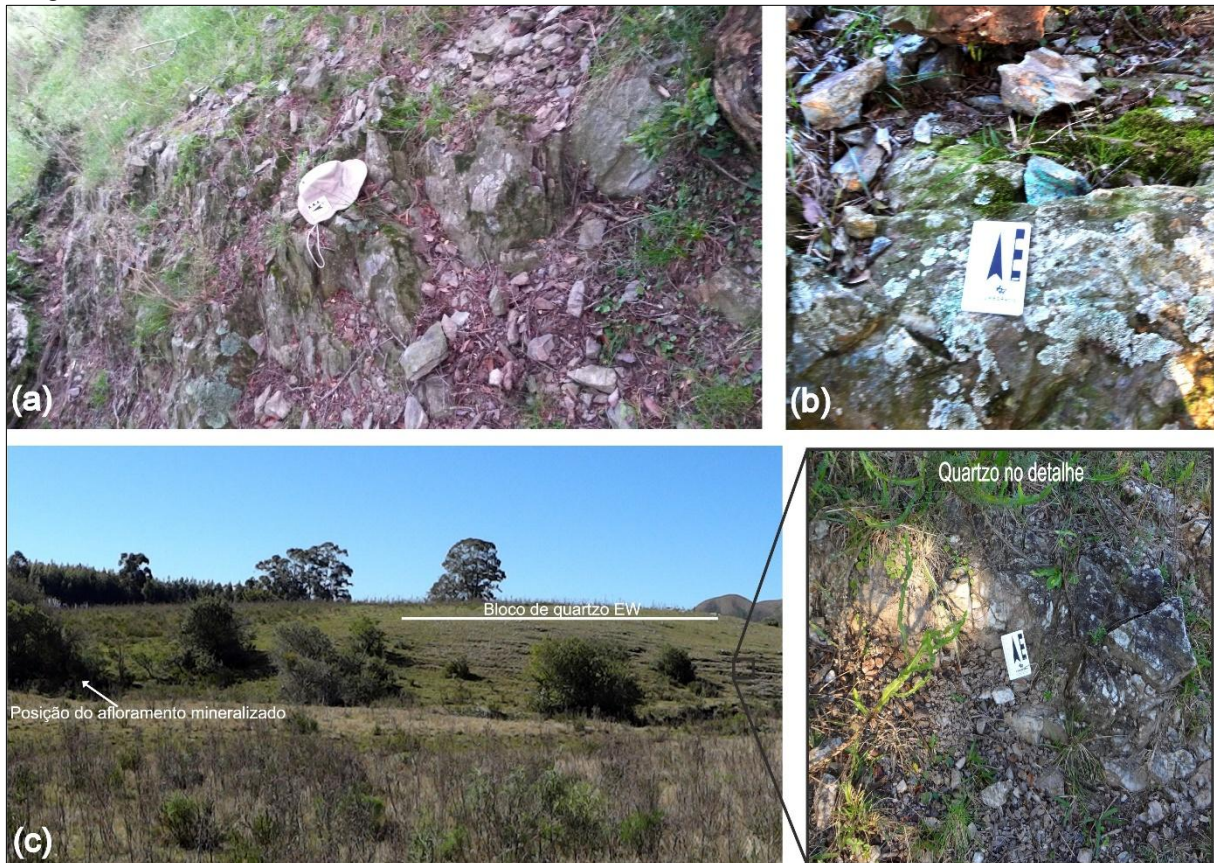


Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.3.2 Victor Teixeira

A ocorrência cuprífera Victor Teixeira é caracterizada por um afloramento com aproximadamente 5 m de comprimento por 2 m de espessura, disposto na direção nordeste (Figura 6a). O afloramento é constituído por rochas com foliação plano paralela e coloração que varia de cinza esverdeado a cinza escuro, respectivamente clorita xistos e actinolita-xistos, que apresentam algumas impregnações de malaquita entre os espaços das foliações (Figura 6b). Esse afloramento faz parte de um bloco de quartzito de direção EW, que se destaca no relevo (Figura 6c).

Figura 6 – Características do afloramento Victor Teixeira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.4 Gênese das mineralizações

As ocorrências cupríferas Capão Grande e Victor Teixeira não apresentam estudos quanto à gênese das mineralizações.

A mineralização de cobre mais próxima a essas ocorrências que já foi alvo de estudos metalogenéticos é a da Mina do Camaquã. De acordo com Teixeira (1937), Leinz & Almeida (1941) e Costa Filho (1944), a gênese do minério de Camaquã é de origem hidrotermal magmática. As hipóteses vigentes desses trabalhos sugerem que o depósito de Camaquã teria sido o resultado da ascensão de fluidos hidrotermais originados de corpos magmáticos profundos por meio de fraturas nas rochas sobrejacentes.

Beckel (1990) também sugere que os fluidos hidrotermais formadores dos depósitos de Camaquã são semelhantes aos depósitos do tipo cobre pórfiro. Segundo Sawkins (2010), os depósitos de cobre pórfiro são associados a ambientes constituídos por arcos vulcânicos plutônicos alcalinos e calcialcalinos, do tipo arco de ilha ou margem continental ativa, relacionados com fenômenos de subducção de placa oceânica, processos estes que sucederam a formação da Bacia Sedimentar do Camaquã.

3 ESTUDOS ANTERIORES

A área de estudo já foi alvo de cinco trabalhos geofísicos de conclusão de curso da Universidade Federal do Pampa (Silva, 2010; Fagundes, 2010; Ilha 2010; Pereira 2011 e Bitencourt, 2011).

Os trabalhos de Silva (2010), Ilha (2010) e Pereira (2011) constituem os estudos realizados na ocorrência mineralizada em cobre Capão Grande. Os trabalhos de Fagundes (2010) e Bitencourt (2011), por sua vez, correspondem aos estudos aplicados na ocorrência cuprífera Victor Teixeira.

3.1 Trabalhos em Capão Grande

O primeiro estudo geofísico desenvolvido na ocorrência cuprífera Capão Grande compreende a caracterização magnetométrica realizada por Silva (2010).

Impulsionado pela falta de informações de subsuperfície, essa autora procurou identificar contrastes nos valores de intensidade do campo magnético terrestre que pudessem caracterizar áreas com presença de mineralizações de cobre em subsuperfície.

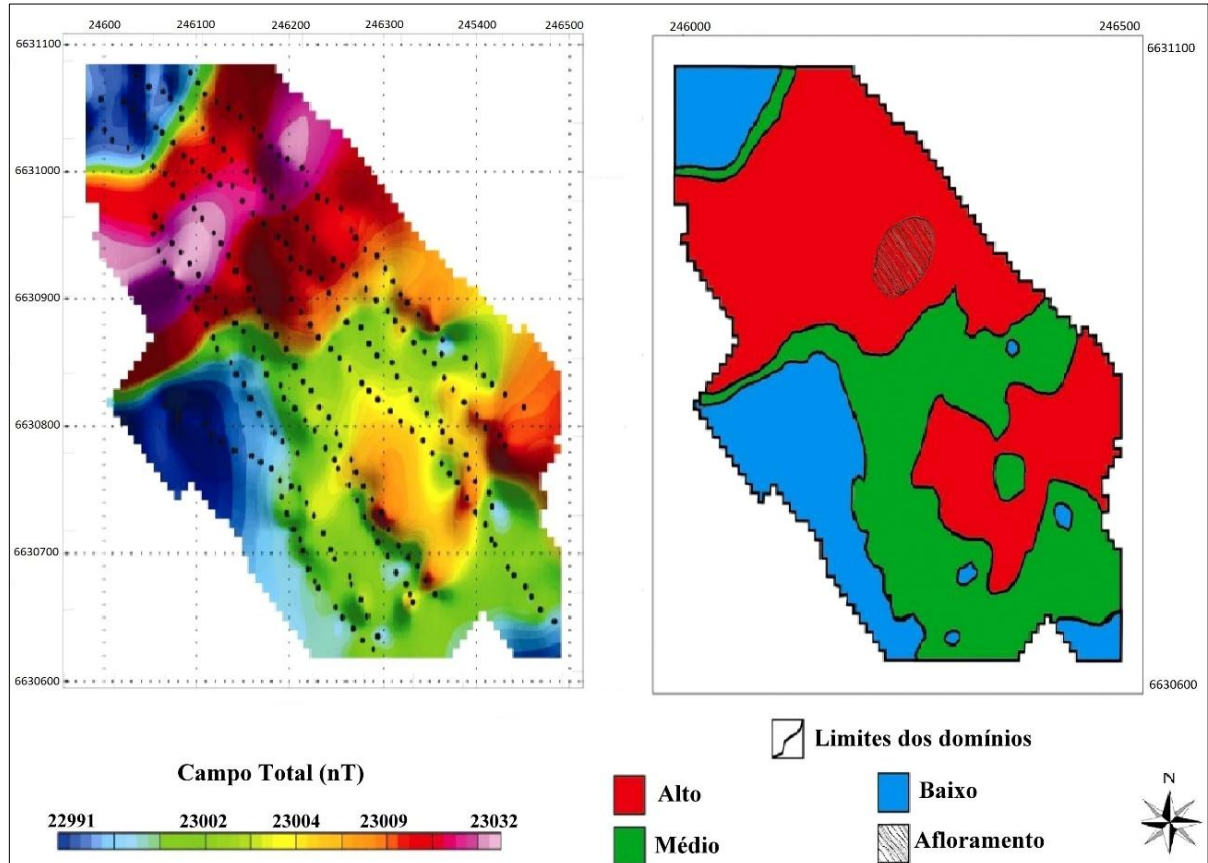
Para isso, foram adquiridas medidas de intensidade do campo magnético total a cada 15 m de oito perfis com aproximadamente 400 m de extensão, posicionados em equidistância de 50 m.

Os resultados obtidos após o processamento dos dados possibilitaram a caracterização de três domínios magnéticos distintos para o arenito conglomerático arcossiano encaixante: um domínio magnético alto com valores elevados de intensidade; um domínio magnético médio com valores intermediários de intensidade; e um domínio magnético baixo com os menores valores de intensidade do campo magnético terrestre (Figura 7).

Os arenitos conglomeráticos arcossianos não apresentam valores de suscetibilidade elevados que possam justificar a forte intensidade de magnetização do domínio magnético alto, por se tratar de uma rocha com teores baixos de minerais magnéticos. Entretanto, minerais magnéticos são frequentemente associados a mineralizações de cobre, o que dessa forma e pelo fato do afloramento mineralizado com malaquita e azurita fazer parte do domínio magnético alto, permitiu a Silva (2010) associar às áreas do domínio magnético alto como sendo a resposta da magnetização provinda da presença de carbonatos de cobre em subsuperfície.

Também foi associada pela autora uma área com presença de sulfetos de cobre em subsuperfície, respectivamente na faixa anômala de direção preferencial variando de N20° a N30° à ocorrência mineral no domínio magnético alto (valores de intensidade do campo magnético para a coloração roxa) (Figura 7).

Figura 7 - Principais domínios magnetométricos.



Fonte: Silva (2010).

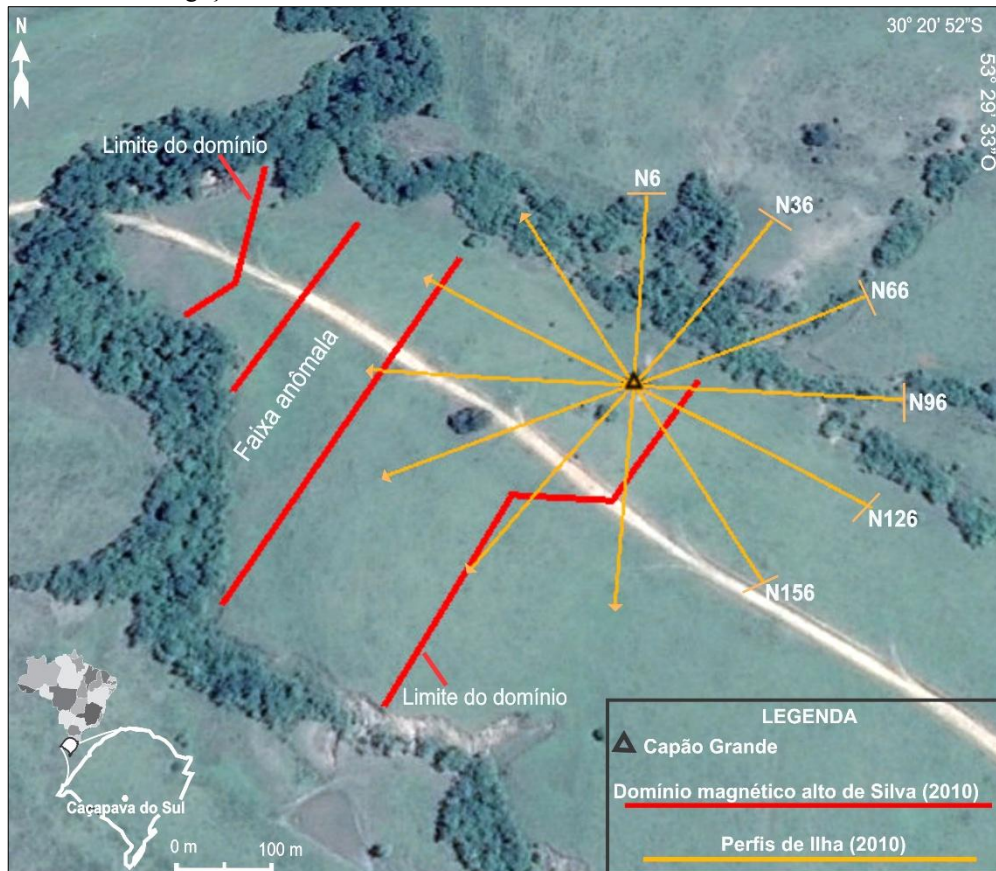
A caracterização geolétrica de Ilha (2010) constitui o segundo estudo geofísico realizado na ocorrência mineralizada em cobre Capão Grande.

Esse estudo teve como objetivo verificar a disposição preferencial dos resultados do domínio magnético alto com a faixa anômala obtida no trabalho de Silva (2010), por meio da aplicação dos métodos geofísicos da Eletroresistividade e da Polarização Induzida.

Os métodos foram aplicados ao longo de perfis pela técnica de caminhamento elétrico, em arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento entre eletrodos de 10 m e leitura de medidas de resistividade e cargabilidade aparente em 20 níveis de investigação em profundidade.

Os perfis foram elaborados com 240 m de extensão, posicionados sobre a ocorrência mineral aflorante, com pontos centrais coincidentes e com direções distintas de aquisição, em forma azimutal a cada 30° (Figura 8).

Figura 8 - Perfis de investigação em forma azimutal.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos trabalhos de Silva (2010) e Ilha (2010).

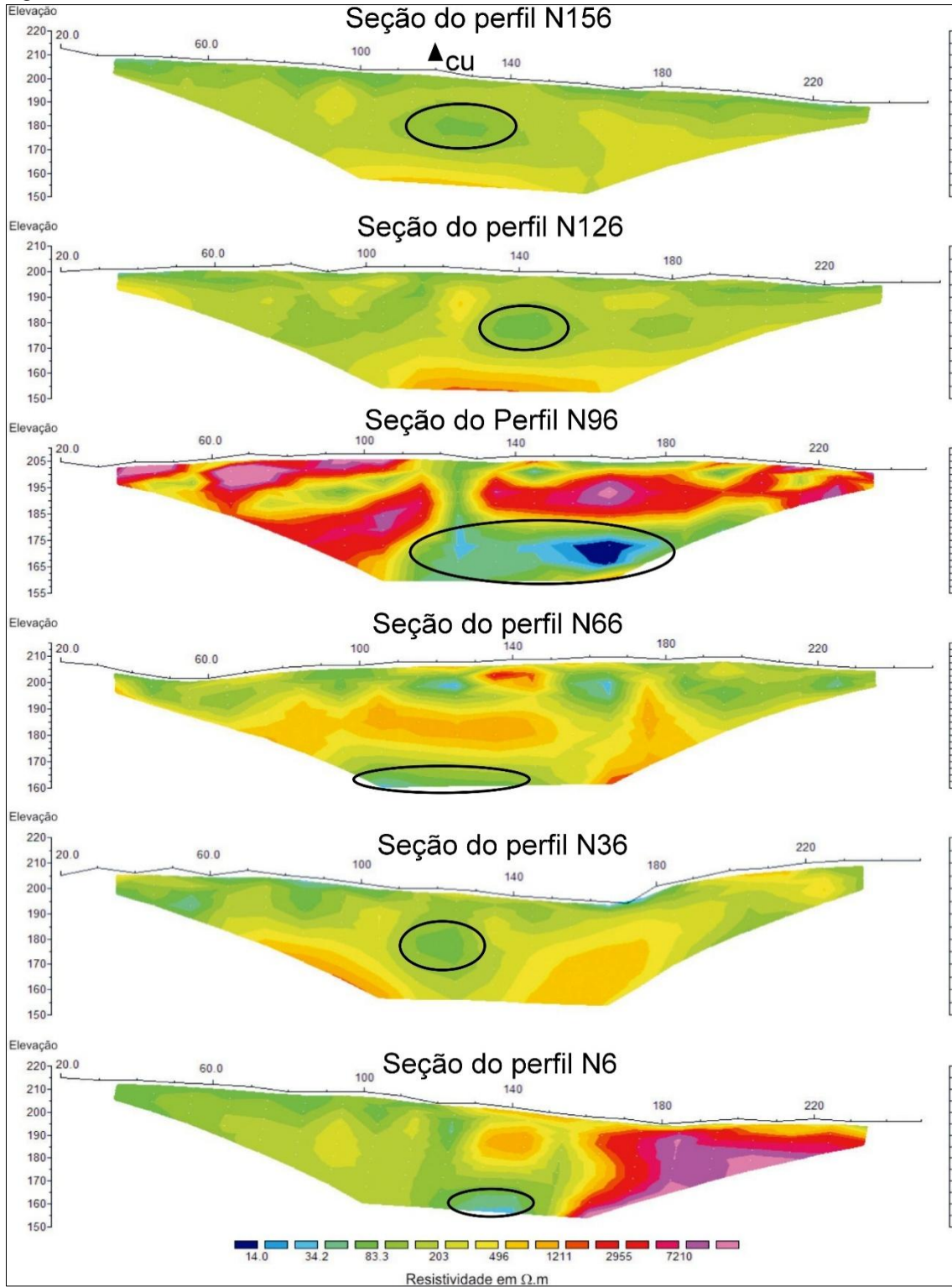
Dos resultados adquiridos por esse autor, o mais satisfatório foi obtido com o método da eletrorresistividade, cujas seções resultantes possibilitaram a interpretação de áreas aproximadamente circulares de baixos valores de resistividade aparente, localizadas em posições muito próximas à exposição em superfície da ocorrência mineral (Figura 9).

A baixa resistividade atribuída a essas áreas foi correlacionada à presença de mineralizações em subsuperfície, devido ao comportamento condutivo do cobre em contraste com o comportamento resistivo do arenito arcossiano conglomerático.

Aos baixos valores observados nas seções N156°, N126° e N36° foram atribuídos a respostas de carbonatos de cobre. Já as áreas com valores de resistividades ainda mais baixos e localizados em maiores profundidades nas seções N96°, N66° e N6° foram relacionadas à presença de sulfetos em subsuperfície.

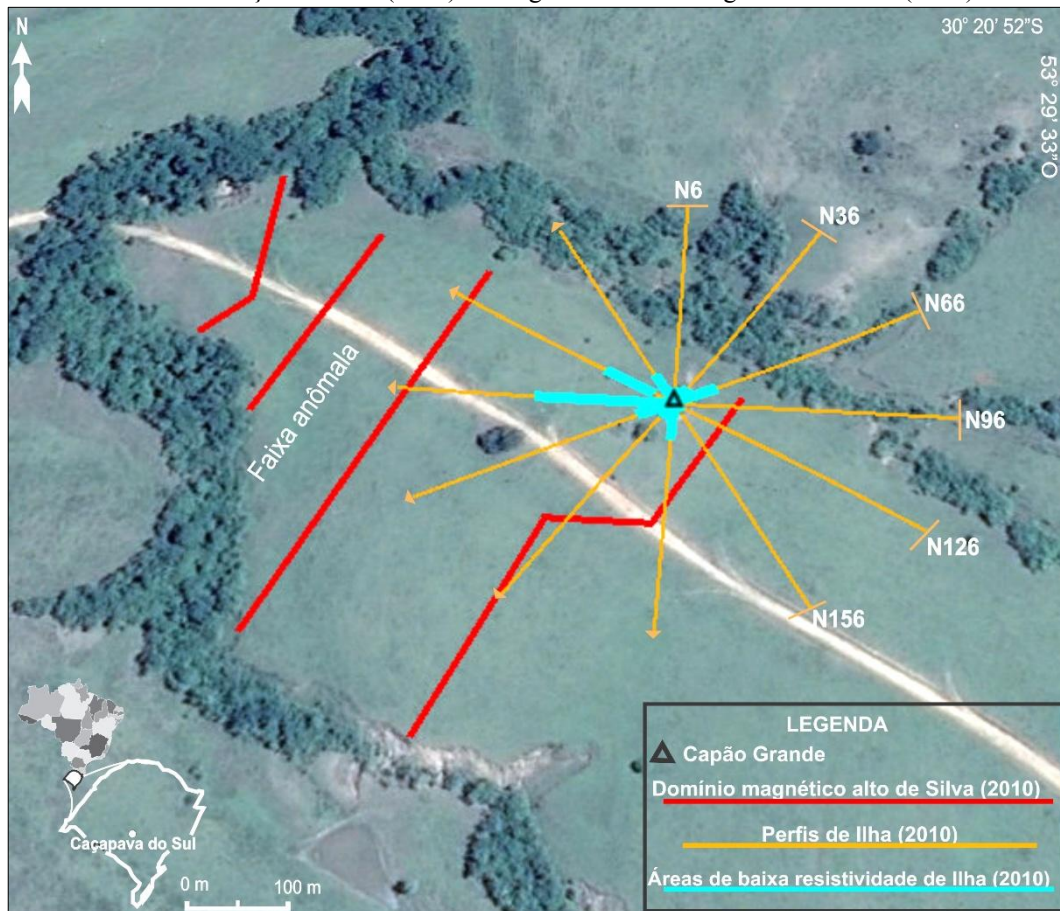
Mediante a dispersão preferencial das áreas de baixa resistividade ao longo do domínio magnético alto (Figura 10), Ilha (2010) pode definir a disposição preferencial das mineralizações para SW da ocorrência mineral, assim como apontar a ausência de mineralizações à norte do afloramento mineralizado.

Figura 9 - Modelos de inversão de resistividade elétrica.



Fonte: Ilha (2010).

Figura 10 – Resultados das seções de Ilha (2010) ao longo do domínio magnético de Silva (2010).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos trabalhos anteriores de Silva (2010) e Ilha (2010).

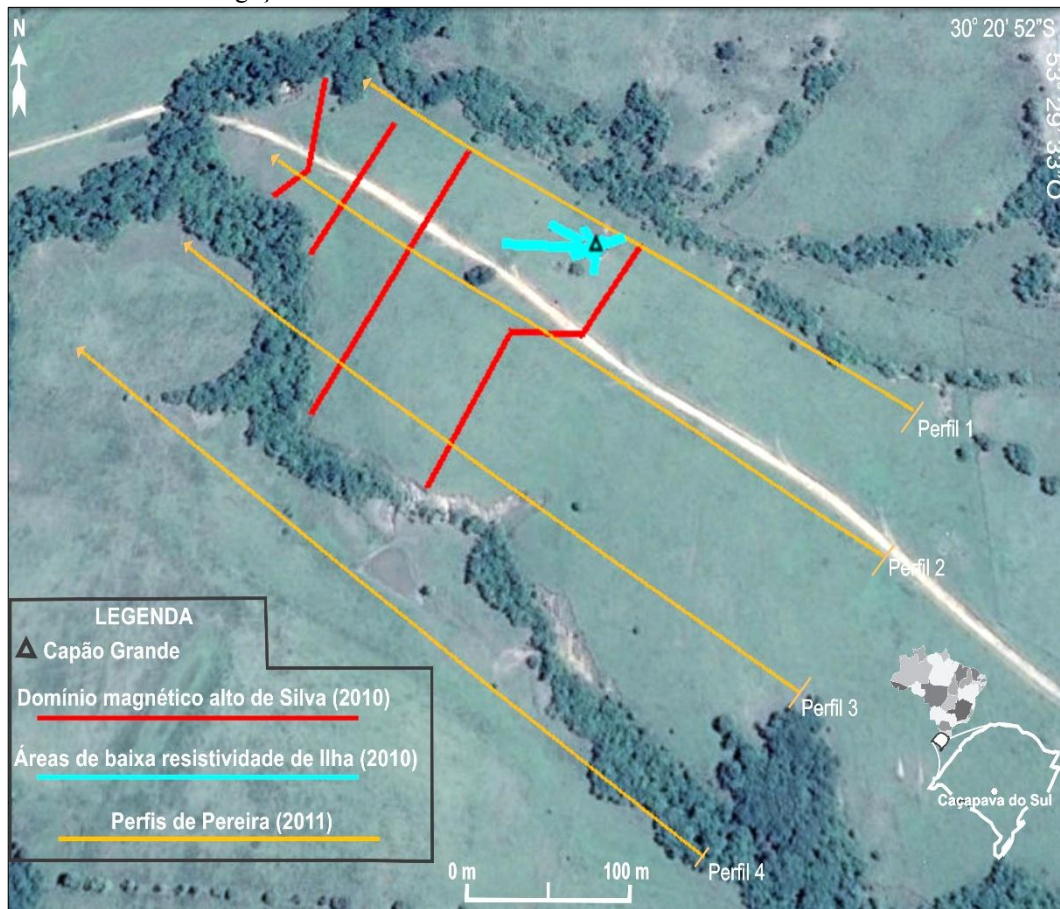
A última caracterização geofísica empregada na ocorrência cuprífera Capão Grande foi desenvolvida no estudo de Pereira (2011), do presente autor dessa dissertação.

Esse estudo teve como principal motivação a disposição preferencial dos resultados anteriores de Ilha (2010) ao longo do domínio magnético de Silva (2010), que permitiram a investigação de uma provável continuidade lateral das mineralizações para SW de Capão Grande.

A continuidade lateral foi investigada por meio da aplicação de Eletroresistividade e do método Eletromagnético no Domínio da Frequência (FEDEM-GCM) ao longo de 4 perfis com 480 m de extensão, dispostos perpendicularmente tanto à ocorrência mineral quanto as disposições das áreas de interesse até então caracterizadas (Figura 11).

Também foi proposta a realização de um levantamento estrutural de detalhe, na tentativa de correlacionar as zonas de fraturamento mineralizadas com os resultados dos produtos geofísicos.

Figura 11 – Perfis de investigação.

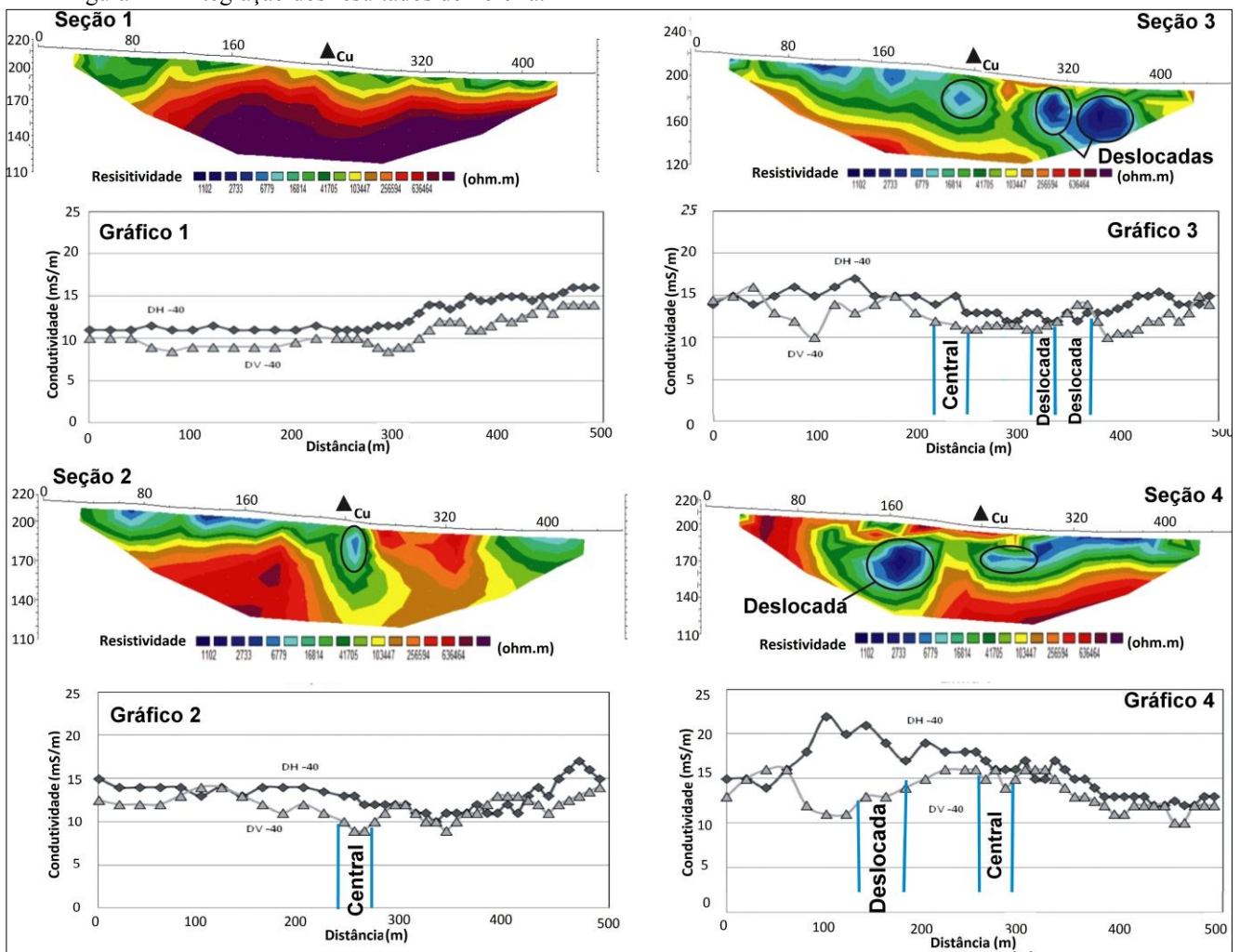


Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos trabalhos anteriores de Silva (2010), Ilha (2010) e Pereira (2011).

A partir da análise integrada dos resultados de resistividade e condutividade aparente (Figura 12), Pereira (2011) pode definir áreas centrais com baixa resistividade para até 50 m de profundidade, semelhante às definidas por Ilha (2010). Também foram caracterizadas áreas deslocadas com resistividades ainda menores e que alcançam os 75 m de profundidade (Figura 12).

As áreas centrais mais superficiais (para até 50 m de profundidade) foram associadas a respostas provenientes de concentrações de carbonatos de cobre, devido aos baixos valores de condutividade aparente. As áreas deslocadas de maiores profundidades (que atingem os 75 m) foram interpretadas como sendo respostas associadas à presença de sulfetos, pois os valores de condutividade aparente para essas áreas foram elevados.

Figura 12 - Integração dos resultados de Pereira.

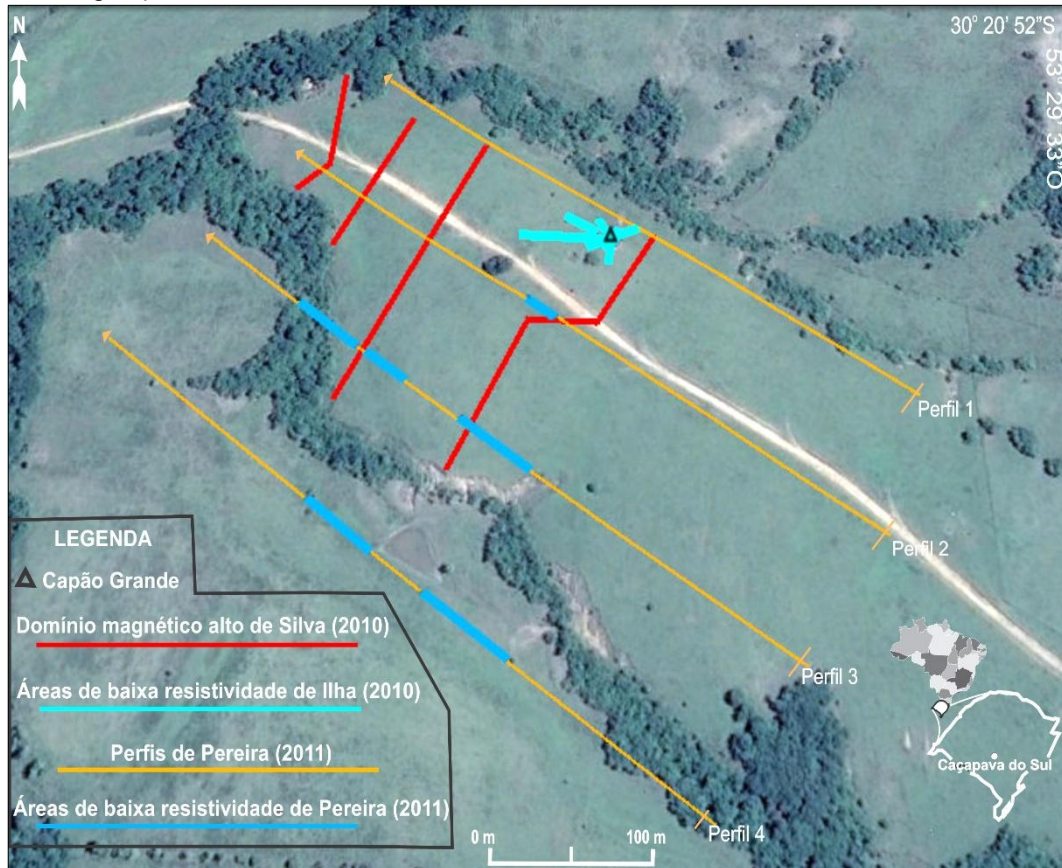


Fonte: Modificado de Pereira, 2011.

A inexistência de áreas com baixa resistividade na Seção 1 corrobora com a sugestão feita por Ilha (2010), de que não há mineralização para norte da ocorrência. Já a disposição das áreas de baixa resistividade das seções 2, 3 e 4 (Figura 13), permitiu a Pereira (2011) definir a existência da continuidade lateral das mineralizações em subsuperfície para SW da ocorrência mineral.

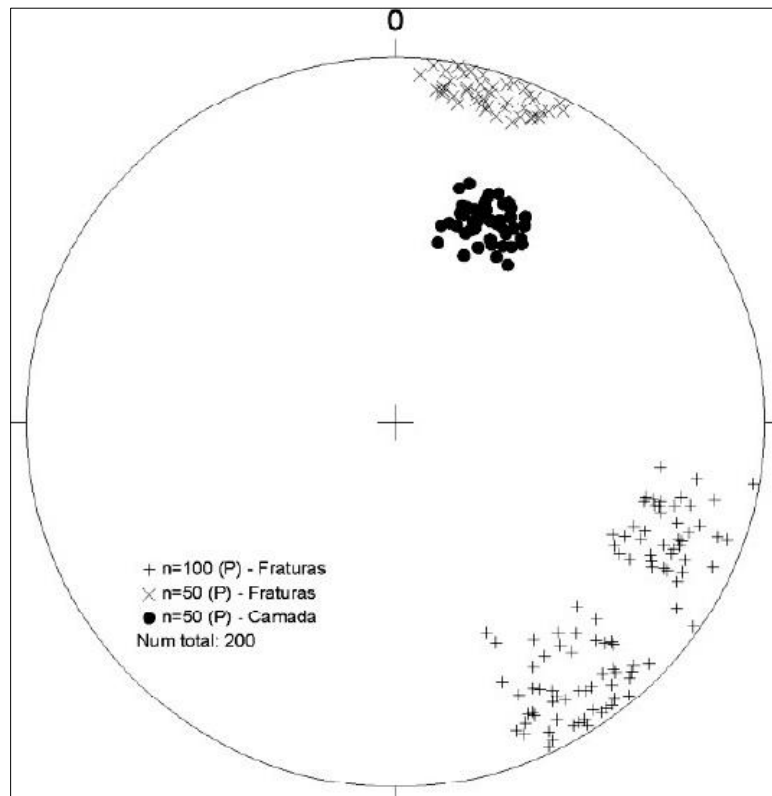
Ao analisar a direção geral $N36^\circ$ (*trend* para sudoeste) da disposição das áreas circulares de baixa resistividade com o diagrama de pontos que apresenta as atitudes das principais famílias de fraturas das rochas expostas na área (Figura 14), foi observado que a direção $N36^\circ$ do *trend* não é a mesma das principais famílias de fraturas ($N18$ e $N112$), fato que levou a Pereira (2011) apontar um condicionante litológico associado a gênese da ocorrência (fluido hidrotermal seguiu preferencialmente os poros da rocha e não as fraturas).

Figura 13 - Disposição dos resultados de interesse dos trabalhos anteriores.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos trabalhos anteriores de Silva (2010), Ilha (2010) e Pereira (2011).

Figura 14 – Estereograma de atitudes em fraturas e camadas.



Fonte: Pereira (2011).

3.2 Trabalhos em Victor Teixeira

A caracterização geolétrica de Fagundes (2010) compreende o primeiro estudo geofísico desenvolvido na ocorrência mineralizada em cobre Victor Teixeira.

O principal objetivo desse estudo foi a busca por variações nas propriedades físicas dos xistos encaixantes que pudessem ser relacionadas a presença de mineralizações de cobre em subsuperfície.

Essa autora utilizou para isso os métodos geofísicos da Eletroresistividade e da Polarização Induzida ao longo de cinco perfis de investigação. Os perfis foram desenvolvidos com 240 m de extensão, dispostos perpendicularmente a ocorrência mineral e com espaçamento entre si de 30 m (Figura 15).

Os métodos geofísicos foram empregados pela técnica de caminhamento elétrico, em arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento entre eletrodos a cada 10 m para 20 níveis de investigação em profundidade.

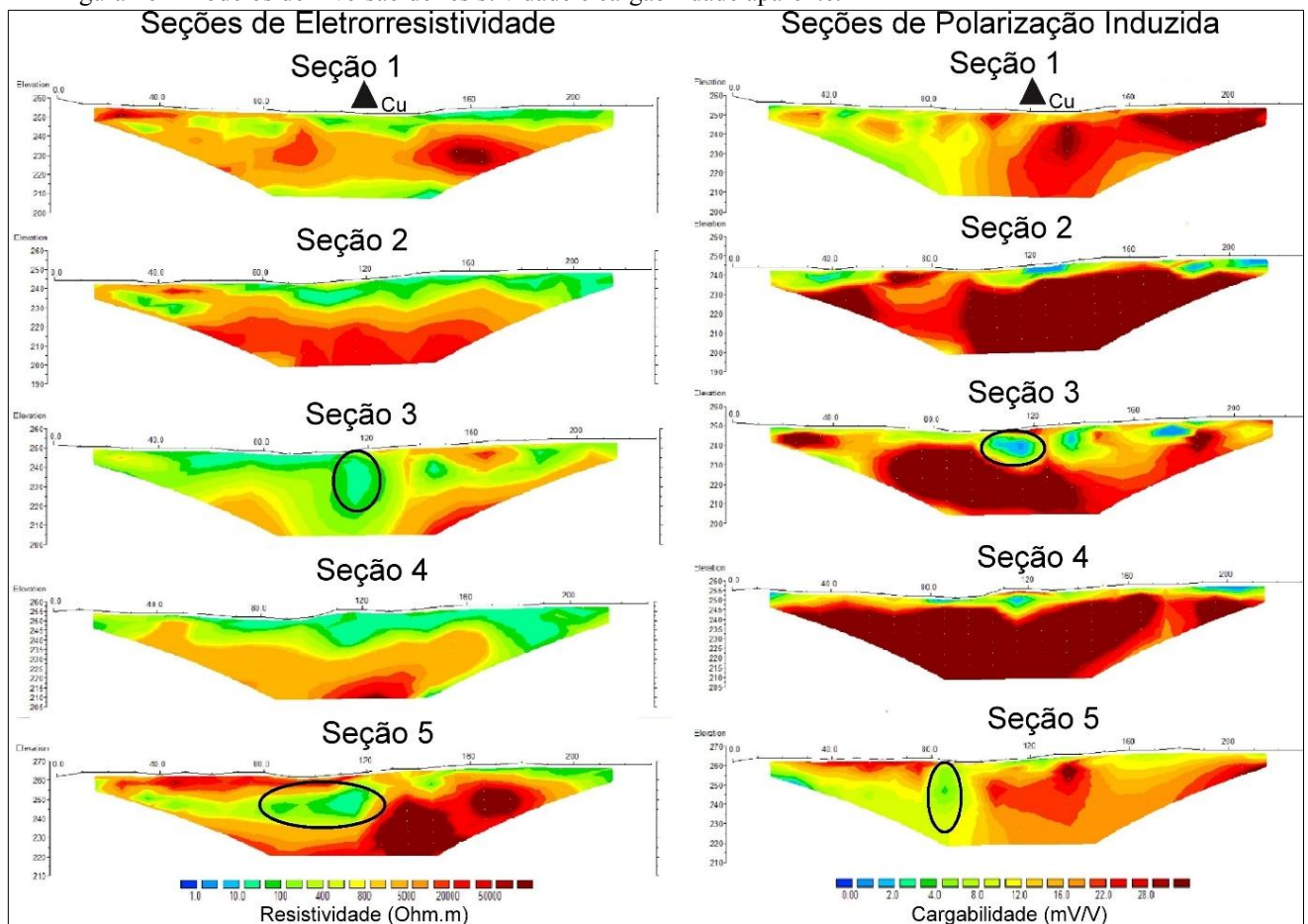
Figura 15 – Perfis de investigação.



Fonte: Fagundes (2010).

Os resultados obtidos com os caminhamentos elétricos apresentaram contrastes de propriedades elétricas nos xistos encaixantes (Figura 16).

Figura 16 - Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade aparente.



Fonte: Modificado de Fagundes (2010).

As seções 2 e 4 de resistividade aparente permitiram a Fagundes interpretar horizontes estratigráficos na rocha encaixante: um mais superficial com valores baixos de resistividade, associado ao solo saturado em água; um intermediário com valores médios de resistividade aparente, interpretados como a porção alterada do solo (saprólito); e outro na base do perfil com os valores mais elevados de resistividade aparente, atribuído a porção não alterada da rocha xistosa.

Fagundes (2010) pode definir também a continuidade das mineralizações do afloramento mineralizado em subsuperfície, respectivamente na grande área aproximadamente circular de baixa resistividade da seção 3, que cruza a ocorrência mineral. A pequena área de baixa cargabilidade na mesma posição da seção 3 corrobora com essa definição. Em semelhança, as áreas aproximadamente circulares das seção 5 de resistividade e cargabilidade aparente também foram associadas como resposta da presença de mineralizações de cobre em subsuperfície.

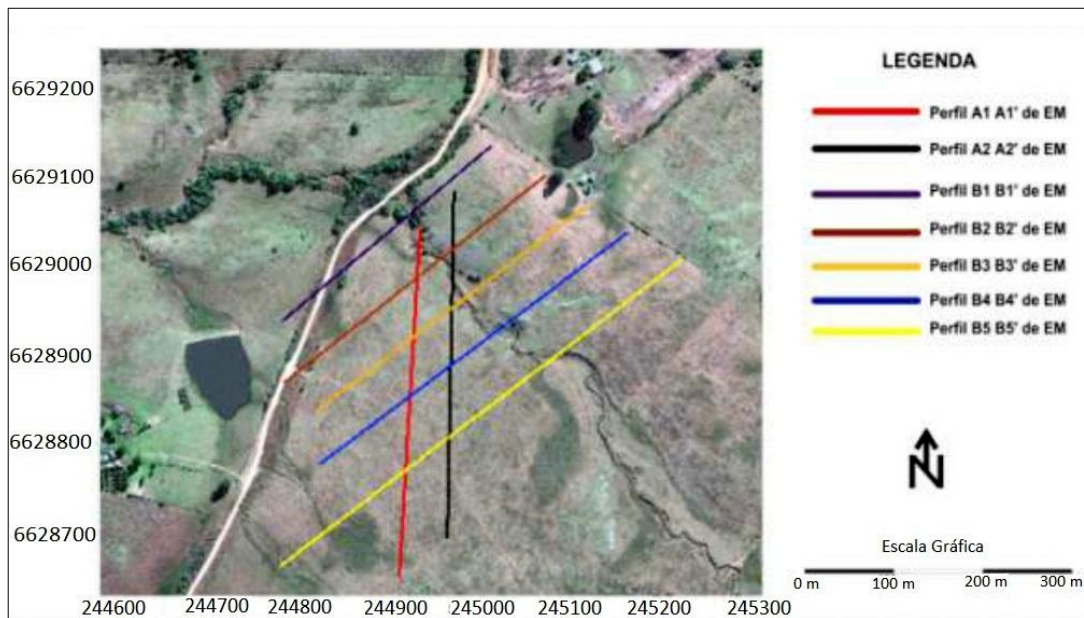
A última caracterização geofísica realizada na ocorrência cuprífera Victor Teixeira foi desenvolvida no estudo de Bitencourt (2011).

Esse autor investigou a subsuperfície dessa ocorrência de acordo com a utilização do método Eletromagnético no Domínio da Frequência (FDEM) ao longo de 5 perfis NE-SW (B1, B2, B3, B4, B5) e 2 NS - A1 e A2 (Figura 17).

Os perfis NE-SW foram definidos de acordo com uma análise prévia da direção NW principal das falhas mineralizadas para a área da ocorrência de Victor Teixeira (Figura 18). Os perfis A1 e A2 foram realizados para critério de comparação.

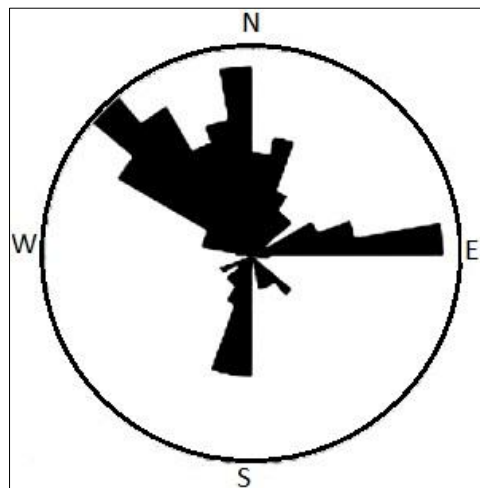
Os perfis foram elaborados com comprimentos variáveis entre 370 m e 500 m e espaçamentos de 50 m. Ao longo de cada perfil, as medidas de condutividade aparente foram adquiridas a cada 10 m, com dipolos posicionados na posição vertical e horizontal. As profundidades investigadas alcançaram os 60 m.

Figura 17 – Perfis NE e NS.



Fonte: Bitencourt 2011.

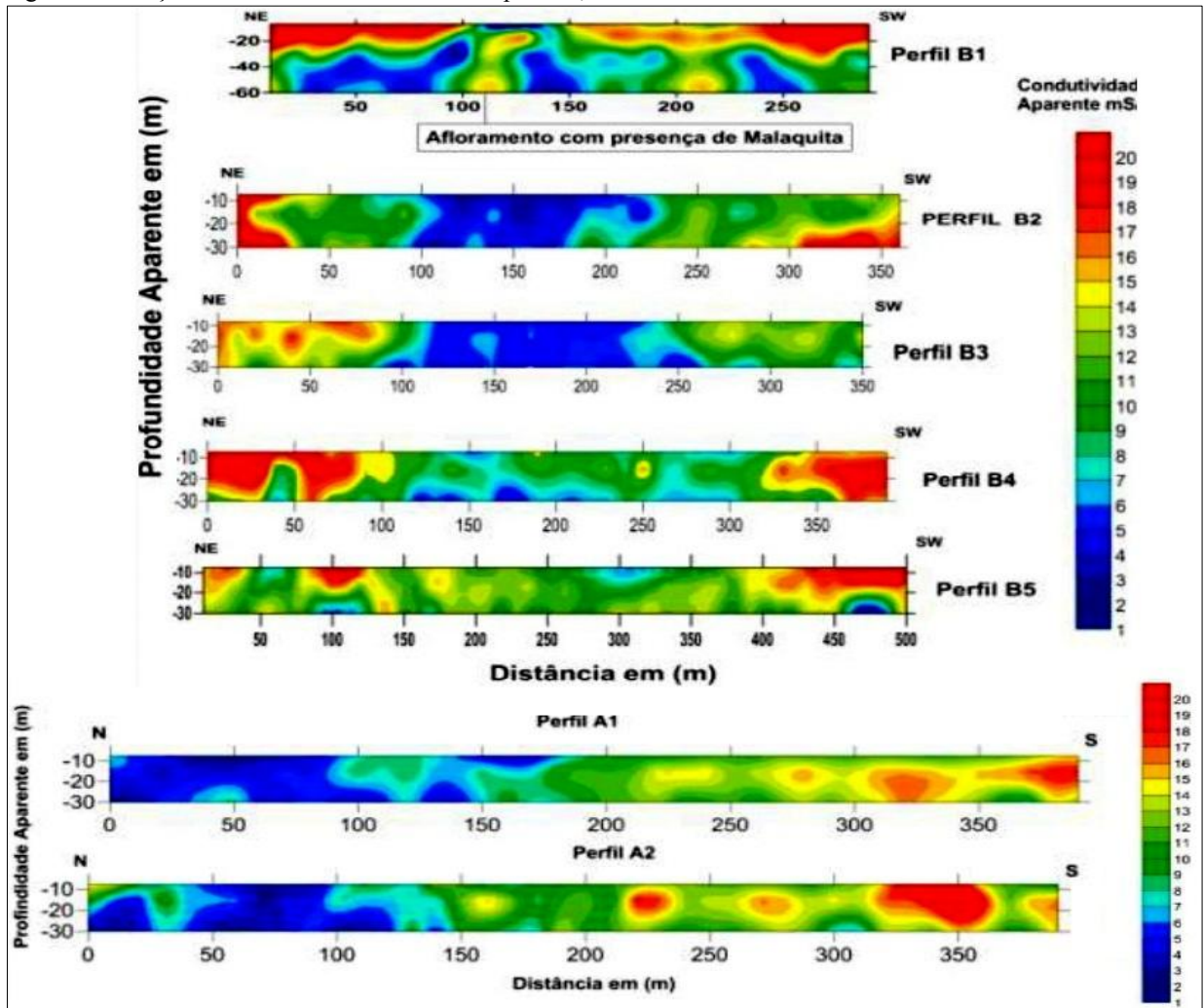
Figura 18 - Diagrama de rosetas.



Fonte: Bitencourt 2011.

As seções de condutividade aparente resultantes permitiram a Bitencourt (2011) definir a presença de áreas condutivas correspondentes a fraturas NW preenchidas com carbonatos de cobre (Figura 19).

Figura 19 – Seções NE e NS de condutividade aparente,



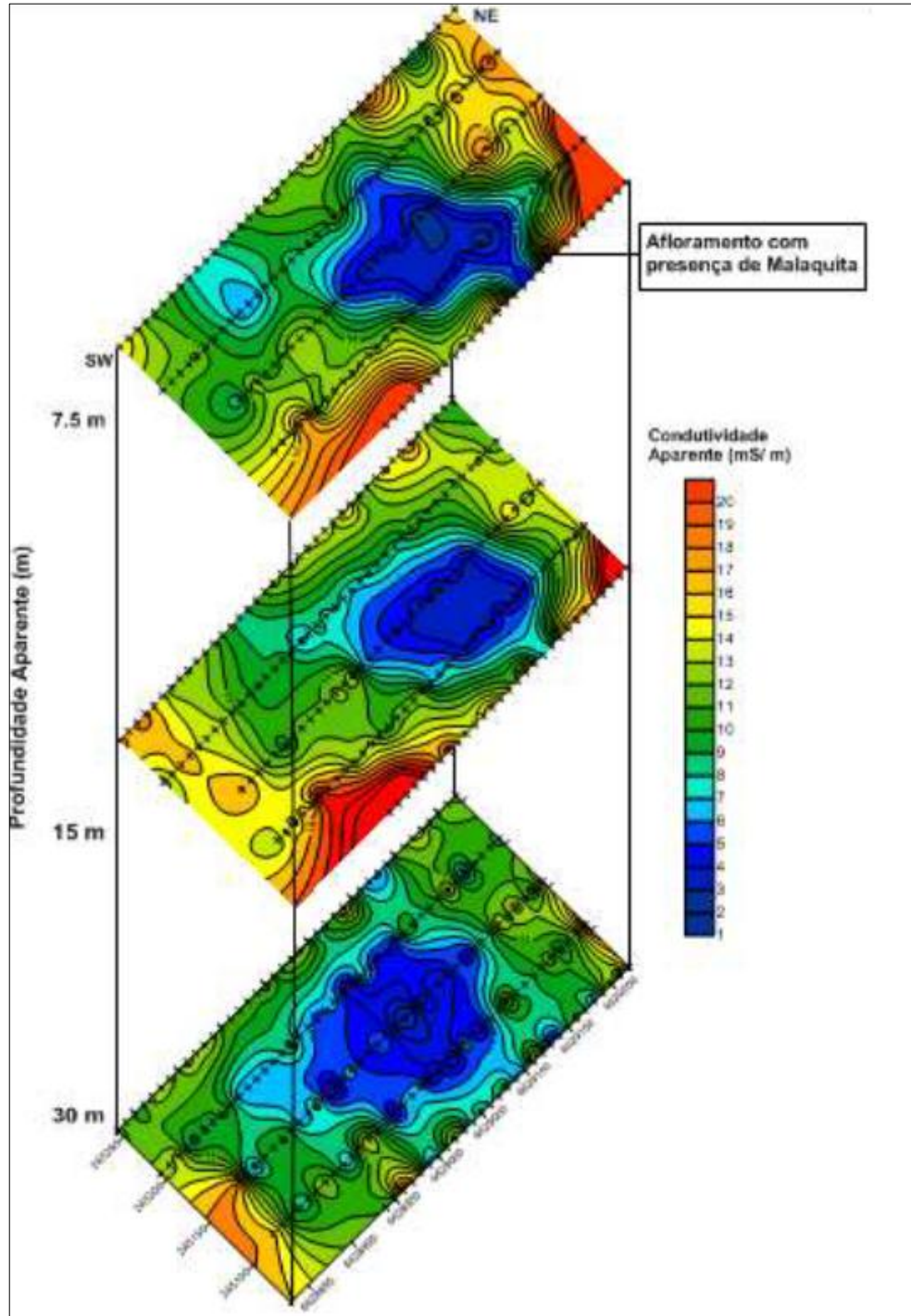
Fonte: Bitencourt (2011).

Bitencourt ainda definiu que essas fraturas estão diretamente associadas com áreas condutivas horizontais próximas, indicando que a mineralização migrou das fraturas, característica do minério disseminado em questão (Figura 19).

Outra característica marcante nas seções é uma grande área resistiva (baixos valores de condutividade aparente), definida como a resposta do bloco de quartzo na qual está localizado o afloramento mineralizado (Figura 19).

As áreas condutivas e resistivas podem ser melhor visualizadas em diferentes profundidades de investigação de acordo com mapas de superfície (Figura 20).

Figura 20 – Mapa de superfície de condutividade aparente.



Fonte: Bitencourt (2011).

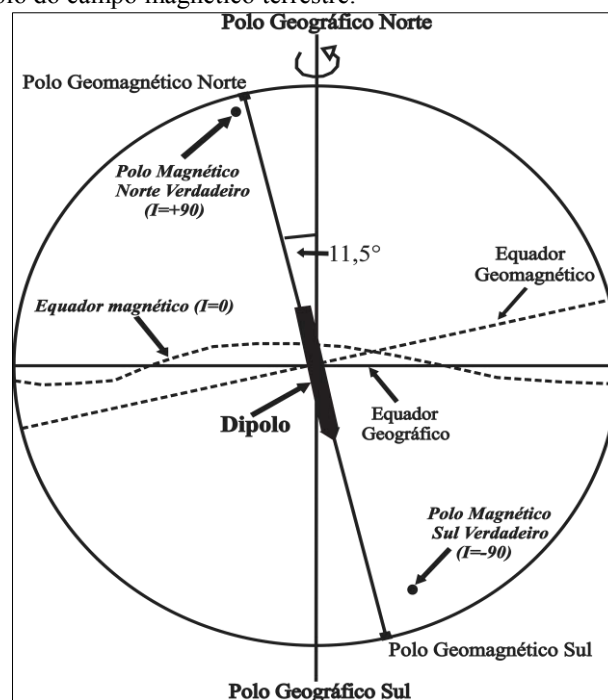
4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA MAGNETOMETRIA

O uso de medidas magnéticas na prospecção baseia-se em que concentrações de minerais magnéticos nas rochas da crosta produzem distorções locais (anomalias) nos elementos do campo magnético terrestre. Essas anomalias, quando observadas, podem fornecer informações sobre o modo e distribuição dos minerais magnéticos em subsuperfície (KEAREY, 2002).

4.1 O campo magnético terrestre

O campo magnético terrestre (CMT) pode ser representado de forma muito semelhante a um campo produzido por um momento de dipolo localizado no seu centro. Esse momento aponta para o sul geográfico e se localiza sobre um eixo que forma um ângulo de aproximadamente $11,5^\circ$ com o eixo de rotação da Terra (Figura 21).

Figura 21 - Modelo de dipolo do campo magnético terrestre.



Fonte: Luiz & Silva (1995).

O eixo de dipolo terrestre define os polos geomagnéticos, que não devem ser confundidos com os verdadeiros polos magnéticos, definidos nas posições onde uma agulha magnetizada inclina-se com ângulo de 90° em relação à superfície da Terra. O equador geomagnético e o equador geográfico não coincidem e nem são paralelos, mas o equador geomagnético também divide a Terra em dois hemisférios, denominados de norte e sul, em analogia aos hemisférios geográficos (LUIZ & SILVA, 1995).

X_e corresponde a componente direcional norte-sul, coincidente com o eixo X do meridiano geográfico. Y_e é a componente direcional leste-oeste, equivalente ao eixo Y do paralelo geográfico. Z_e é a componente vertical.

Ao longo do eixo do meridiano magnético é reconhecida a componente horizontal H_e , derivada da relação entre as componentes X_e e Y_e . Entre os meridianos geográficos e magnéticos é extraída a componente angular D . Entre o meridiano magnético e o plano que é tangente a Terra no ponto de observação corresponde, é retirado o ângulo I (LUIZ & SILVA, 1995).

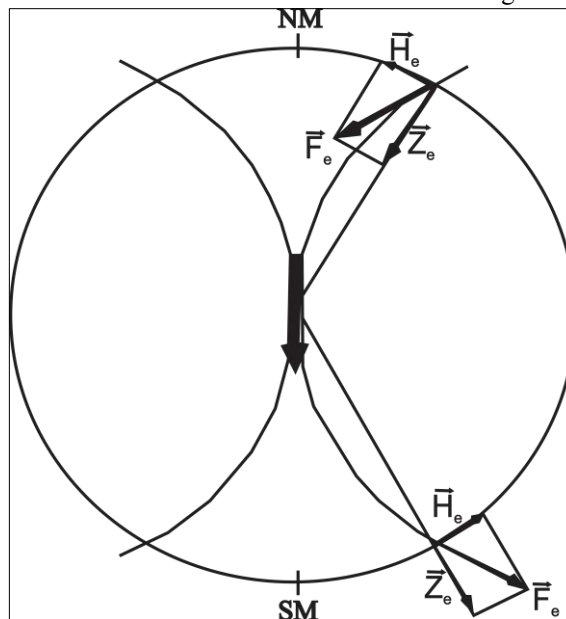
Segundo Lanza (2006), todas essas relações são matematicamente descritas da seguinte maneira:

$$F_e = \sqrt{X_e^2 + Y_e^2 + H_e^2}; \quad D = \tan(X_e/Y_e); \quad I = \tan(H_e/Z_e);$$

$$X_e = H_e \cos D; \quad Y_e = H_e \sin D; \quad Z_e = F_e \sin I; \quad H_e = \sqrt{X_e^2 + Y_e^2}$$

X_e é sempre positivo para norte, Y_e para leste e a componente Z_e é positiva quando aponta para o interior da Terra, predominante na maior porção do hemisfério norte. Do contrário, o vetor é negativo, pois aponta para fora da Terra (Figura 23).

Figura 23 - Comportamento dos elementos vetoriais do CMT. NM-norte magnético; SM-sul magnético



Fonte: Luiz & Silva (1995).

Dessa forma, onde Z_e está entrando no polo norte, os valores de inclinação variam de 0 a 90°. Todavia, no hemisfério sul, de 0 a -90° (LUIZ & SILVA, 1995).

Em ambos os polos são encontrados os valores mais elevados de F_e , variando entre 60.000 nT e 70.000 nT. Por outro lado, os valores mais baixos são encontrados próximos à região do sul do Brasil, na ordem de 22.000 nT (caso da área de estudo) (TELFORD et al., 1976; LUIZ & SILVA, 1995).

De acordo com Telford et al. (1976), o mecanismo fundamental que dá origem ao CMP compreende as correntes de convecção do núcleo externo líquido condutor (2800 km a 5000 km de profundidade). Esse mecanismo está intimamente associado ao movimento rotacional da Terra (LANZA, 2006).

Mudanças no movimento convectivo do núcleo implicam variações lentas nos elementos de campo e mudanças de 180° no sentido do momento de dipolo (inversões de polaridade). As variações lentas são conhecidas como **seculares** e devem ser corrigidas das medidas realizadas em trabalhos de magnetometria. (LANZA, 2006; TELFORD et al., 1976).

E é por isso que, de acordo com Telford et al. (1976), **a variação secular** é bem estudada e conhecida a partir de um modelo teórico denominado de IGRF (*International Georeference Magnetic Field*).

O primeiro IGRF foi adotado em 1968 (IGRF-1965) pela *International Association of Geomagnetism e Aeronomy* (IAGA). Desde então, já foram feitas várias revisões que permitem gerar os valores dos elementos magnéticos do campo entre 1965 e 2010, pois cada IGRF gerado prevê uma variação secular do campo que extrapola os cinco anos seguintes (LUIZ & SILVA, 1995).

O IGRF é, portanto, um modelo matemático do CMP com sua variação temporal, que consiste de harmônicos esféricos baseados em dados magnéticos observados no mundo inteiro, que correspondem a comprimentos de onda de baixa frequência, provenientes do núcleo terrestre (LUIZ & SILVA, 1995).

4.1.1.2 O campo magnético externo

O campo magnético proveniente do Sol domina o espaço interplanetário do sistema solar. Esse campo é caracterizado pelo fluxo contínuo de um plasma constituído por prótons, elétrons e núcleos de Hélio, que integram o chamado vento solar (LANZA, 2006).

O vento solar atinge a Terra com uma velocidade de aproximadamente 1.500.000 km/h, sendo que sua interação com o CMP pode ser observado na Figura 24.

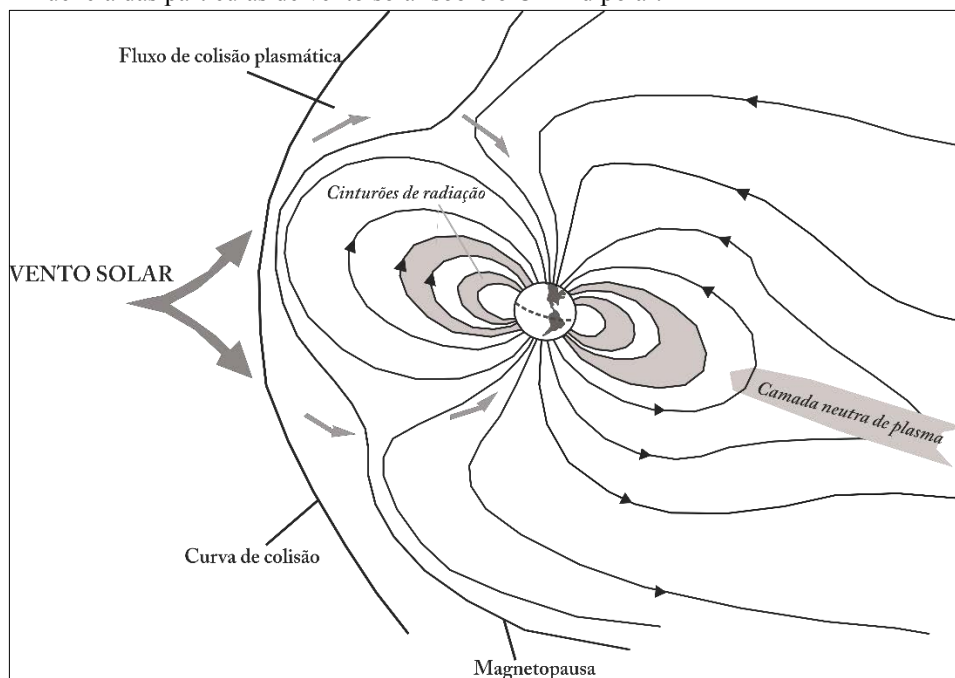
De acordo com Lanza (2006), no lado em que o sol está iluminado a Terra, as linhas de força do CMP estão sendo comprimidas pelo vento solar, definindo uma cavidade na qual a penetração do vento solar é muito reduzida e onde o CMP fica confinado (Magnetosfera).

Em contrapartida, no lado não iluminado, a fronteira da magnetosfera, denominada magnetopausa, apresenta uma forma alongada, geometricamente semelhante a cauda de um cometa. Ainda nessa porção, o estiramento das linhas de campo gera uma camada com partículas neutras de vento solar (LANZA, 2006).

Entre a magnetopausa e o vento solar encontra-se a região das ondas de colisão. Próximo da Terra, o movimento espiral dos prótons e elétrons em torno das linhas de força do CMP forma os cinturões de radiação conhecidos como Van Allen.

As partículas que ultrapassam a curva de colisão tendem a penetrar a atmosfera terrestre principalmente nas regiões próximas aos polos, ionizando a porção da atmosfera compreendida entre 50 e 600 km (Ionosfera), podendo ocorrer à geração de correntes elétricas responsáveis por campos magnéticos que podem alcançar 80 nT (LANZA, 2006).

Figura 24 - Influência das partículas de vento solar sobre o CMT dipolar.



Fonte: Lanza (2006).

De acordo com o posicionamento da Terra (período da rotação) em relação ao sol, diferentes serão as contribuições das partículas de vento solar com a ionosfera em um mesmo referencial em superfície, sendo mais acentuado próximo às 12h, período de maior incidência, pois a Terra está de frente para as partículas de vento solar (LANZA, 2006).

Esse efeito temporal do campo magnético externo é conhecido como **variação diurna**, que deve ser monitorada ao longo do dia para também ser corrigida dos dados magnetométricos (LANZA, 2006; TELFORD *et al.*, 1976).

Quando ocorrem intensas emissões de vento solar, causadas por erupções solares, temos uma perturbação conhecida como **tempestade magnética**. A intensidade dessas tempestades varia de poucos nanoTeslas a valores superiores a 1000 nT (podendo chegar a valores ainda maiores nos polos, por ocasião do fenômeno das auroras). Desta forma, em dias de tempestades magnéticas não devem ser realizados levantamentos magnetométricos (LUIZ & SILVA, 1995; TELFORD *et al.*, 1976).

4.1.1.3 Campo Crustal

É o campo magnético anômalo de interesse para os trabalhos de prospecção magnetométrica. Compreende a porção correspondente aos contrastes de magnetização entre rochas com diferentes características magnéticas. E é por isso que se torna importante conhecer um pouco das propriedades magnéticas dos minerais e das rochas (TELFORD et al., 1976).

4.1.1.3.1 Propriedades magnéticas dos minerais e das rochas

O magnetismo presente nos materiais é resultante do movimento dos elétrons dentro de suas órbitas e ao redor do núcleo. O movimento realizado pelos elétrons em torno de seu eixo de rotação apresenta uma orientação espacial (spin) característica, que pode ou não se alinhar no mesmo sentido que um campo magnético externo aplicado H , gerando ou não um campo magnético induzido M_i :

$$M_i = k \cdot H \quad (\text{Equação 1})$$

onde k é a susceptibilidade magnética, que é uma grandeza adimensional, e representa a capacidade de um material em adquirir magnetização (CARMICHAEL, 1982).

De acordo com sua capacidade de magnetização, os materiais podem ser classificados em diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos.

Os materiais diamagnéticos são caracterizados por valores de susceptibilidade magnética baixa e negativa, em virtude da magnetização nula, resultante da orientação contrária dos spins na presença de H (TELFORD et al. 1976).

Os minerais diamagnéticos compreendem principalmente os silicatos (Tabela 1).

Tabela 1 - Suscetibilidade dos minerais diamagnéticos

Minerais	$k (x10^{-6})$
Ortoclásio	-12.5
Zircão	-10.0
Quartzo	-12.4
Anidrita	-59.3
Galena	-33.4
Esfarelita	-13.5
Aragonita	-15.2
Calcita	-13.0
Dolomita	-38.0
Halita	-10.4
Apatita	-10.6
Diamante	-21.7
Fluorita	-24.0

Fonte: Schön, 2004.

Nos materiais paramagnéticos, os spins se orientam no mesmo sentido que H , porém fazem isso de forma desorientada, o que resulta numa magnetização fraca (DUNLOP & OSDEMIR, 1997).

Essas características dos spins fazem com que os minerais paramagnéticos apresentem valores de suscetibilidade baixos e positivos. Esses valores compreendem principalmente os constituintes máficos das rochas (Tabela 2).

Tabela 2 - Suscetibilidade dos minerais paramagnéticos.

Minerais	k (x10⁻⁶)
Olivina	990
Anfibólio	1570
Piroxênio	1500
Granada	2600
Biotita	1500
Muscovita	226
Clorita	356
Turmalina	560
Dolomita	1080

Fonte: Schön, 2004.

Os materiais ferromagnéticos são caracterizados por apresentarem magnetização mesmo na ausência de H . Quando esses materiais estão na presença de H , os spins tendem a orientar-se na mesma direção e de uma forma muito próxima, implicando os maiores valores de suscetibilidade magnética (LOWRIE, 2007).

Segundo Dunlop & Osdemir (1997), os minerais ferromagnéticos compreendem principalmente os óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e titânio (Ti), como a **magnetita (Fe_3O_4)**; **pirrotita (FeS)**; **ustita (FeO)**; **maghemita $\gamma - (Fe_2O_3)$** , **hematita $\alpha - (Fe_2O_3)$** , **ilmenita ($FeTiO_2$)**, **ulvospinéliu (Fe_2TiO_4)** e a **pseudobroquita Fe_2TiO_5** .

Devido a sua abundância, a **magnetita**, a **pirrotita** e a **ilmenita** são os minerais magnéticos que mais contribuem para a magnetização nas rochas. No entanto, estes minerais normalmente aparecem apenas como acessórios, estando em menos de 1% no volume total das rochas (LOWRIE, 2007).

Em decorrência do pequeno e variável conteúdo de minerais ferromagnéticos nas rochas, normalmente as suscetibilidades magnéticas dos principais grupos de rochas são representadas como médias aproximadas (Tabela 3).

Na Tabela 3 pode-se observar que os valores de suscetibilidade magnética tendem a aumentar das rochas ácidas para as básicas e com o incremento da argila.

Além do conteúdo mineral, há fatores externos que também alteram os valores de suscetibilidade das rochas, podendo até mesmo fazer com que um material perca completamente as suas características magnéticas quando acima de uma temperatura crítica conhecida como temperatura de Curie, que varia para cada tipo de mineral (SCHÖN, 2004).

Tabela 3 - Suscetibilidade magnética de algumas rochas. Realçado em amarelo estão as rochas encaixantes da área de estudo.

Rochas Ígneas	Suscetibilidade Magnética (SI nT)
Granitos	0 a 50×10^3
Riolito	0.2 a 35×10^3
Pórfiro	0.3 a 200×10^3
Basaltos	0.2 a 175×10^3
Peridotito	90 a 200×10^3
Rochas Metamórficas	
Xisto	0.3 a 3×10^3
Gnaisse	0.1 a 25×10^3
Quartzito	0 a 4×10^3
Ardósia	0 a 35×10^3
Rochas Sedimentares	
Dolomita	0 a 0.9×10^3
Calcário	0 a 3×10^3
Arenitos	0 a 20×10^3
Folhelhos	0.01 a 15×10^3

Fonte: Robinson & Çoruh (1988).

Um outro tipo de magnetização que pode ser observada é aquela adquirida no momento da formação de uma rocha, conhecida como remanente M_r . De acordo com Telford et al. (1976), os três principais tipos de magnetização remanente e suas discussões são:

Magnetização remanente térmica – é aquela desenvolvida a partir do resfriamento abaixo da temperatura Curie na presença de um campo externo (CMT). Seu sentido depende do sentido do campo da época e do local onde a rocha resfriou. Este é o mecanismo mais importante no processo da formação de rochas ígneas e extremamente aplicada em estudos de paleomagnetismo.

Magnetização remanente detrítica – originada durante o processo de deposição lenta de partículas sedimentares de grãos finos e minerais magnéticos na presença de um campo externo, onde os minerais magnéticos são reorientados mecanicamente de modo que seu momento magnético fique paralelo ao campo terrestre, e esta direção é conservada nos sedimentos. Deste modo, este efeito é relacionado à origem das rochas sedimentares.

Magnetização remanente química – é adquirida quando os minerais ferromagnéticos aumentam o seu tamanho ou se transformam em outros, principalmente nos processos de alterações químicas em temperaturas relativamente baixas (abaixo da temperatura Curie). Referente, portanto, à origem das rochas metamórficas.

4.2 Instrumentação magnetométrica

As primeiras medidas magnéticas aplicadas em trabalhos de prospecção mineral consistiam de observações nas mudanças de declinação magnética de bússolas náuticas. Somente no início dos anos de 1900 que uma variedade de instrumentos para levantamentos de dados conhecidos como magnetômetros foram projetados para medir a intensidade magnética (F_e) e os elementos horizontal (H_e) e vertical (Z_e) do campo magnético terrestre (LUIZ & SILVA, 199f).

De acordo com Kearey (2002), os primeiros magnetômetros consistiam essencialmente de um dispositivo formado por uma barra magnética suspensa, que exigia um nivelamento preciso e uma plataforma estável para as medições, de forma que as leituras eram muito demoradas e limitadas a locais em terra.

Apenas na década de 1940 que uma nova geração de magnetômetros foi desenvolvida para fornecer leituras virtualmente instantâneas e podendo ser aplicadas tanto em levantamentos aéreos quanto marinhos.

Os magnetômetros podem ser classificados em dois grupos:

Escalares – por efetuarem apenas medidas de (F_e). Entre esses estão os de indução, bombeamento ótico e de precessão de prótons (utilizado neste trabalho).

Vetoriais – por informarem também as componentes direcionais (H_e) e (Z_e). Aqui é possível citar o *Flux Gate*, o de efeito *Hall* e o *Squids*.

Os equipamentos mais antigos apenas exibem os valores medidos no display (caso do instrumento utilizado nesse trabalho), devido não possuírem memória interna. Os equipamentos mais modernos podem até mesmo gravar outras informações, como as coordenadas, hora, data e os dados topográficos das medidas.

Antes de qualquer etapa de aquisição, os equipamentos devem ser ajustados em função de um valor conhecido de campo magnético para a área de estudo. Telford et al. (1976) ainda menciona outra técnica de ajuste, baseada no campo magnético gerado pelo fluxo de corrente de uma bobina de Helmholtz, que é conectada em série as bobinas do equipamento a ser utilizado. O campo gerado é dado por:

$$H \approx 9.0NI/\alpha \quad (\text{Equação 2})$$

onde I é em microamperes, H em nanoTesla e α em metros, sendo que H varia diretamente com a corrente.

4.2.1 Magnetômetro de precessão de prótons

Atualmente é o magnetômetro mais utilizado tanto nos trabalhos de levantamento de dados para prospecção, quanto em trabalhos laboratoriais para monitoramento do campo magnético terrestre -CMT (KEAREY, 2002).

Segundo Telford et al. (1976), o magnetômetro de precessão de prótons foi desenvolvido de acordo com a descoberta da ressonância magnética nuclear, quando as propriedades quânticas dos átomos começaram a ser empregadas na medição da intensidade total do CMT.

O princípio de funcionamento do equipamento consiste na capacidade que os núcleos dos átomos de hidrogênio têm de mudar seu eixo de rotação quando um campo externo é aplicado numa direção aproximadamente perpendicular ao CMT (TELFORD et al., 1976).

De acordo com Lowrie (2007), as componentes essenciais desse magnetômetro incluem um sensor, uma bobina de polarização acoplada ao sensor e um dispositivo de medição de tensão transiente (Figura 25).

O sensor é constituído por um pequeno frasco preenchido com líquido hidrogenado, como o álcool e a querosene, mas também pode ser água, pois o momento magnético do oxigênio é zero (Figura 25a).

A bobina de polarização induz uma corrente elétrica contínua, gerando um campo magnético no interior do frasco cerca de 200 vezes maior que o CMT, pelo qual força os prótons a alinhar seu movimento rotacional (spin) na mesma direção desse campo (Figura 25b).

Quando a corrente é interrompida, o campo magnético artificial externo é removido, e os spins, por sua vez, tendem a retornar ao seu movimento rotacional natural, e nessa passagem, eles precessam sobre a direção do vetor CMT (Figura 25c) com uma frequência específica, conhecida como frequência de Lamor:

$$f = (\gamma / 2\pi)B \quad (\text{Equação 3})$$

onde γ é a razão giromagnética dos prótons.

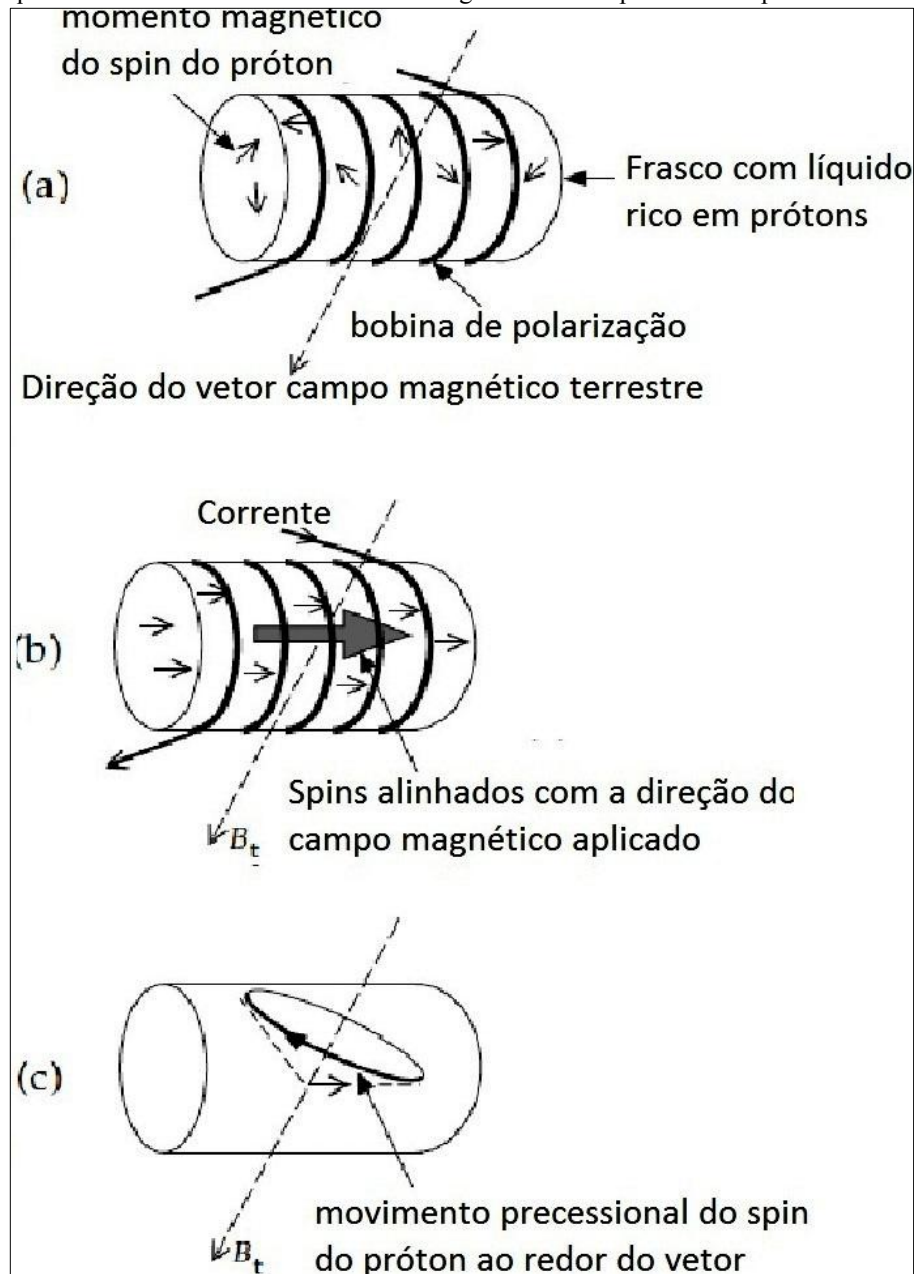
O dispositivo de tensão transiente, então, registra a frequência de precessão em um intervalo de aproximadamente 3 s após o corte abrupto de corrente (LOWRIE, 2007).

De acordo com Kearey (2002), as medidas de f são sempre muito próximas a 2 kHz, e conseqüentemente fornecem uma medida muito precisa da intensidade do CMT, podendo ser alcançadas resoluções de até 0.01 nT.

Em decorrência dessa elevada sensibilidade de medidas do equipamento, é recomendado evitar a realização de medidas próximas a objetos que contenham quantidades consideráveis de ferro, tais como trilhos de trem, cercas de arames, veículos, etc. O operador também deve evitar o uso de cintos, bússolas, facas, anéis, etc (TELFORD et al., 1976).

Tais artefatos, quando próximos aos locais de medidas, são responsáveis pelos chamados ruídos antrópicos.

Figura 25 - Esquema de funcionamento do sensor do magnetômetro de precessão de prótons.



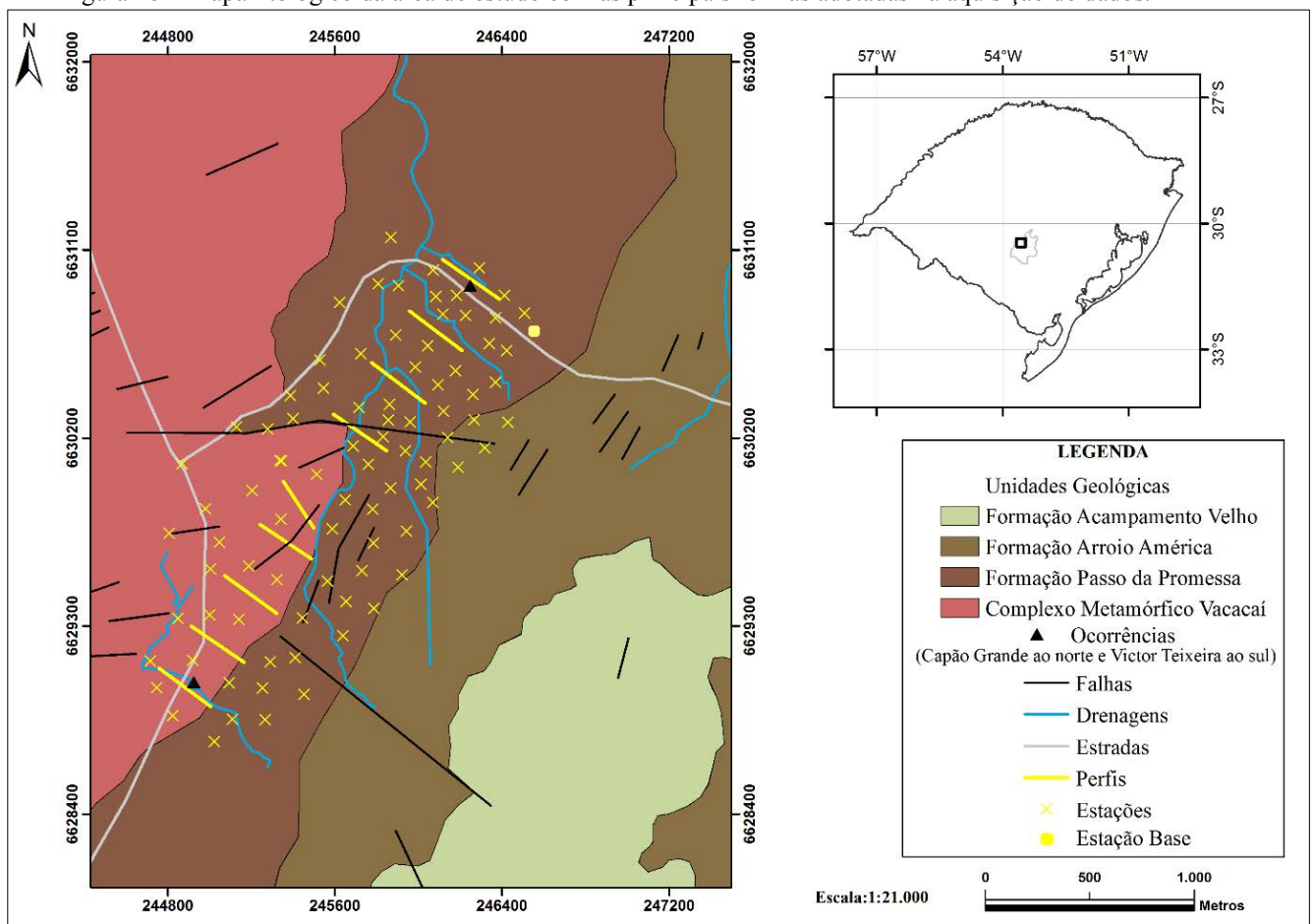
Fonte: Lowrie (2007).

5 LEVANTAMENTO DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS

5.1 Metodologia de aquisição

Foram aplicadas duas formas distintas de aquisição de dados de magnetometria terrestre no intervalo entre as ocorrências mineralizadas em cobre Capão Grande e Victor Teixeira: a primeira em perfis, com leituras de medidas ao longo de linhas de investigação; e a segunda sob a forma de malha, com aquisições de medidas em estações dispostas entre e no entorno dos perfis (Figura 26).

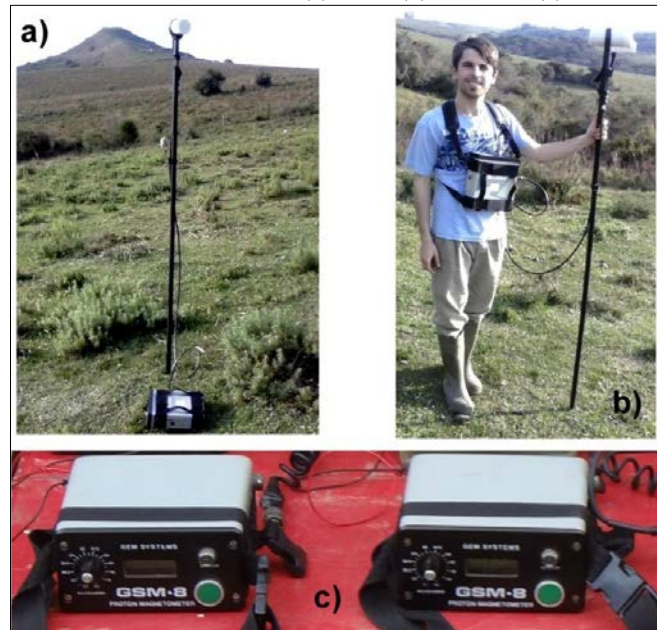
Figura 26 – Mapa litológico da área de estudo com as principais formas adotadas na aquisição de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As medidas foram adquiridas pelo emprego de dois magnetômetros de precessão de prótons da GEM SYSTEMS, modelo GSM-8, disponíveis no Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade Estadual Paulista, câmpus de Rio Claro. Um deles foi utilizado como base para registro da variação magnética diurna e outro como móvel coletando as medidas nas estações de interesse (Figura 27).

Figura 27 – Magnetômetros utilizados nesse estudo: (a) base; (b) móvel; e (c) detalhe dos módulos de aquisição.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as medidas realizadas neste trabalho, ambos os equipamentos foram ajustados antes das aquisições para atuarem numa faixa de 22500 nT, mediante um valor de referência obtido para o centro da área de estudo no site do Observatório Nacional, respectivamente 22581 nT.

5.1.1 Aquisição de dados magnetométricos: magnetômetro base

A estação base foi posicionada em um local de fácil acesso e distante de objetos metálicos que pudessem causar ruídos antrópicos aos dados. O local exato da estação base pode ser visualizado na Figura 26, sendo suas coordenadas em UTM:

Latitude (Y): 6630725

Longitude (X): 246554

Para coleta de dados do magnetômetro base foi adotado um intervalo de tempo de 60 segundos entre medidas durante o período dos levantamentos. Isso para posterior correção das medidas do campo magnético terrestre efetuado pelo magnetômetro móvel.

5.1.2 Aquisição de dados magnetométricos: magnetômetro móvel

Nesse estudo foram adquiridas 359 medidas de intensidade total do campo magnético terrestre (Apêndice 1). 274 medidas são referentes ao levantamento na forma de perfis e 85 ao levantamento de dados dispostos em malha irregular.

A data da realização das aquisições em perfis foi em 16 de Julho de 2013. Já as aquisições em malha foram realizadas nos dias 09 e 16 de maio de 2014.

5.1.3 Georreferenciamento das estações magnetométricas

Os valores das coordenadas horizontais (x e y) e de altitude (z) das estações adquiridas pelo magnetômetro móvel foram coletados por um GPS diferencial da Trimble, modelo Pathfinder ProXRT (Figura 28).

O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM, zona 22 sul do meridiano de Greenwich. O elipsóide de referência empregado foi o WGS 84. O posicionamento das estações nos perfis foi a cada 10 m. No levantamento em malha foi aleatório, com espaçamento médio de 170 m.

O conceito de GPS diferencial utiliza uma correção após a coleta das coordenadas das estações de medidas. Essa correção envolve a utilização de valores de outro receptor estacionário, que está numa estação com coordenadas conhecidas (Monico 2000).

Para o procedimento de correção diferencial utilizada nesse trabalho, foi escolhida a estação de referência do município de Santa Maria - RS, por ser a mais próxima da área de levantamento. Essa estação faz parte de uma rede nacional de estações ativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008).

Figura 28 – Sistema antena/receptor DGPS Pathfinder ProXRT.



Fonte: <http://www.santiagoecintra.com.br/Produtos.aspx?idProduto=fa9cec94-2a40-4d18-b7a6-9cdabaa0730f>.

6 PROCESSAMENTO DE DADOS E ELABORAÇÃO DE MAPAS

Os dados magnetométricos logo após coletados normalmente passam por um processo de tratamento que incluem correções para eliminar as variações devidas a causas não geológicas e filtragens para eliminar os efeitos geológicos indesejáveis, como os produzidos por heterogeneidades próximas da superfície ou a interferência entre fontes rasas e profundas, permitindo um melhor reconhecimento das anomalias (LUIZ & SILVA, 1995).

6.1 Correção Diurna

Para a realização da correção diurna foram subtraídas as medidas efetuadas pelo magnetômetro móvel do magnetômetro base, com referências no horário das aquisições, e depois somadas ao *DATUM* magnético da área.

O cálculo para a correção segue a seguinte forma:

$$\mathbf{MAG}_{DIUR} = \mathbf{MAG_MÓVEL} - \mathbf{MAG_BASE} + \mathbf{DATUM} \quad (\text{Equação 4})$$

MAG_{DIUR} – Corresponderá ao valor do campo magnético da área de estudo corrigido da variação diurna.

MAG_MÓVEL – Valores de campo magnético obtidos pelo magnetômetro móvel.

MAG_BASE – Valores de campo magnético adquiridos pelo magnetômetro base.

DATUM – É o valor médio dos valores de campo magnético do magnetômetro base (22567.80 nT).

6.2 Correção do IGRF

A correção foi inicialmente realizada por meio da ferramenta IGRF disponível no menu da plataforma operacional do *software Oasis Montaj*. A ferramenta IGRF permite ao usuário gerar um canal com os valores de campo magnético total correspondentes apenas ao campo anômalo regional de referência para área de estudo.

A janela de comandos com os respectivos parâmetros utilizados para geração do canal IGRF pode ser observado na Figura 29.

Após a geração dos valores IGRF para cada estação de medida adquirida em campo pelo magnetômetro móvel, a correção pode ser realizada pela subtração dos canais com dados magnéticos corrigidos da Variação Diurna (**MAG_{DIUR}**) pelos valores do canal IGRF gerado (**MAGIGRF**), dado pela equação abaixo:

$$\mathbf{MAG}_{RES} = \mathbf{MAG}_{DIUR} - \mathbf{MAG}_{IGRF} \quad (\text{Equação 5})$$

MAG_{RES} – Valores de campo residual, corrigido das Variações Diurna e do IGRF.

MAG_{DIUR} - Valores de campo magnético da área de estudo corrigido da variação diurna.

MAGIGRF – Valores do campo magnético de referência regional calculado para a área de estudo.

Figura 29 - Janela de comandos da ferramenta IGRF do *Oasis Montaj*.

IGRF or DGRF:	IGRF
IGRF Model year (ignored for DGRF):	2010
Survey date: Single string YYYY/MM/DD or Channel name or Blank (to use line date):	DATA
Input channels: -- Longitude:	Longitude
-- Latitude:	Latitude
Elevation (Channel name OR single value):	ALTITUDE
Output channels: -- Total field:	IGRF
-- Inclination:	INC
-- Declination:	DEC

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 Mapas Magnetométricos

Os mapas magnetométricos foram definidos para representar o comportamento magnético da área de estudo, de acordo com a distribuição espacial e sob a forma de curvas de isovalores das medidas de intensidade inicialmente corrigidas da Variação Diurna e do IGRF e posteriormente filtradas no domínio de Fourier.

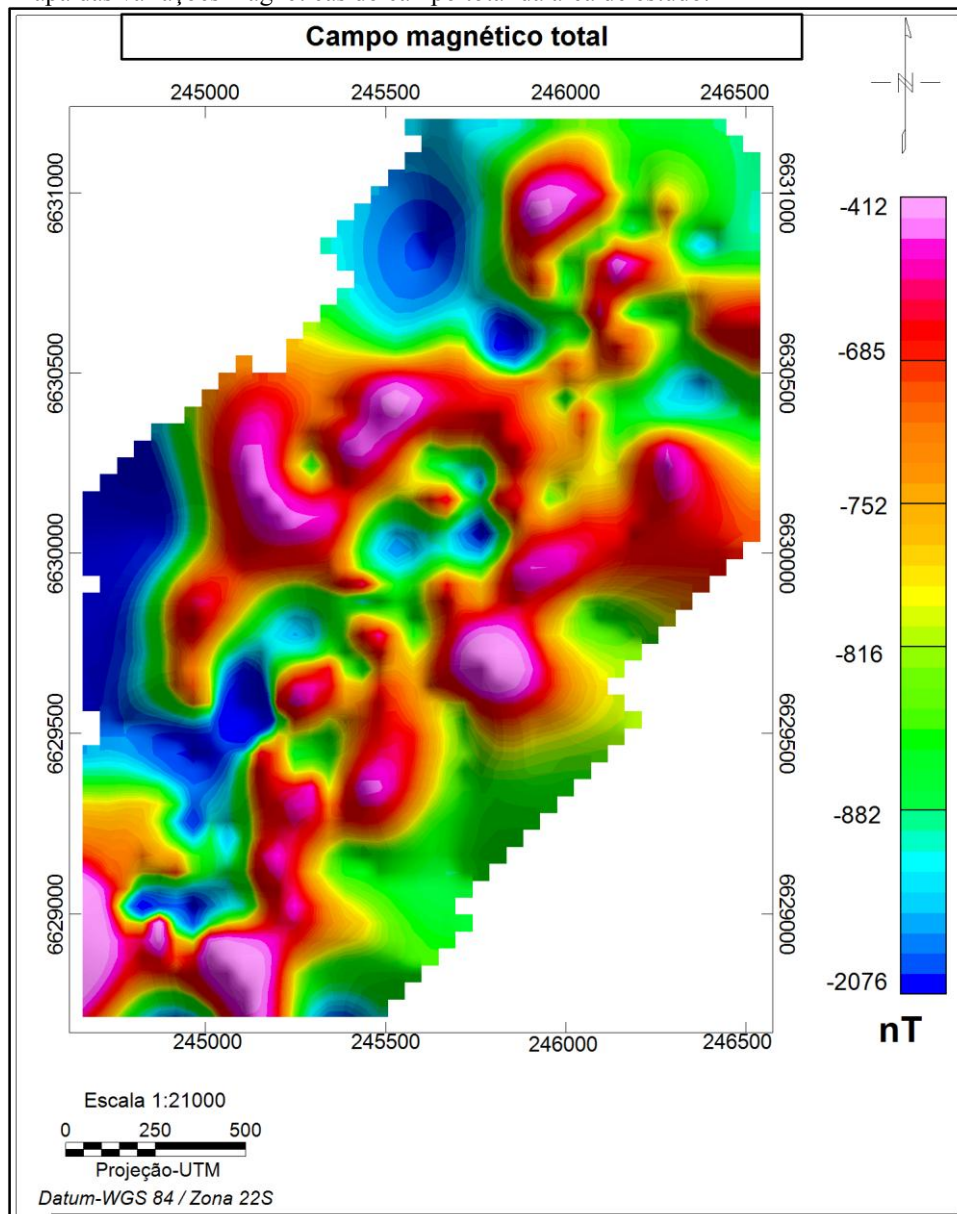
Para a distribuição espacial das medidas foi gerado um grid que melhor dispersa os dados segundo as coordenadas x e y. A dispersão é pré-determinada em função da equidistância entre perfis e/ou estações de medidas (normalmente utilizada 1/4 ou 1/5 do espaçamento). Em seguida, através da interpolação desses dados, as curvas de isovalores são geradas.

O espaçamento médio utilizado para os grids foi de 47 m (valor definido como 1/4 do espaçamento médio entre as estações dos perfis e da malha – 188 m), a técnica de interpolação adotada foi a de mínima curvatura de Briggs (1974) e o contorno sombreado foi definido com inclinação e declinação de 45°.

6.3.1 Mapa dos valores magnéticos do campo total

O mapa do campo magnético total apresenta a distribuição das anomalias magnéticas corrigidas da Variação Diurna e do IGRF (Figura 30).

Figura 30 - Mapa das variações magnéticas do campo total da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Filtragem e realce de anomalias

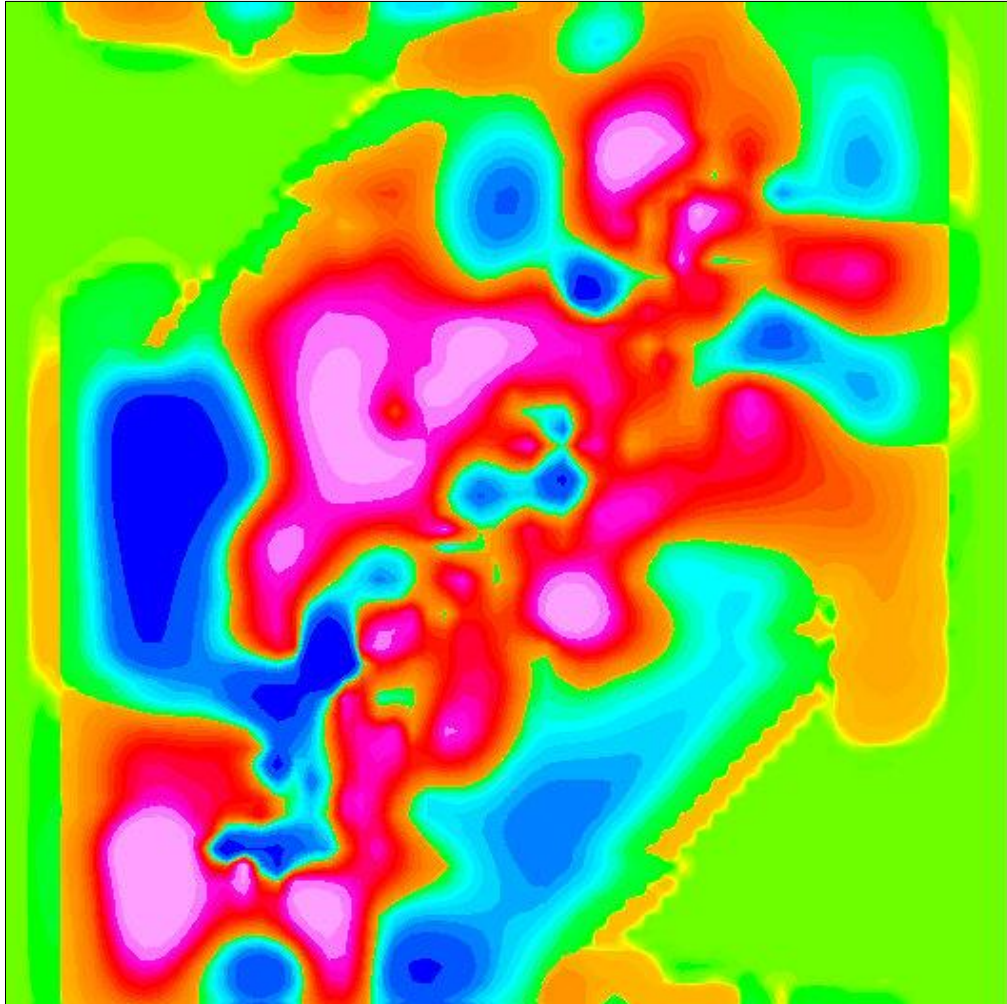
A análise dos dados no domínio da frequência possibilita a aplicação de diversos filtros e técnicas de realce aos dados do campo magnético total.

A análise dos dados no domínio da frequência é realizada através da aplicação da transformada rápida de Fourier (ESPECTOR & GRANT, 1970) aos dados originais no domínio do espaço.

Antes de submeter os dados originais do campo magnético total para o domínio da frequência, o *grid* precisa ser preparado para a transformação: inicialmente uma tendência de primeira ordem é removida e depois o *grid* é expandido para ser quadrado (Figura 31).

Toda a preparação, transformação e a posterior aplicação de filtros e técnicas de realce no domínio de Fourier dos dados foram realizadas na rotina *MagMap Filtering* disponível no *Oasis Montaj*.

Figura 31 – Grid preparado para a transformada de Fourier.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4.1 Filtragem

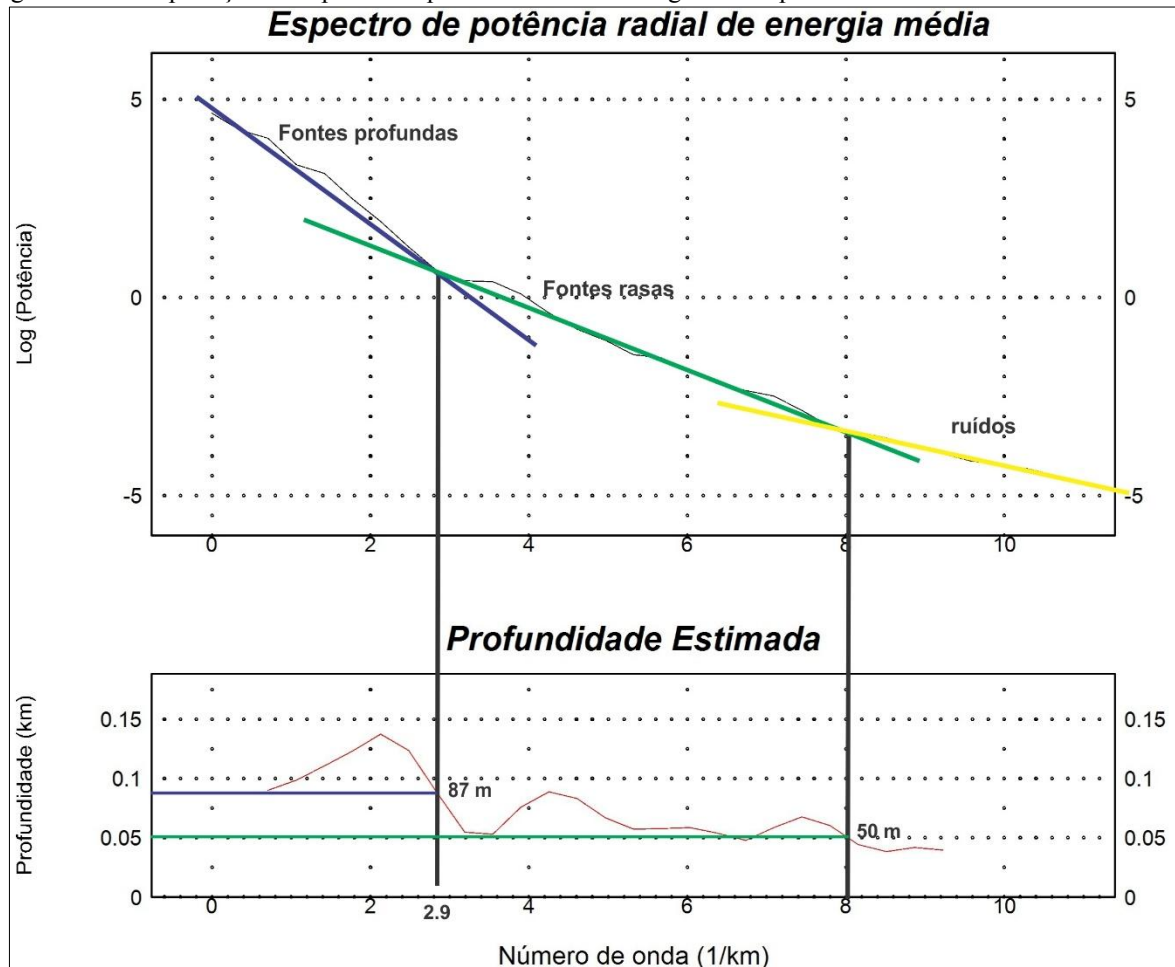
6.4.1.1 Filtro Passa banda

O filtro passa banda permite separar as anomalias magnéticas presentes em função das suas fontes em profundidade, pois esse filtro possibilita o recorte interativo dos comprimentos de onda diretamente no espectro de potência.

A definição das fontes em profundidade foi baseada na interpretação prévia do espectro de potencial radial de energia média, onde foram separados os diferentes comprimentos de onda de acordo com as quebras de inclinação do sinal, e estimadas as profundidades limites para cada tipo de fonte (Figura 32).

Desta forma, foram interpretados para a área de estudo comprimentos de onda relacionados a fontes profundas, fontes rasas e ruídos. As fontes profundas apresentaram comprimento de onda até 2.9 e profundidade limite de 87 m. As fontes rasas foram definidas entre os valores de 2.9 e 8 para profundidades até 50m.

Figura 32 – Interpretação do espectro de potência radial de energia média para a área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4.1.1.1 Passa banda – Valores profundos

Nessa filtragem foram cortadas somente as frequências que representam a energia média das fontes mais profundas. Os valores de corte (*cutoff*) adotados para os valores profundos podem ser observados na Figura 33. Definidos esses valores, foi gerado o mapa com os dados relacionados a fontes mais profundas (Figura 34).

6.4.1.1.2 Passa banda – Valores rasos

Nessa filtragem foi realizado o corte das frequências que representam a energia oriunda de fontes rasas. Os recorte espectral para esses comprimentos de onda e o mapa resultante podem ser observados nas Figuras 35 e 36.

Figura 33 – Espectro de potência usado na filtragem interativa e determinação dos valores de corte.

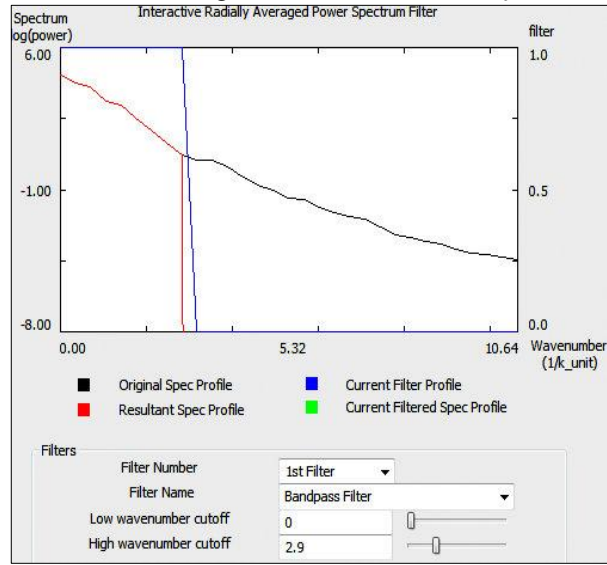


Figura 34 – Mapa com os valores do campo magnético total submetidos a uma filtragem passa banda.

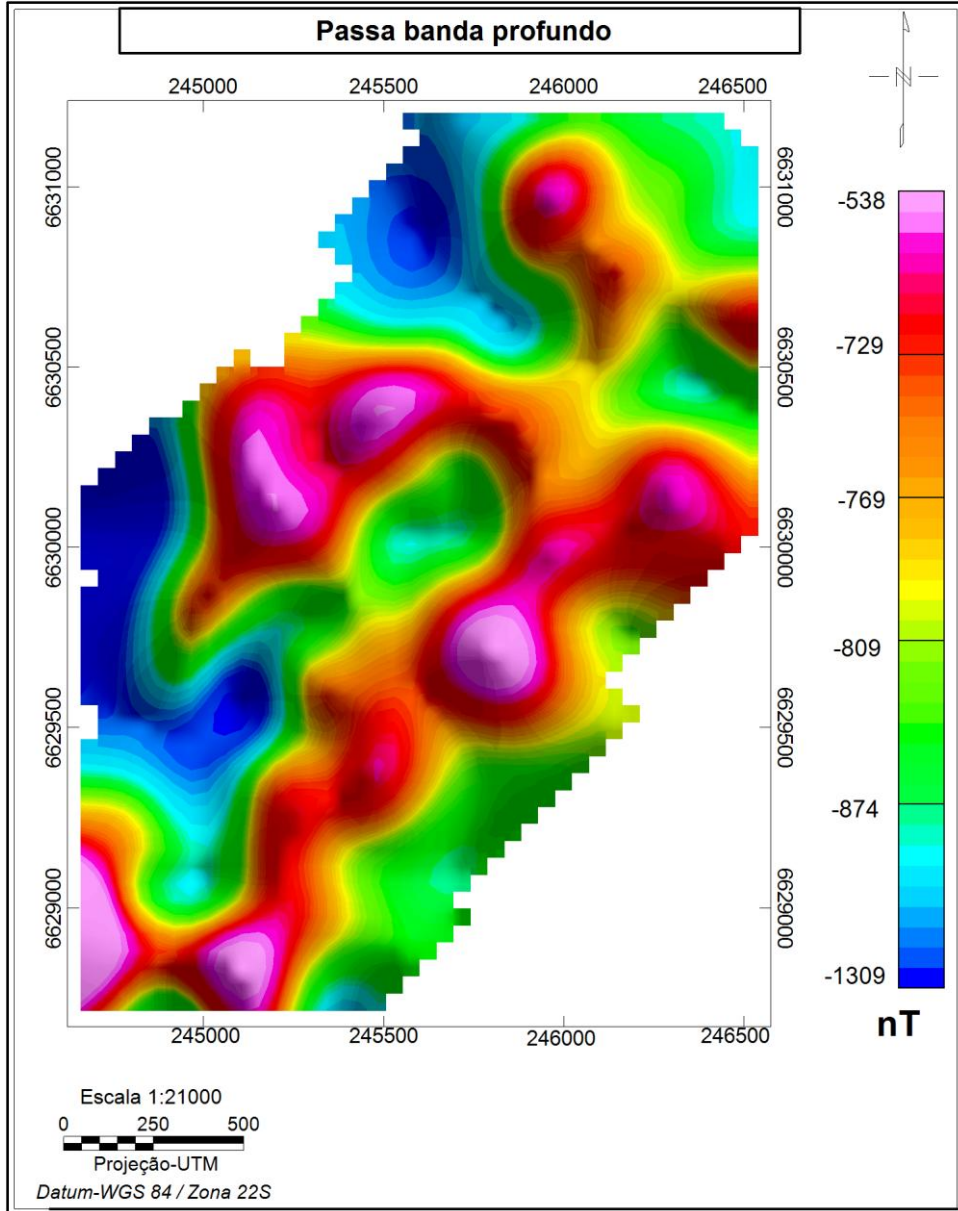


Figura 35 – Espectro de potência usado na filtragem interativa e determinação dos valores de corte.

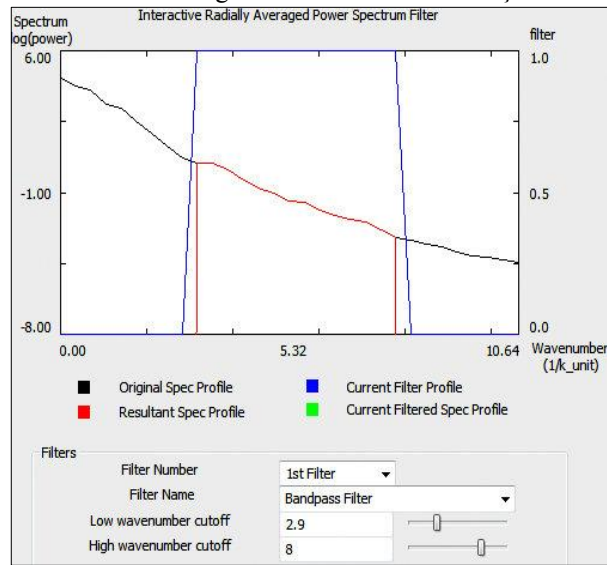
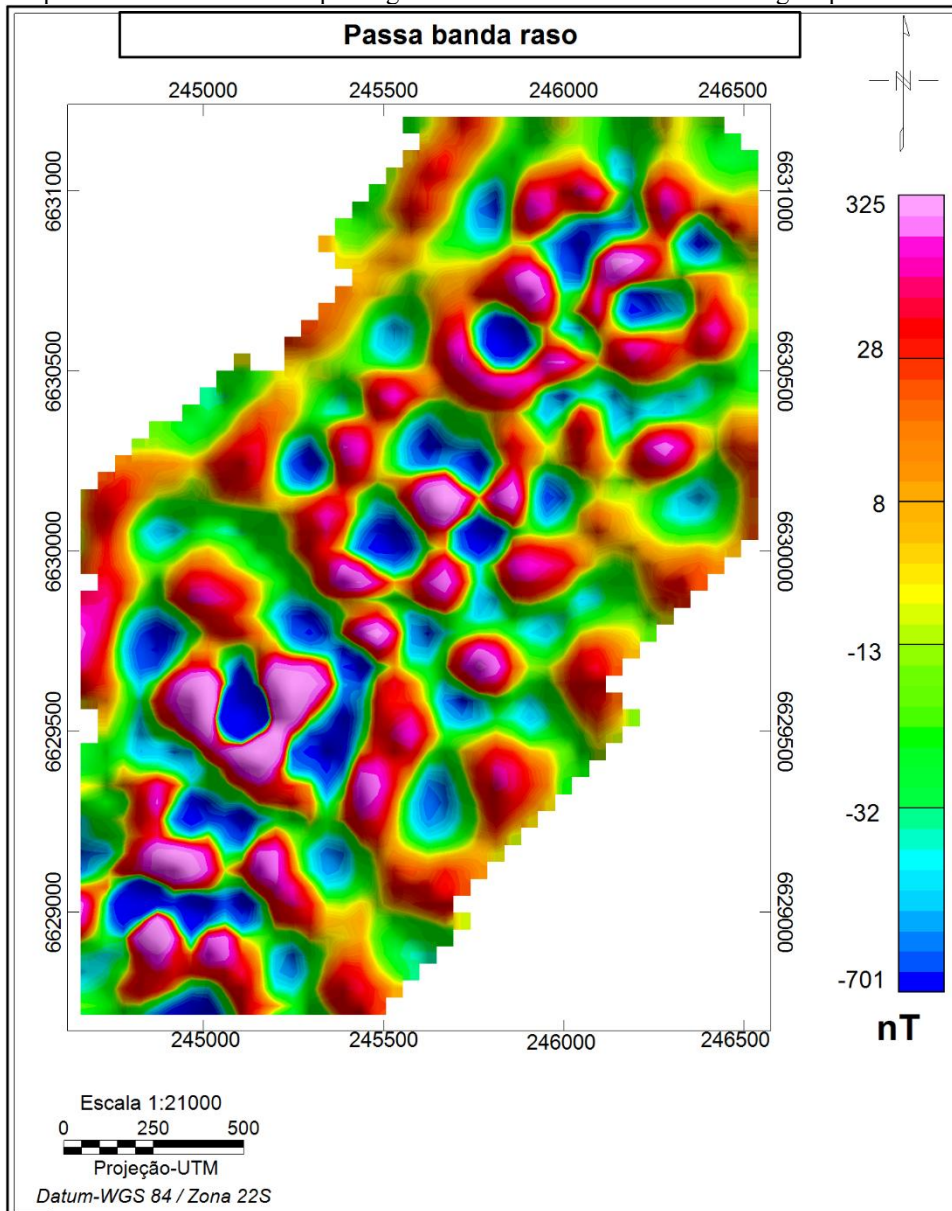


Figura 36 - Mapa com os valores do campo magnético total submetidos a uma filtragem passa banda.



6.4.2 Realce de anomalias

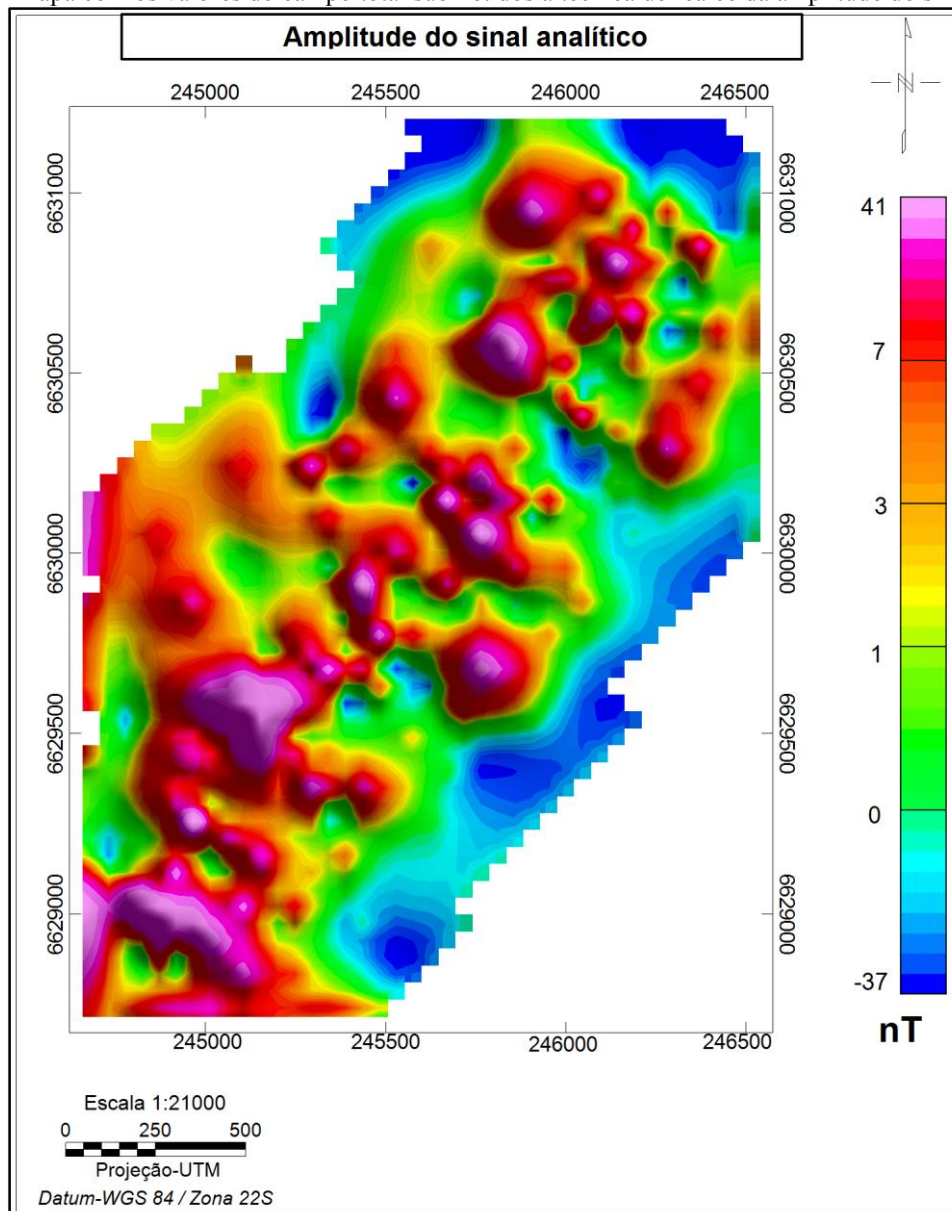
6.4.2.1 Amplitude do Sinal Analítico

Nabighian (1972) desenvolveu o conceito de sinal analítico como sendo uma função relacionada às derivadas nas direções x , y e z do campo magnético, cuja principal característica está em apresentar pouca dependência com relação à direção do vetor magnetização da fonte.

O uso da amplitude do sinal analítico é hoje comumente empregado para auxiliar na determinação da posição e das bordas laterais de uma fonte anômala, pois os picos da sua função são simétricos e ocorrem diretamente sobre as bordas de corpos largos e diretamente sobre o centro de corpos estreitos.

A figura 37 ilustra o resultado da aplicação dessa técnica de realce aos dados do campo magnético anômalo total.

Figura 37 – Mapa com os valores do campo total submetidos a técnica de realce da amplitude do sinal analítico.



7 RESULTADOS

7.1 Interação geofísica/geológica

Com o intuito de analisar as assinaturas magnéticas dos principais condicionantes geológicos e dos resultados de interesse dos estudos anteriores verificados e descritos para a área de estudo, foram sobrepostos os limites geológicos, as falhas, os posicionamentos das ocorrências minerais Capão Grande e Victor Teixeira e as áreas com baixa resistividade, alta cargabilidade e condutividade aparente aos mapas magnetométricos de campo total, passa banda profundo, passa banda raso e amplitude do sinal analítico.

7.1.1 Mapa dos valores magnéticos do campo total

No mapa do campo magnético total com as informações supracitadas podem ser observados contrastes no comportamento magnético entre as rochas xistosas do Complexo Metamórfico Vacacaí e os arenitos arcossianos conglomeráticos da Formação Passo da Promessa (Figura 38).

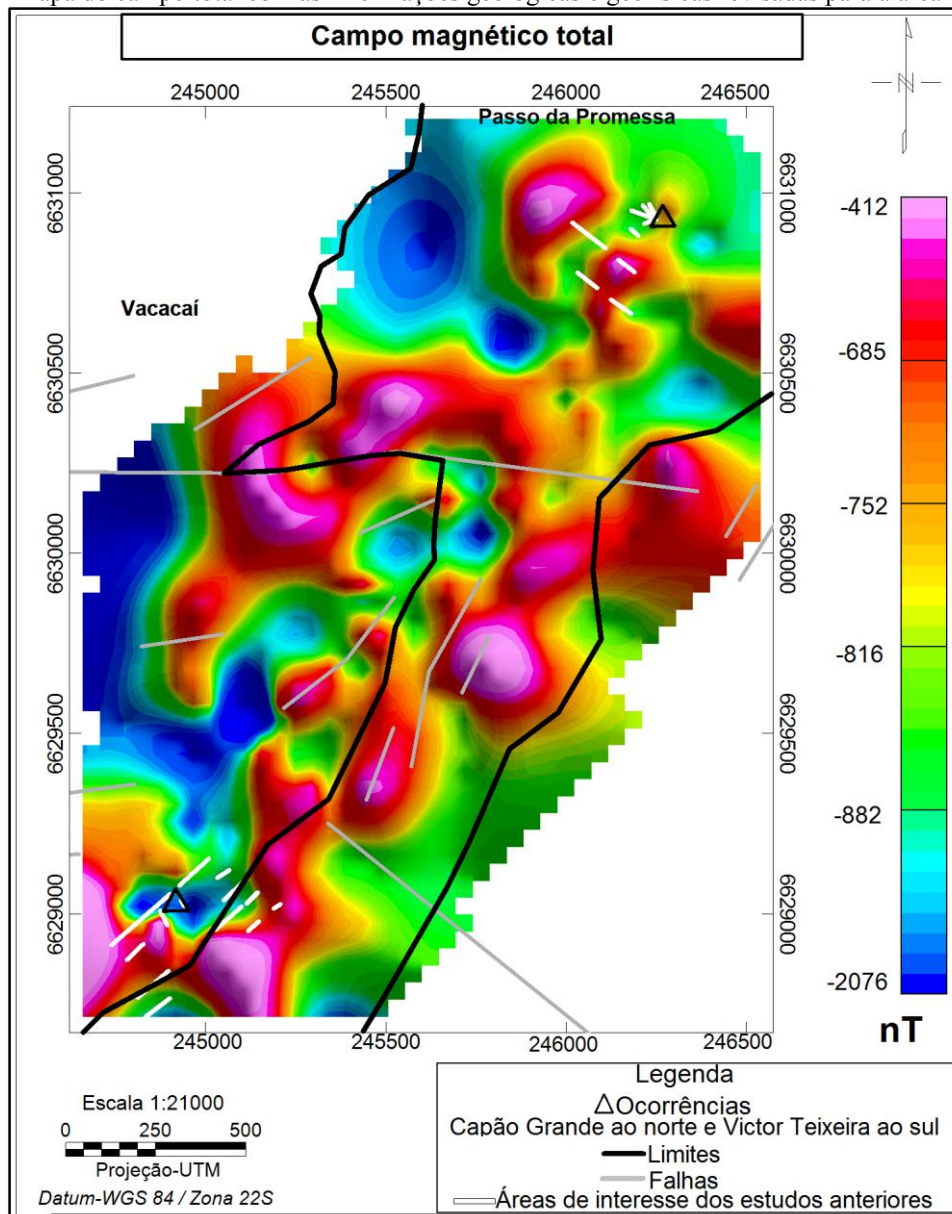
O Complexo Metamórfico Vacacaí é caracterizado por um relevo magnético mais suave, com predomínio de anomalias negativas (faixa de cores do azul ao verde), as quais são de baixa intensidade magnética e de grande comprimento de onda. Pequenas exceções ocorrem nos altos magnéticos localizados no extremo sudoeste (faixa NS e EW) e no centro da unidade (faixa NW da cunha geológica e SE associada).

As anomalias negativas que atingem os menores valores de intensidade do campo magnético (-2076 nT) no Complexo Metamórfico Vacacaí aparecem dispostas principalmente como faixas horizontais, verticais e inclinadas.

A faixa horizontal (EW) ocorre na posição da ocorrência Victor Teixeira (triângulo sul do mapa). A faixa vertical (NS) está disposta no extremo centro-oeste do Complexo, como a maior área de baixa intensidade magnética. As faixas inclinadas (para NW e NE) aparecem um pouco acima do afloramento Victor Teixeira, de modo que elas relacionam-se entre si e com a faixa NS.

A Formação Passo da Promessa é marcada por um relevo magnético mais acidentado, com predomínio de anomalias positivas (faixa de cores do amarelo ao roxo), de média a muito alta intensidade magnética e comprimentos de onda que variam de intermediários a pequenos.

Figura 38 – Mapa do campo total com as informações geológicas e geofísicas revisadas para a área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas anomalias positivas aparecem dispostas preferencialmente ao longo de uma direção geral NE, concordante com quase toda a borda sudeste (traço de cor preta) do Complexo Metamórfico Vacacai e com as falhas (traços de cor cinza) de direção NE que acompanham o acamamento sedimentar da porção mais estreita da Formação Passo da Promessa. Apenas no centro do mapa que ocorre um alto magnético de direção geral EW, paralelo a maior falha da área de estudo (traço cinza).

A ocorrência cuprífera Capão Grande (triângulo norte do mapa) está no centro de uma pequena anomalia positiva, de valores médios a altos de intensidade magnética e direção NW.

As áreas de interesse dos estudos anteriores realizados em Victor Teixeira (traços de cor branca ao sul do mapa) se dispõem perpendicularmente ao longo do baixo magnético EW e paralelamente ao alto magnético NE que acompanha o limite geológico (traço preto).

As áreas de interesse dos estudos realizados em Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa) se dispõem principalmente ao longo da faixa de baixo magnético que separa dois altos magnéticos NE.

7.1.2 Mapa do campo magnético total submetido a filtragem passa banda profundo

O mapa de passa banda profundo com as informações geológicas e geofísicas integradas (Figura 39) exibe um relevo magnético muito semelhante ao observado anteriormente no mapa do campo magnético total.

Ainda assim, importantes mudanças anômalas podem ser observadas nas posições dos afloramentos mineralizados em cobre (triângulos do mapa) e nas áreas de interesse dos estudos anteriores (traços brancos).

No afloramento Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) não é mais observada a faixa anômala de baixa intensidade magnética EW, mas uma estreita faixa NS que se estende até uma grande área de baixo magnético, com os menores valores de intensidade do campo (-1309 nT) e disposição geral NE.

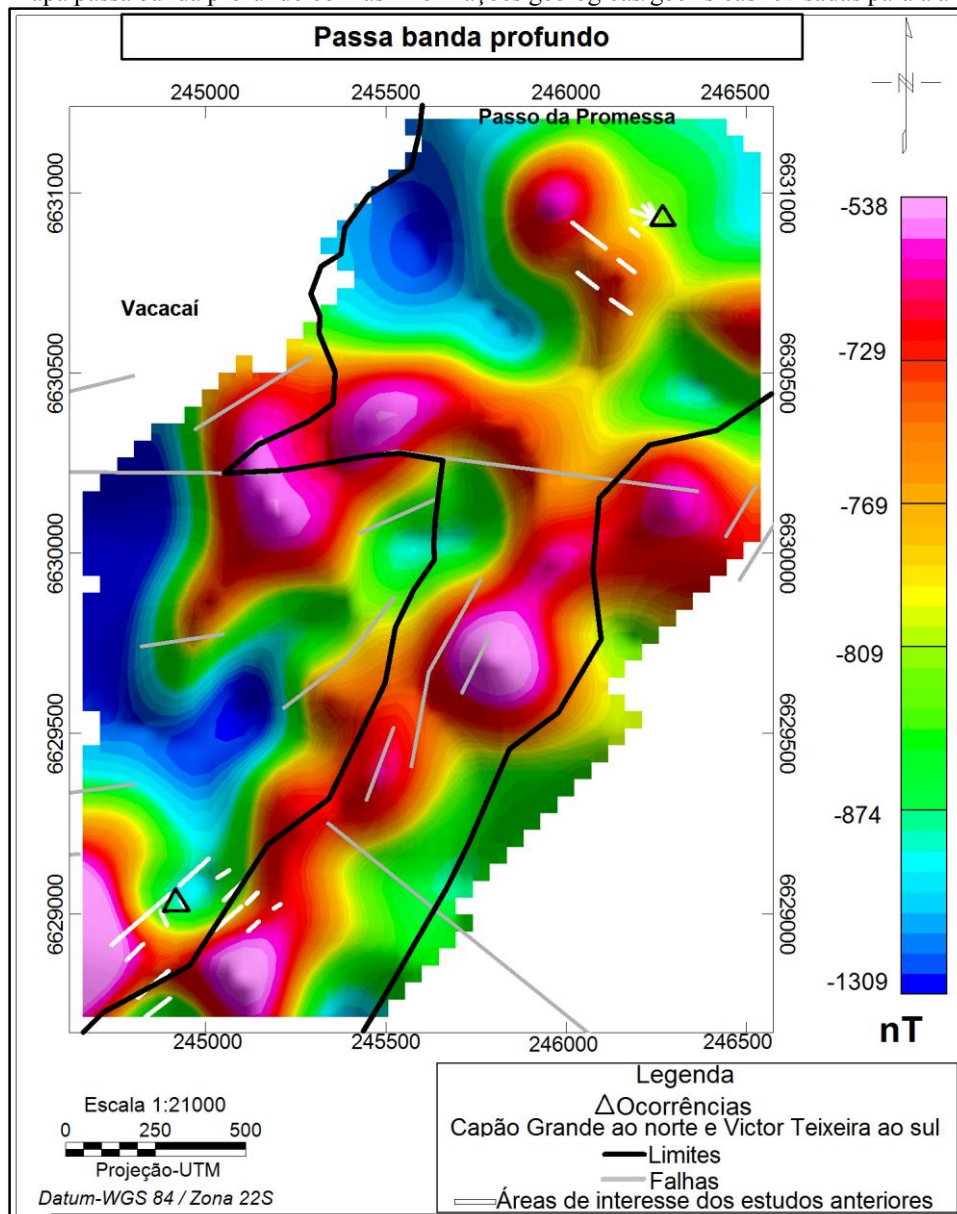
Na posição do afloramento Capão Grande (triângulo norte do mapa) também não é mais visualizada a faixa anômala NW de média a alta intensidade magnética que a caracterizava, mas apenas uma área de baixo magnético (-809 nT).

As áreas de interesse dos estudos realizados em Victor Teixeira (traços brancos ao sul do mapa) continuam localizadas ao longo de baixos e altos magnéticos.

As áreas de interesse dos estudos realizados em Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa) se dispõem ao longo de um grande alto magnético NW, onde antes haviam dois altos NE separados por um baixo magnético.

Outro aspecto que pode ser observado com facilidade nesse mapa de passa banda profundo se refere a relação de conexão entre as anomalias positivas NE e EW e NW da Formação Passo da Promessa.

Figura 39 - Mapa passa banda profundo com as informações geológicas/geofísicas revisadas para a área de estudo.



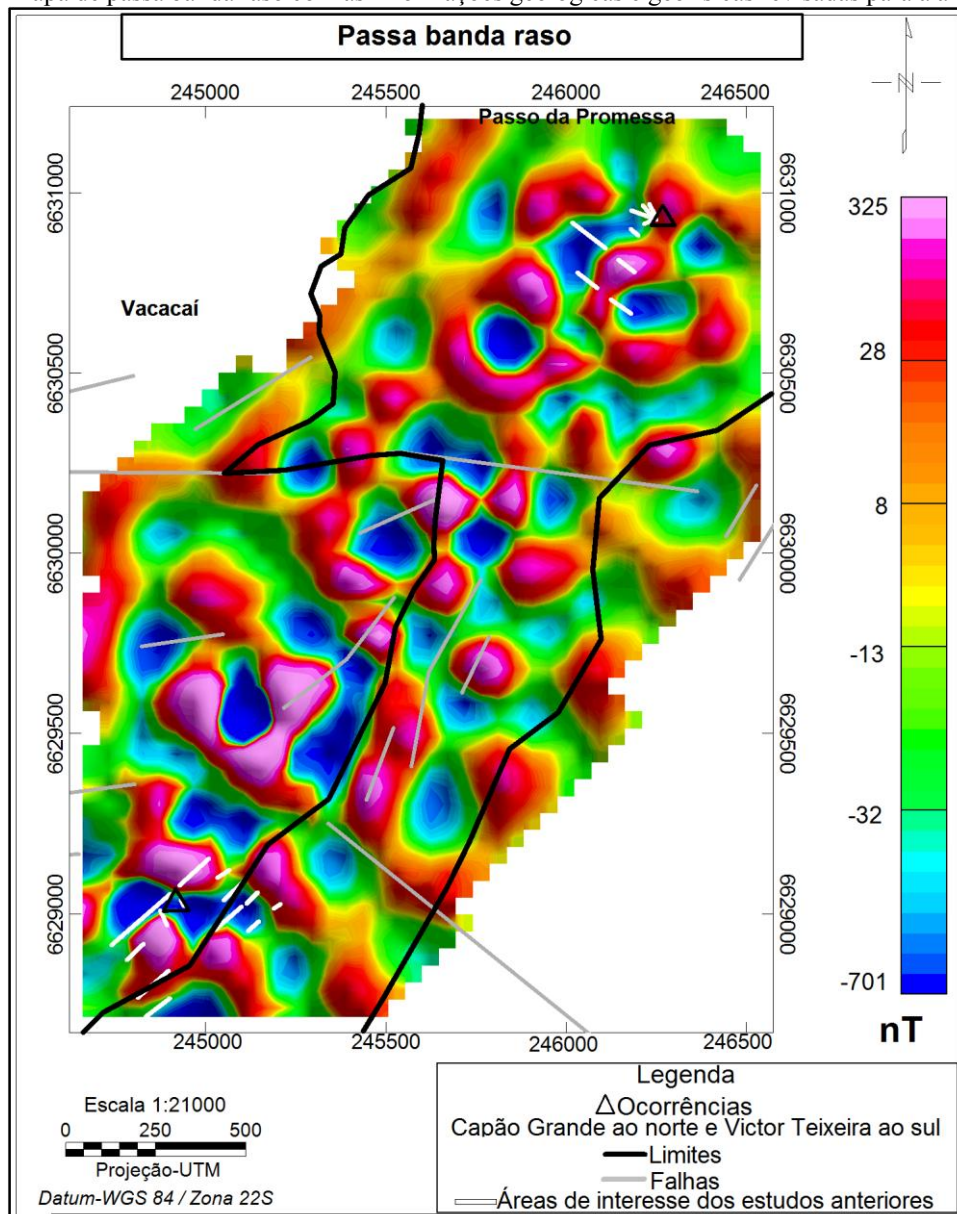
Fonte: Elaborado pelo autor.

7.1.3 Mapa do campo magnético total submetido a filtragem passa banda raso

No mapa de passa banda raso com as informações geológicas/geofísicas integradas podem ser observadas grandes mudanças no formato e na disposição das anomalias magnetométricas da área de estudo, que impossibilitam até mesmo a atribuição de uma característica anômala específica para cada contexto geológico presente (Figura 40).

A mudança mais evidente consiste na ausência de praticamente todo o comportamento magnético de elevada intensidade que formava grandes anomalias positivas (de direções preferenciais NE e EW e subordinadamente para NW) na Formação Passo da Promessa.

Figura 40 - Mapa de passa banda raso com as informações geológicas e geofísicas revisadas para a área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Agora somente em pequenas estruturas NE (traços cinzas) da porção mais estreita da Formação Passo da Promessa é possível observar altos magnéticos representativos dessas grandes anomalias positivas.

Nas localidades das ocorrências minerais (triângulos no mapa), as anomalias presentes se dispõem de forma muito semelhante ao observado no mapa do campo magnético total (Figura 38), diferenciando-se apenas em amplitude e extensão, tanto que em Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) o baixo magnético EW abrange porções das rochas areníticas arcossianas da Formação Passo da Promessa.

As áreas de interesse dos estudos realizados em Victor Teixeira (traços brancos ao sul do mapa) estão localizadas predominantemente ao longo do baixo magnético EW ampliado e estendido até as porções dos arenitos arcossianos.

As áreas de interesse dos estudos realizados em Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa) predominam ao longo de anomalias semelhantes as respostas obtidas no mapa do campo magnético total (Figura 38). A diferença é que os altos magnéticos NE foram reduzidos e o baixo magnético que as separa foi ampliado. E os traços brancos de interesse dos estudos anteriores se restringem apenas ao alto magnético NE que se relaciona ao afloramento mineralizado Capão Grande (triângulo norte do mapa) e ao baixo magnético.

7.1.4 Mapa do campo total submetido ao realce da Amplitude do Sinal Analítico

No mapa da amplitude do sinal analítico com a disposição das informações geológicas e geofísicas integradas pode ser observado um elevado número de anomalias circulares de alta intensidade e amplitude magnética predominando tanto os xistos do Complexo Metamórfico Vacacaí quanto os arenitos arcossianos conglomeráticos da Formação Passo da Promessa (Figura 41).

No Complexo Metamórfico Vacacaí, essas anomalias são dominantes e praticamente concordantes com toda a extensão da borda (traço preto) sudoeste da Formação Passo da Promessa.

A Formação Passo da promessa também é dominada por anomalias circulares de elevada amplitude e intensidade magnética, mas que normalmente estão rodeadas por baixos magnéticos.

Em semelhança ao mapa de passa banda raso é possível observar apenas pequenas anomalias de elevada intensidade magnética caracterizando as falhas NE (traços cinza) da porção mais estreita da Formação Passo da Promessa.

Na posição do contato geológico com a grande falha central EW (traço cinza) é observado um comportamento anômalo de elevada intensidade magnética semelhante aos visualizados nos mapas do campo magnético total (Figura 38) e de passa banda profundo (Figura 39).

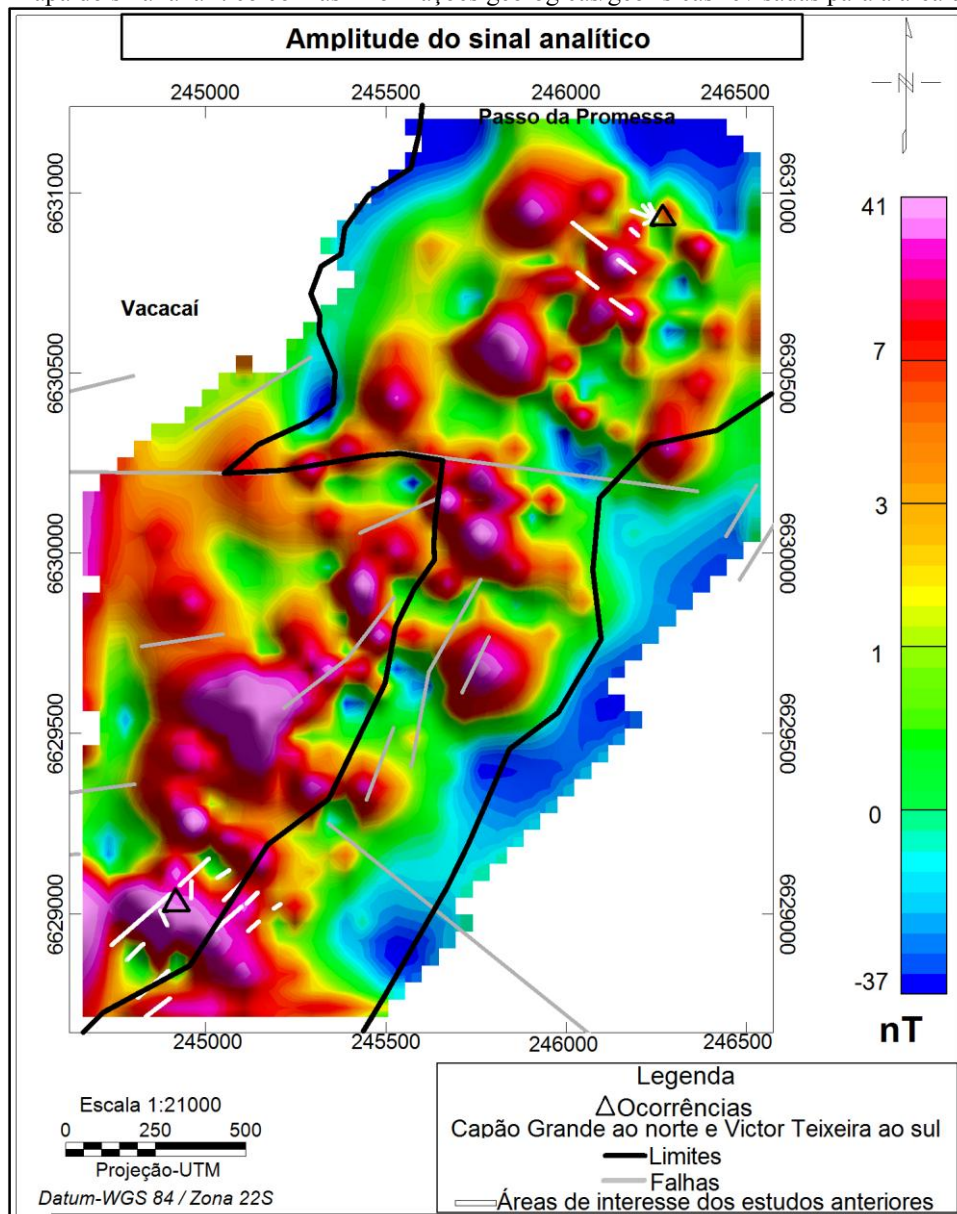
O afloramento Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) é novamente caracterizado por uma anomalia EW que se estende até porções dos arenitos da Formação Passo da Promessa. No entanto, essa anomalia é de elevada intensidade e amplitude magnética.

O afloramento mineralizado Capão Grande (triângulo norte do mapa) é caracterizado por uma pequena anomalia de média a alta intensidade magnética e direção NW. O comportamento magnético e a disposição preferencial são semelhantes ao observado no mapa do campo magnético total (Figura 38) e no de passa banda raso (Figura 40).

As áreas de interesse dos estudos anteriores de Victor Teixeira (traços brancos ao sul do mapa) estão localizadas predominantemente na anomalia EW de elevada amplitude e intensidade magnética que caracteriza o afloramento mineralizado.

As áreas de interesse dos estudos anteriores de Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa) estão predominantemente associadas a uma grande anomalia NE de elevada intensidade magnética e vários picos de amplitude do sinal.

Figura 41 - Mapa do sinal analítico com as informações geológicas/geofísicas revisadas para a área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

8 DISCUSSÕES

8.1 Mapa do campo total com os dados geológico/geofísicos integrados

No mapa do campo magnético total com as informações geológicas e geofísicas integradas (Figura 38) foram observados baixos magnéticos predominando as rochas xistosas do Complexo Metamórfico Vacacaí e altos magnéticos dominando as rochas areníticas da Formação Passo da Promessa.

Esse contraste magnético obtido é atribuído à diferenças de propriedades magnéticas existente entre os xistos e os arenitos presentes. A propriedade física que influi diretamente nos valores medidos de intensidade magnética é a suscetibilidade.

Na tabela 3, apresentada no subitem 4.1.1.3.1 do Capítulo 4, que revisa os fundamentos do método da magnetometria, é possível observar que os valores médios de suscetibilidade magnética para xistos são menores que os valores médios para arenitos. Essa diferença é concordante com o contraste de baixos magnéticos obtidos para o Vacacaí e altos magnéticos obtidos para a Formação Passo da Promessa.

Os baixos magnéticos do Complexo Metamórfico Vacacaí estão dispostos principalmente como faixas de direções preferenciais NS, NE, NW e EW. As falhas disponíveis para esse contexto geológico (traços cinzas) apresentam orientações NE e EW. Essas falhas não apresentam boa correlação com os baixos magnéticos de mesma direção.

O presente trabalho não adotou um levantamento de dados estruturais compatível com a escala local adotada, mas apresentou na revisão dos estudos anteriores do Capítulo 3 os produtos dos levantamentos estruturais de detalhe realizados nos afloramentos mineralizados Capão Grande e Victor Teixeira pelos trabalhos de Pereira (2011) e Bitencourt (2011), respectivamente.

As principais famílias de falhas encontradas por Bitencourt (2011) nos xistos foram NW, NS, NE e EW (Vide Figura 18). Essas direções principais são as mesmas observadas nas faixas de baixa intensidade magnética que caracterizam as rochas no Complexo Metamórfico Vacacaí.

Os altos magnéticos predominantes nos arenitos arcossianos da Formação Passo da Promessa se dispõe preferencialmente ao longo de faixas NE. Essas faixas acompanham boa parte do limite geológico sudeste (traço preto) e das falhas disponíveis (traços cinzas) para esse contexto.

O levantamento estrutural de detalhe de Pereira (2011) apresenta as principais famílias de falhas e fraturas para a área dos arenitos arcósiolos orientadas também para NE (Vide Figura 14).

A faixa anômala de baixa intensidade magnética que caracteriza a ocorrência cuprífera Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) reflete a disposição geral EW do bloco de quartzo em que está o afloramento mineralizado em campo (Figura 42).

Figura 42 – Bloco de quartzo EW em que está inserido o afloramento Victor Teixeira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A pequena faixa anômala de média a alta intensidade magnética que caracteriza a ocorrência cuprífera Capão Grande (triângulo norte do mapa) reflete a disposição geral NW da estrutura que constitui o afloramento mineralizado em campo (Figura 43).

Figura 43 – Estrutura NW do afloramento mineralizado Capão Grande.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas de interesse (traços brancos do mapa) dos estudos anteriormente realizados nas ocorrências Capão Grande (triângulo norte do mapa) e Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) se dispuseram ao longo de altos e baixos magnéticos.

As áreas de interesse dos estudos anteriores se referem as porções com baixa resistividade, alta cargabilidade e condutividade aparente definidas nos trabalhos de Ilha (2010), Fagundes (2010), Pereira (2011) e Bitencourt (2011) como as respostas da presença de carbonatos e sulfetos de cobre em subsuperfície.

Outro trabalho anterior existente na área de estudo é o de Silva (2010). Esse trabalho compreende a única caracterização de subsuperfície envolvendo o método geofísico da magnetometria. Esse método foi empregado apenas nos arredores da ocorrência cuprífera Capão Grande (triângulo norte do mapa).

Os resultados obtidos por essa autora possibilitaram a caracterização de três domínios magnéticos distintos para o contexto local de detalhe dos arenitos arcosianos encaixantes (Vide Figura 7 do subitem 3.1 do Capítulo 3). O domínio magnético alto foi associado a resposta da magnetização provinda da acumulação de cobre em subsuperfície.

A característica magnética desse domínio alto é muito semelhante aos altos magnéticos dominantes da Formação Passo da Promessa. As rochas areníticas presentes nesse contexto possuem espaços porosos que possam justificar o tamanho dessas anomalias positivas dominantes.

A ocorrência de Victor Teixeira (triângulo sul do mapa), por sua vez, não foi alvo de trabalhos geofísicos de magnetometria. A informação que se tem dos estudos anteriores de Fagundes (2010) e Bitencourt (2011) é que as áreas de interesse definidas pela relação de baixa resistividade, alta cargabilidade e elevada condutividade no contexto dos xistos aflorantes (traços brancos ao sul do mapa) correspondem a fraturas preenchidas por cobre em um grande bloco de quartzo.

A resposta magnética do bloco de quartzo compreende a faixa EW de baixa intensidade magnética que caracteriza o afloramento de Victor Teixeira (triângulo sul do mapa). As áreas de interesse dos estudos anteriores (traços brancos) nessa localidade não se limitam apenas a esse baixo magnético EW, mas também se apresentam sobre uma parte do alto magnético NE que acompanha o limite geológico (traço preto).

Essa anomalia NE se relaciona com o alto magnético EW e com uma das anomalias NE que apresenta áreas de interesse dos estudos de Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa).

Essa evidência pode ser sugestiva de uma relação de conexão de subsuperfície entre as mineralizações das ocorrências estudadas, mas também pode ser a resposta da sobreposição de estruturas magnéticas mais profundas, visto que os altos magnéticos NE e EW caracterizam também os limites (traço preto) e as falhas disponíveis (traços cinza).

8.2 Mapa de passa banda profundo com os dados geológico/geofísicos integrados

O mapa de passa banda profundo com as informações geológicas e geofísicas integradas (Figura 39) evidenciou um comportamento magnético muito semelhante ao do mapa do campo magnético total anterior.

A filtragem passa banda utilizada nesse mapa foi empregada com o intuito de eliminar os sinais de alta frequência para que fosse observado o comportamento magnético das fontes ou estruturas mais profundas na área de estudo.

De acordo com o estudo de Pereira (2011), as respostas de elevada resistividade aparente atribuídas a característica das rochas do embasamento cristalino (Vacacaí) foram definidas em profundidades variando entre 70 e 80 m.

No presente trabalho, o limite entre o embasamento cristalino (Complexo Metamórfico Vacacaí) e as rochas da Bacia do Camaquã (Formação Passo da Promessa) foi definido em 87 m (vide Figura 32).

O filtro de passa banda profundo, portanto, está caracterizando a resposta magnética a partir desse limite estipulado até a profundidade máxima obtida pelo sinal (aproximadamente 125m).

O domínio anômalo de baixos magnéticos no contexto do Complexo Metamórfico Vacacaí foi preservado nesse mapa. As faixas NS, NE e NW com os menores valores de intensidade magnética foram expandidas e suavizadas em função do realce das fontes profundas.

A mudança anômala ocorrida na posição do afloramento mineralizado Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) corresponde a ausência da resposta magnética do bloco de quartzo aflorante para as altas profundidades.

Na Formação Passo da Promessa também foi mantido o predomínio de altos magnéticos anômalos. As grandes faixas anômalas NE e EW que acompanham os contatos geológicos (traço preto) e as falhas NE (traços cinza) da porção mais estreita da Formação foram realçadas.

Na porção com áreas de interesse dos estudos anteriores de Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa) existe uma grande anomalia NW, que é ainda mais semelhante a resposta do domínio magnético alto definido por Silva (2010) como a resposta da presença de cobre em subsuperfície. Essa grande anomalia NW faz conexão com as demais grandes áreas de alto magnético EW e NE até o extremo sudoeste do mapa.

Como essa característica de elevada intensidade magnética já foi utilizada em estudo anterior na área de Capão Grande como a resposta de cobre, poderia ser sugerida a dispersão das mineralizações até Victor Teixeira, principalmente pelo contato entre as litologias.

Todavia, os grandes altos magnéticos que esse mapa apresenta correspondem as rochas abaixo de 87 m, que nesse caso são os xistos do Vacacaí, embora essas anomalias estejam dentro dos limites da Formação Passo da Promessa.

Os xistos não possuem espaços suficientes entre suas foliações ou fraturas principais que possam justificar a presença de mineralizações no que seria as porções de altos magnéticos NE, EW e NW. Essas direções preferencias dos altos magnéticos apenas reforçam a delimitação estrutural do Complexo, que de acordo com o levantamento estrutural de detalhe de Bitencourt (2011), as principais famílias de fraturas dos xistos são NE, NS, EW e NW.

8.3 Mapa de passa banda raso com os dados geológico/geofísicos integrados

O comportamento magnético do mapa de passa banda raso com as informações geológicas e geofísicas integradas (Figura 40) é muito diferente quando comparado aos mapas do campo total (Figura 38) e passa banda profundo (Figura 39).

Essa diferença é atribuída ao filtro passa banda utilizado na sua elaboração. Nessa filtragem, os sinais de baixa frequência foram recortados do sinal para ser observado o comportamento magnético de fontes ou estruturas mais próximas a superfície.

No Complexo Metamórfico Vacacaí são observadas apenas pequenas porções das grandes faixas de baixos magnéticos que dominavam o contexto nos mapas anteriores (NS, NE e NW). A única exceção foi a faixa EW do afloramento de Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) que foi realçada.

A atenuação das grandes faixas NS, NE e NW é recorrente do recorte dos longos comprimentos de onda das fontes mais profundas. Já o ganho em extensão e amplitude da faixa EW é atribuído ao realce obtido para corpos mais rasos. Nesse caso, esse ganho é indicativo da

resposta do bloco de quartzo a qual faz parte o afloramento mineralizado, verificado em campo e também definido no estudo anterior de Bitencourt (2011) – vide a área resistiva da Figura 24.

Na Formação Passo da Promessa também foram caracterizados apenas pequenas porções do que seriam os grandes altos magnéticos NE e EW que predominavam nos mapas anteriores.

A ausência anômala do alto magnético EW que caracteriza a maior falha da área de estudo (traço cinza) é sugestiva de que essa estrutura corresponda ao embasamento cristalino. Já a caracterização de altos magnéticos nas pequenas falhas NE (traços cinzas) da porção mais estreita da Formação Passo da Promessa é associada a falhamentos da Bacia do Camaquã.

O ganho em amplitude e extensão do alto magnético na posição da ocorrência cuprífera Capão Grande (triângulo norte do mapa) é associada ao realce obtido para estruturas mais próximas à superfície, que nesse caso salientou a estrutura NW do afloramento mineralizado.

Na localidade das áreas de interesse dos estudos anteriormente realizados em Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa), as anomalias se dispuseram novamente como dois altos magnéticos NE separados por uma faixa de baixa intensidade magnética. Esses dois altos magnéticos apresentam o mesmo comportamento anômalo do domínio magnético alto definido por Silva (2010) como a resposta da presença de carbonatos de cobre em subsuperfície.

Para os altos magnéticos desse mapa de Passa banda raso podem ser realizadas comparações com as definições feitas por Silva (2010), pois o filtro utilizado na elaboração desse mapa está realçando o comportamento magnético de corpos para até os 87 m de profundidade, compreendendo o intervalo dos arenitos da Formação Passo da Promessa.

Os arenitos possuem mais espaços nos interstícios rochosos para abrigarem quantidades significativas de mineralizações em subsuperfície que possam justificar o tamanho desses altos anômalos caracterizados.

Desta forma, o alto magnético NE alinhado com o afloramento Capão Grande (triângulo norte do mapa) pode ser associado como a resposta da presença de cobre em subsuperfície, pois também houve correlação com os traços brancos que representam as áreas de baixa resistividade/alta condutividade relacionadas as mineralizações por Pereira (2011).

No entanto, a maior parte dos traços brancos com outros resultados de interesse de Pereira (2011) e também de Ilha (2010) associados a mineralizações de cobre em subsuperfície, encontram-se sobre a faixa de baixa intensidade magnética ao lado. E para esse contexto dos

arenitos arcosianos, Silva (2010) não associou a presença de mineralizações a essa característica de baixa intensidade magnética.

Nesse mapa não é possível observar a continuidade do alto magnético NE com áreas de interesse (traços brancos ao norte do mapa) até o baixo magnético EW que caracteriza o bloco de quartzo com fraturas preenchidas por cobre em Victor Teixeira (triângulo sul do mapa). Tal fato também é sugestivo de que as mineralizações das ocorrências cupríferas não sejam conectadas em subsuperfície.

8.4 Mapa do Sinal Analítico com os dados geológico/geofísicos integrados

A técnica de realce do Sinal Analítico tem como principal característica o posicionamento de amplitudes imediatamente acima dos limites das fontes causadoras das anomalias.

No mapa do Sinal Analítico com as informações geológicas e geofísicas integradas (Figura 41), o Complexo Metamórfico Vacacaí foi caracterizado predominantemente por anomalias circulares e alongadas de elevada intensidade e amplitude magnética. Essas anomalias aparecem dispostas ao longo de direções preferenciais NS, NE, EW e NW.

Essas direções preferenciais são concordantes com as falhas disponíveis (traços cinzas) e com boa parte do limite geológico (traço preto).

As principais famílias de falhas e fraturas definidas no levantamento estrutural de detalhe de Bitencourt (2011) para os xistos do Vacacaí também apresentam direções preferenciais NE, NS, EW e NW.

Na posição do afloramento de Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) foi caracterizada uma anomalia novamente disposta para EW, de elevada amplitude e intensidade magnética. Essa anomalia é a que mais abrange porções das áreas de interesse (traços brancos ao sul do mapa) dos estudos anteriores de Fagundes (2010) e Bitencourt (2011).

Como o filtro da amplitude do sinal analítico é muito utilizado na definição de limites de corpos, essa resposta anômala deve ser a que melhor caracteriza o bloco de quartzo do afloramento mineralizado.

Na Formação Passo da Promessa, as anomalias circulares de elevada intensidade e amplitude magnética ocorrem sempre rodeadas por baixos magnéticos.

Na porção mais estreita dessa Formação ocorrem apenas dois altos anômalos circulares amplificados caracterizando pequenas falhas NE (traços cinza).

A localidade onde se concentram o maior número de anomalias circulares com elevada amplitude e intensidade magnética na Formação Passo da Promessa é nas áreas com resultados de interesse dos estudos anteriores de Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa). Praticamente todas as áreas de interesse fazem parte de uma grande anomalia de elevada intensidade magnética com diversos picos de amplitude, disposta na direção NE.

Essa anomalia com a maior parte das áreas de interesse dos estudos anteriormente realizados em Capão Grande (traços brancos ao norte do mapa) deve ser a resposta que melhor caracteriza a porção mineralizada dos arenitos arcosianos nos arredores do afloramento.

Assim como no mapa de passa banda raso (Figura 40), a anomalia EW que caracteriza o bloco de quartzo com fraturas mineralizadas em Victor Teixeira (triângulo sul do mapa) não mostra relação de conexão com a anomalia NE com resultados anteriores em Capão Grande (traços brancos ao norte).

Essa evidência corrobora os indícios dos mapas de passa banda profundo (Figura 39) e raso (Figura 40) de que as mineralizações de Capão Grande e Victor Teixeira não são interligadas em subsuperfície.

9 CONCLUSÕES

A proposição inicial de verificar a potencial relação de conexão mineral em subsuperfície das ocorrências cupríferas Capão Grande e Victor Teixeira foi realizada.

A integração de dados provindos de duas formas distintas de investigação (perfis e malha) possibilitaram a apresentação de resultados satisfatórios quanto a caracterização de subsuperfície do intervalo entre as ocorrências acima citadas.

A utilização da magnetometria terrestre apresentou êxito na caracterização de contrastes físicos entre as rochas dos contextos geológicos presentes, na delimitação de limites e falhamentos geológicos e na determinação de corpos associados a mineralizações de cobre na subsuperfície dos afloramentos mineralizados.

O mapa do campo total foi o que apresentou os melhores resultados quanto a caracterização de contrastes magnéticos entre as rochas dos contextos geológicos presentes.

Os mapas com as filtragem passa banda proporcionaram os melhores resultados quanto a delimitação dos limites e falhamentos geológicos.

O mapa da amplitude do sinal analítico foi o que melhor delimitou estruturas associadas a mineralizações nos arredores dos afloramentos mineralizados.

As discussões dos mapas do campo magnético total, passa banda profundo, passa banda raso e amplitude do sinal analítico permitiram concluir que as mineralizações das ocorrências cupríferas estudadas não são conectadas em subsuperfície.

REFERÊNCIAS

- BITENCOURT, J. C. **Aplicação do método eletromagnético FDEM-GCM para caracterização geoeletrica de uma ocorrência cuprífera no município de Caçapava do Sul –RS.** 2011. 55 f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul. 2011.
- BOCCHI, P. R. **Geologia da Folha de Caçapava do Sul, 1970.** Rio Grande do Sul. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. DNPM, Rio de Janeiro: n° 245, P 1-83.
- BORBA, A. W. **“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 estratigrafia, petrografia e geologia isotópica.** 2006. 110 F. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2006.
- BRIGGS, I.C. **Machine Contouring Using Minimum Curvature.** Geophysics, v. 39, n. 1, p.39-48, 1974.
- CARMICHAEL, R. S. *Physical properties of rocks and minerals*: CRC press Inc, 1982. 741p.
- COSTA FILHO, J. H.. Prospecção das minas de cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Ministério da Agricultura. Boletim. n° 59. p. 13 - 94. 1944.
- CHEMALE, JR. F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F (Eds). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. 2000. p.13-52.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2007. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1:750000.
- DUNLOP, D. J. & ÖZDEMIR, Ö. **Rock Magnetism: fundamentals and frontiers.** Cambridge University Press.1997.
- FAGUNDES, R. S. **Caracterização geoeletrica da ocorrência cuprífera Victor Teixeira, São Sepé-RS.** 2010. 52 f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul. 2010.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rede brasileira de monitoramento contínuo:** relatório de informação da Estação Santa Maria RS – SMAR. Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php>. Acesso em: 23 jul. 2013.
- ILHA, L. M. **Caracterização geofísica e estrutural da ocorrência cuprífera Capão Grande.** 2010. 56 f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul , 2010.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An Introduction to Geophysical Exploration.** 3. Ed. Oxford. Blackwell: Blackwell Science Ltd. 2002.
- KOPPE, J. C. **Metalogênese do ouro na mina da Bossoroça, São Sepé – RS.** 1990. 289 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. 1990.
- LANZA, R; MELONI,A. **The Earth´s Magnetism, An Introdution for Geologists.** New York. Springer Berlin, 2006.
- LOWRIE, WILLIAN. **Fundamentals of Geophysics.** 2. Ed. New York. Cambridge University Press, 2007.
- LUIZ, J. G.; COSTA & SILVA, L. M. **Geofísica de Prospecção.** Belém. Editora: Cejup, 1995. BECKEL, João. Metalogenia del Cu, Pb y Zn em la Cuenca de Camaquã durante el ciclo orogênico Brasileiro, RS (Brasil). 1990. 275 f. Tese de Doutorado, Universidade de Salamanca, Espanha, 1990.

MONICO, J. F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** Rio Claro. Editora: UNESP (FEU), 2000. 287 p.

NABIGHIAN, M.N., **The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal crosssection: Its properties and use for automated anomaly interpretation: Geophysics**, n. 37, p. 507-517. 1972

NAIME, R. H. **Geologia do Complexo Granítico Ramada e do Granito Cerro da Cria.** 1987. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. 1987.

PEREIRA, R. M. **Fundamentos de Prospecção Mineral.** Rio de Janeiro. Editora: Interciência Ltda, 2003.

PEREIRA, H.G. **Estudo geofísico em ocorrência de cobre por meio de métodos elétrico e eletromagnético, localizado no município de Caçapava do Sul (RS).** 2011. 77 f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul. 2011.

PORCHER, C. A.; LEITES, S. R.; RAMGRAB, G. E. & CAMOZZATO, E. **Folha Passo do Salsinho.SH. 22 - Y - A - I - 4.** Estado do Rio Grande do Sul. *CPRM, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*, escala 1:50.000, 372 p. 1995.

RIBEIRO, M. & LICHTENBERG, E. Síntese da geologia do Escudo do Rio Grande do Sul. In: XXX Congresso Brasileiro de Geologia, 1978, Recife. **Anais**, p. 2451 – 2463.

ROBINSON, E.S. & CORUH, C. **Basic exploration geophysics.** Virginia. Copyright: John Wiley & Sons, Inc. 1988.

RONCHI, L. H., LOBATO, A. O. C. **Minas do Camaquã: Um Estudo Multidisciplinar.** São Leopoldo. Editora: Unisinos, 2000. 366p.

SAWKINS, Frederick. **Metal Deposits in Relations to Plate Tectonics.** Second Edition. Springer-Verlag. 1990.

SILVA, F. G. **Aquisição magnetométrica na caracterização de feições geológicas e estruturais da ocorrência de cobre de Capão Grande, município de Caçapava do sul, Rs.** 2010. 67 f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Geofísica) - Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Caçapava do Sul. 2010.

SCHÖN, J. H. **Physical Properties of Rocks: Fundamental and Principles of Petrophysics.** Leoben. Editora: Elsevier, 2004. 577 p.

SPECTOR, A.; GRANT, F.S. 1970. **Statistical models for interpreting aeromagnetic data.** *Geophysics*, 35(2):293-302.

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

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

WILDNER, W. **Caracterização Geológica e Geoquímica das sequências Ultramáfica e Vulcano-sedimentares da região de Bossoroca – RS.** 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. 1990.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BORRADAILE, G.J.; WERNER, T. **Magnetic anisotropy of some phyllosilicates**. *Tectonophysics*, v. 3., n. 235., p. 223-248, 1994.

BURGER, H. R.; SHEEHAN, A. F.; JONES, C. H.. **Introduction to Applied Geophysics: Exploration geophysics of the shallow subsurface**. New York: Norton & Company, 2006. 622 p.

CARNEIRO, M. A.; BARBOSA, M. S. C. **Implicações geológicas e tectônicas da interpretação magnetométrica da região de Oliveira, Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 26 (1), 87-98 p, 2008.

CARVALHO, P. F. de. Reconhecimento geológico no estado do Rio Grande do Sul. **Boletim: Serviço Geológico e Mineralógico**, Rio de Janeiro, n. 66, p. 03-73, 1932.

CASTRO L.G. **Arcabouço Geofísico Estrutural da Porção Meridional do Cinturão Ribeira e Regiões Adjacentes**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba. 2014.

COSTA, A. F. U. **Teste e modelagem geofísica da estruturação das associações litotectônicas pré-Cambrianas no Escudo Sul-Rio-Grandense**. 1997. 291 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 1997.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2007. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1:750000.

CHEMALE, JR. F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F (Eds). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2000. p.13-52.

DNPM - **Departamento Nacional de Produção Mineral Economia Mineral do Brasil**. Coordenação. Antonio Fernando da Silva Rodrigues. – Brasília-DF: 2009. 764 p. – Ilustradas.

FERNANDES, C. E.M. **Fundamentos de Prospecção Geofísica**. Rio de Janeiro: Editora: Interciência, 1984.

FERREIRA, F. J. F. (1982). **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências - USP.

FRIES, M. **Estudo dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d’alho e Jiboia (Flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná), através dos métodos geofísicos da gravimetria e magnetometria terrestres**. 2008. 238p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 2008.

GEM SYSTEMS. **GSM-8 instruction manual**. Markham, 2008. Manual release 7.2. Disponível em: <<http://www.allied-associates.co.uk/pdfmanuals/GSM-8%20Manual%20February%2021%202008.pdf>>. Acesso em: 10 Out. 2012.

GEOSOFT, (2010B). **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de campos potencias no domínio da frequencia extensão para Oasis Montaj V7.1**. *Tutorial e guia do usuário*. Toronto.

GEOSOFT. **Montaj MAGMAP filtering: 2-D frequency domain of potential field data extension for Oasis Montaj**. Version 6.4. Toronto, 2005. Programa de computador.

GONÇALVES, B. F.. **Modelagem de dados geofísicos magnéticos e radiométricos aéreos e terrestres aplicados à interpretação geológica**. 129 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Geofísica Aplicada), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

GUNN. P.J. 1997b. **Regional magnetic and gravity responses of extensional sedimentary basins**. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, v. 17, n. 2, p.115-131.

- IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análise da economia mineral brasileira**. 2013. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/>> (Novo! Produção por minério 2012). Acesso em: 06 jul. 2013.
- KASMIERCZAK, T. S. **Mapeamento da bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre. 2006.
- KONZEN, L. **Métodos Potenciais: aplicações em petróleo e recursos minerais**. São Paulo: IAG/USP, 2002. CD-ROOM.
- LOURO, V. H. A. **Procedimentos de Análise em Magnetometria: estimativa de magnetização remanente visando inversões para exploração mineral**. 165 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. Ed. São Paulo. Editora Unesp, 2003.
- MARANHÃO, R. J. L. **Introdução a Pesquisa Mineral**. 2 ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, p.796. 1985.
- MONICO, J. F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. Rio Claro. Editora: UNESP (FEU), 2000.
- MOREIRA, C.A.; ILHA, L. M.; **Prospecção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS)**. REM. Revista Escola de Minas, v. 64, p. 305-311, 2011.
- OLIVEIRA, R. G. **Dados geofísicos: arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozóico da província Borborema e de sua margem continental Nordeste do Brasil**. 2008. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/btdtd/RobertoGO_pag83_ate_pag112.pdf>. Acesso em: 28 out. 2013
- PEREIRA, J. G. **Contribuição ao Estudo Geológico da Bacia do Camaquã, através de Modelagem Aeromagnética 2,5D**. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS, Porto Alegre, 2011. 142p.
- ROEST, W.R.; VERHOEF, J. & PILKINGTON, M. **Magnetic interpretation using the 3-D analytical signal**. Geophysics, v. 57, n. 1, p: 116-125, 1992
- ROMEIRO M.A.T. **Modelos Gravimétricos 2D da Borda Oeste da Bacia do Parnaíba e de seu Embasamento**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba. 2014.
- SOARES, M. S.; **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca**, São Sepé, RS. 187 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

APÊNDICE 1 – ESTAÇÕES MAGNETOMÉTRICAS ADQUIRIDAS NO ESTUDO.

Estações	UTMX	UTMY	Altitude	Valores medidos
1	246372	6630873	219	21653
2	246364	6630879	219	21660
3	246355	6630884	218	21807
4	246347	6630889	218	21882
5	246338	6630894	217	21782
6	246330	6630900	216	21886
7	246321	6630905	215	21703
8	246313	6630911	216	21798
9	246305	6630916	215	21587
10	246296	6630922	215	21868
11	246288	6630927	215	21941
12	246280	6630933	214	21860
13	246273	6630939	211	21839
14	246265	6630944	211	21882
15	246257	6630950	210	21762
16	246247	6630956	209	21761
17	246239	6630962	209	21768
18	246231	6630967	208	21977
19	246222	6630972	208	21810
20	246214	6630978	207	21827
21	246205	6630983	207	21749
22	246197	6630988	206	21993
23	246191	6630992	206	21916
24	246183	6630998	205	21894
25	246175	6631003	205	21494
26	246166	6631009	205	21643
27	246156	6631016	203	21826
28	246147	6631021	202	21790
29	246139	6631027	202	21714

30	246131	6631032	201	21806
31	246122	6631038	200	21875
32	246203	6630624	215	22154
33	246195	6630630	215	22036
34	246187	6630636	214	21620
35	246179	6630641	214	21768
36	246170	6630647	215	21705
37	246162	6630653	214	21772
38	246155	6630658	214	21739
39	246146	6630664	214	21842
40	246138	6630669	214	21976
41	246130	6630675	214	21929
42	246122	6630681	214	21818
43	246114	6630687	214	22124
44	246105	6630692	214	22228
45	246097	6630698	214	22214
46	246089	6630704	214	21986
47	246081	6630709	213	21711
48	246073	6630715	213	21627
49	246065	6630721	213	21767
50	246056	6630726	213	21923
51	246048	6630732	213	21806
52	246040	6630738	213	21855
53	246032	6630744	214	21808
54	246023	6630749	214	21700
55	246015	6630755	214	21538
56	246007	6630761	214	21781
57	245999	6630767	214	21847
58	245991	6630772	214	21661
59	245982	6630778	214	21877
60	245974	6630783	213	21957
61	245966	6630788	212	21705

62	245971	6630794	211	21898
63	246027	6630376	219	21971
64	246020	6630384	216	21766
65	246011	6630389	215	21841
66	246005	6630397	221	21671
67	245995	6630403	219	22002
68	245988	6630409	218	21665
69	245978	6630414	221	21806
70	245971	6630419	216	21920
71	245963	6630425	216	21664
72	245954	6630430	218	21753
73	245946	6630436	218	21970
74	245938	6630442	218	22060
75	245930	6630447	218	21653
76	245922	6630454	218	21835
77	245915	6630459	218	22084
78	245907	6630465	219	21783
79	245896	6630472	220	21957
80	245888	6630478	220	21899
81	245880	6630484	220	22144
82	245872	6630489	222	21782
83	245863	6630496	222	21743
84	245856	6630502	218	22244
85	245848	6630508	217	21364
86	245845	6630512	207	21673
87	245837	6630516	212	21474
88	245826	6630523	215	22012
89	245819	6630529	211	21616
90	245805	6630538	211	21527
91	245797	6630544	211	21696
92	245789	6630550	212	21360
93	245780	6630555	213	21724

94	245848	6630142	242	21966
95	245840	6630148	241	22076
96	245831	6630153	240	22306
97	245824	6630158	240	22004
98	245816	6630164	239	22026
99	245808	6630170	238	21594
100	245799	6630176	237	21689
101	245792	6630182	236	21951
102	245785	6630187	233	21887
103	245776	6630194	227	21570
104	245769	6630200	226	21261
105	245761	6630205	224	21542
106	245753	6630211	223	21780
107	245745	6630217	221	21720
108	245737	6630223	220	21808
109	245729	6630229	218	21690
110	245721	6630235	217	21441
111	245713	6630241	215	21637
112	245705	6630245	217	22130
113	245697	6630250	211	21600
114	245690	6630259	209	21644
115	245679	6630263	210	21721
116	245670	6630271	207	21729
117	245663	6630275	206	22017
118	245655	6630277	219	21720
119	245644	6630286	201	22019
120	245637	6630287	219	21982
121	245626	6630291	215	21835
122	245618	6630294	207	21557
123	245614	6630294	219	21768
124	245601	6630309	212	21599
125	245490	6629782	234	21748

126	245489	6629788	242	22196
127	245486	6629789	241	22006
128	245476	6629808	237	21820
129	245472	6629818	251	21835
130	245464	6629822	244	21763
131	245462	6629830	250	21778
132	245454	6629838	250	21892
133	245450	6629846	252	21669
134	245443	6629850	234	21456
135	245443	6629865	254	21893
136	245440	6629876	250	21577
137	245442	6629887	257	21553
138	245444	6629899	252	21715
139	245441	6629909	257	22489
140	245436	6629921	255	21993
141	245431	6629929	256	21818
142	245424	6629936	257	21896
143	245416	6629943	258	21723
144	245408	6629949	260	21596
145	245401	6629955	262	22096
146	245394	6629959	263	21967
147	245386	6629965	264	21876
148	245378	6629970	265	21894
149	245369	6629976	265	21747
150	245362	6629981	267	21851
151	245485	6629627	222	21777
152	245480	6629625	226	22013
153	245471	6629629	226	21963
154	245466	6629632	236	21840
155	245454	6629636	254	21709
156	245446	6629640	258	21748
157	245443	6629646	249	22061

158	245435	6629650	254	21682
159	245426	6629655	256	21860
160	245418	6629661	257	21692
161	245410	6629667	258	21829
162	245402	6629672	259	21811
163	245394	6629678	259	21733
164	245386	6629684	259	21780
165	245377	6629690	259	21559
166	245370	6629696	259	21837
167	245362	6629702	258	21971
168	245354	6629707	259	21553
169	245344	6629715	262	22057
170	245338	6629719	257	21739
171	245329	6629725	256	21849
172	245322	6629731	262	21618
173	245313	6629737	259	21661
174	245305	6629741	260	21644
175	245297	6629750	267	21721
176	245288	6629756	261	21543
177	245283	6629760	263	21704
178	245271	6629763	259	21755
179	245271	6629768	269	21480
180	245259	6629770	265	21470
181	245249	6629775	269	21761
182	245317	6629362	255	21714
183	245309	6629367	257	22081
184	245301	6629373	259	21897
185	245293	6629379	262	21811
186	245285	6629385	265	21889
187	245277	6629390	266	21768
188	245269	6629396	266	21576
189	245261	6629402	266	21654

190	245252	6629408	266	21779
191	245244	6629414	266	21834
192	245236	6629420	267	21832
193	245229	6629425	267	21701
194	245220	6629431	267	22114
195	245212	6629437	268	22340
196	245204	6629443	269	21532
197	245196	6629449	269	21895
198	245188	6629455	269	21674
199	245180	6629461	270	21606
200	245172	6629467	271	21989
201	245164	6629473	272	21701
202	245155	6629479	274	21938
203	245147	6629485	275	21820
204	245140	6629491	277	21710
205	245132	6629496	278	21634
206	245123	6629502	278	21366
207	245115	6629508	279	21324
208	245107	6629514	279	21137
209	245099	6629519	281	21141
210	245091	6629525	281	21199
211	245083	6629531	281	18190
212	245075	6629537	282	21258
213	245161	6629131	264	21942
214	245152	6629137	264	21965
215	245144	6629143	263	22042
216	245136	6629149	264	21859
217	245128	6629155	265	21662
218	245120	6629161	265	21574
219	245112	6629167	266	21716
220	245104	6629173	266	21944
221	245096	6629178	266	21944

222	245088	6629184	266	21658
223	245080	6629190	266	21583
224	245072	6629196	267	21484
225	245063	6629203	266	21713
226	245058	6629208	273	21549
227	245046	6629212	270	21814
228	245038	6629218	272	21595
229	245030	6629223	272	21690
230	245022	6629228	271	21874
231	245012	6629234	272	21628
232	245006	6629238	272	21844
233	244999	6629242	272	21699
234	244994	6629246	270	21762
235	244985	6629251	272	21312
236	244975	6629257	277	21123
237	244969	6629261	272	21136
238	244960	6629267	272	21270
239	244952	6629273	272	21957
240	244943	6629279	273	21864
241	244934	6629285	273	21818
242	244925	6629290	272	21812
243	244917	6629295	272	21662
244	245001	6628913	269	22243
245	244992	6628919	269	21917
246	244983	6628925	269	21469
247	244975	6628930	269	21811
248	244967	6628935	269	21758
249	244959	6628940	269	21730
250	244951	6628946	268	22019
251	244943	6628952	268	21492
252	244935	6628958	268	21710
253	244927	6628964	267	21668

254	244919	6628971	267	21630
255	244911	6628977	266	21777
256	244904	6628983	266	21625
257	244896	6628990	265	21729
258	244888	6628996	265	22321
259	244881	6629002	265	21655
260	244872	6629008	264	21545
261	244864	6629013	263	21546
262	244856	6629019	263	21754
263	244848	6629024	262	21152
264	244839	6629029	262	21126
265	244831	6629034	262	21231
266	244822	6629040	262	21246
267	244814	6629045	261	21618
268	244806	6629051	261	21758
269	244798	6629057	260	22000
270	244791	6629064	260	21642
271	244784	6629070	260	21536
272	244776	6629077	260	22167
273	244768	6629085	260	21966
274	244762	6629091	260	21959
275	246508	6630795	227	21723
276	246291	6631013	206	21781
277	246071	6631003	194	21976
278	246084	6630876	198	21683
279	246117	6630792	202	22074
280	246224	6630786	210	21909
281	246369	6630773	218	21799
282	246338	6630651	219	21738
283	246369	6630466	225	21599
284	246176	6630521	216	21837
285	245903	6630929	197	22034

286	245891	6630692	202	21754
287	245985	6630540	205	21875
288	246120	6630327	214	21717
289	246265	6630286	233	21977
290	246035	6630084	218	21809
291	246068	6629890	228	21754
292	245942	6629753	231	21814
293	245921	6629545	246	21814
294	245784	6629697	239	22258
295	245867	6629960	234	21953
296	245937	6630137	225	21732
297	245856	6630284	220	21898
298	245687	6630160	215	21955
299	245760	6630073	225	21456
300	245650	6629903	223	21926
301	245587	6629765	226	21704
302	245563	6629513	235	21901
303	245785	6629384	255	21763
304	245639	6629251	241	21731
305	245445	6629337	233	22017
306	245291	6629128	256	21799
307	245452	6628972	267	21797
308	245265	6628851	268	21746
309	245093	6629026	262	21619
310	245023	6628746	266	21789
311	244822	6628871	259	21882
312	244746	6629003	253	21928
313	244716	6629132	251	21865
314	244918	6629135	256	21909
315	244847	6629335	261	21799
316	245139	6629331	261	21844
317	245005	6629572	277	21847

318	244807	6629743	284	21600
319	245187	6629588	268	21600
320	245322	6629521	256	21741
321	245342	6629810	258	21704
322	245512	6630026	236	21570
323	245204	6629947	269	21833
324	244867	6630075	282	21477
325	245128	6630252	266	21983
326	245399	6630293	241	22001
327	245715	6630346	206	21852
328	245739	6630555	207	21789
329	245529	6630573	231	21702
330	245622	6630848	217	21513
331	245867	6631160	193	21664
332	246411	6630882	213	21707
333	246423	6630618	226	21890
334	246183	6630882	205	21687
335	246044	6630640	208	21694
336	246094	6630454	211	21754
337	246260	6630407	225	21629
338	246140	6630202	219	21798
339	246012	6629977	224	21963
340	245781	6629859	234	21834
341	245854	6630155	225	21793
342	245961	6630276	215	21844
343	245860	6630359	207	21901
344	245729	6629564	248	21738
345	245652	6629416	244	21783
346	245410	6629147	252	21706
347	245253	6629001	264	21978
348	245109	6628852	262	22141
349	245001	6629351	266	21583

350	245047	6629701	280	21662
351	244980	6629860	284	21954
352	245277	6630243	256	21739
353	245386	6630402	238	21855
354	245544	6630438	226	22060
355	245339	6630008	258	21970
356	245808	6630938	197	21729
357	246189	6630059	238	21891
358	246316	6630152	248	21917
359	246427	6630273	241	21809
