

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

Irakli Inachvili

**Prospecção geológica e geofísica com ênfase em formações
ferríferas na faixa meridional do Quadrilátero Ferrífero do
Supergrupo Minas Indiviso**

Dissertação de Mestrado apresentada
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: João Carlos Dourado

Rio Claro – SP
2014

Irakli Inachvili

**Prospecção geológica e geofísica com ênfase em formações
ferríferas na faixa meridional do Quadrilátero Ferrífero do
Supergrupo Minas Indiviso**

Dissertação de Mestrado apresentada 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.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. João Carlos Dourado

Prof. Dr. Antenor Zanardo

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

Rio Claro – SP

2014

551

Inachvili, Irakli

I35m

Prospecção geológica e geofísica com ênfase em
formações ferríferas na faixa meridional do Quadrilátero
Ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso / Irakli Inachvili –
Rio Claro, 2014

90 f. : il., figs., tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: João Carlos Dourado

1. Geofísica. 2. Aeromagnetometria. 3.
Aerogamaespectrometria. 4. Formações Ferríferas. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus familiares: Jorge, Marli, Ludmila e Marcella que me apoiaram e sempre me incentivaram.

Agradeço a todo pessoal da Mtransminas Minerações que me deram base e total subsídio para iniciar e finalizar esta tese de mestrado.

Agradeço ao André que me abriu as portas para a pós-graduação, pela orientação, pelas sabias ideias e grande paciência para chegarmos ao final deste trabalho.

Agradeço ao Dourado, Rosangela, Juan, Itajubá, Batata e Rafael, e todos da pela ajuda interna e externa ao longo deste trabalho.

RESUMO

Os trabalhos de pesquisa geológica ou mesmo textos acadêmicos ao longo da faixa meridional do quadrilátero ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso, deixa certa carência, para uma região ainda tão pouco explorada economicamente em relação aos depósitos de formações ferríferas que estão começando a se tornar viáveis.

O presente trabalho correlaciona anomalias magnéticas interpretadas por aerolevante geofísico (magnetometria e gamaespectrometria), com os litotipos mapeados na faixa indivisa do Super Grupo Minas, com ênfase nas formações ferríferas associadas, constituindo assim, bons horizontes guia para a prospecção geológica.

Os dados de campo coletados ao longo do reconhecimento e mapeamento geológico serviram de base para confirmação e validação das interpretações geológica e geofísica, confirmando os litotipos que geram assinaturas (anomalias) magnéticas, sendo que a região prospectada neste estudo descreve em campo uma evolução tectônica, metamórfica e estrutural distinta do quadrilátero ferrífero.

ABSTRACT

The works of geological research or academic texts along the southern range of the quadrilátero ferrífero of Minas Supergroup Indiviso leaves certain grace period for a region as yet little exploited economically in relation to deposits of iron formations that are starting to become viable.

This study correlated magnetic anomalies interpreted by geophysical aerial survey (magnetometry and gamma spectrometry) with the lithologies mapped undivided band Super Group Mines, with emphasis on iron formations associated, thus, good horizons guide to geological exploration.

Field data collected over the recognition and geological mapping were the basis for confirmation and validation of geological and geophysical interpretations, confirming rock types that generate signatures (anomalies) magnetic, and prospected in this study region describes field a tectonic evolution, metamorphic distinct structural and the quadrilátero ferrífero.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Motivação	13
1.2	Objetivos	13
2	LOCALIZAÇÃO E ASPECTO FÍSIOGRÁFICO	15
2.1	Localização e Vias de Acesso	15
2.2	Geomorfologia	17
2.3	Drenagem	18
2.4	Clima.....	19
2.5	Vegetação.....	19
2.6	Pedologia	20
3	PRINCIPAIS TEÓRIAS DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS UTILIZADOS ...	21
3.1	Magnetometria	21
3.2	Gamaespectrometria	24
4	MATÉRIAS E MÉTODOS	26
4.1	Elaboração da Base GIS e Aerolevanteamento Geofísico	26
4.2	Pesquisa Bibliográfica	26
4.3	Processamento e Interpretação da Aeromagnetometria	27
4.3.1	Processamento da Aeromagnetometria e Aerogamaespectrometria.....	27
4.3.2	Interpretação da Aeromagnetometria	29
4.4	Reconhecimento e Mapeamento Geológico	34
5	GEOLOGIA REGIONAL	36
5.1	Supergrupo Minas	37
5.1.1	Quadrilátero Ferrífero	39
5.1.2	Complexo Bonfim.....	41
5.1.2.1	<i>Gnaisses Arqueanos e Proterozóicos</i>	42
5.1.2.2	<i>Gnaisse Fernão Dias</i>	42
5.1.2.3	<i>Gnaisse Cláudio</i>	43
5.1.2.4	<i>Complexo Granito-Gnáissico Piracema-Passa Tempo</i>	43
5.1.2.5	<i>Gnaisse Candeias</i>	44

5.1.2.6	<i>Gnaiss São Tiago</i>	44
5.1.3	Sistemas de diques máficos	45
5.1.4	Suíte Ribeirão dos Motas.....	45
5.1.5	Geologia Estrutural	45
6	GEOLOGIA LOCAL	47
6.1	Geologia das formações ferríferas.....	47
6.1.1	Solo Coluvionar	50
6.1.2	Canga	50
6.1.3	Formação Ferrífera.....	51
6.1.3.1	<i>Magnetitos</i>	53
6.1.3.2	<i>Quartzito</i>	54
6.1.4	Complexo Bonfim.....	55
6.2	Geologia Estrutural	56
7	PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	58
7.1	Processamento e Interpretação dos Dados	58
7.2	Análise e Discussão dos Resultados	70
8	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXOS	78
	ANEXO A – TABELA DE PONTOS DE CONTROLE GEOLÓGICO	79
	ANEXO B – TABELA DE PONTOS DE CONTROLE ESTRUTURAL	88
	ANEXO C – MAPA GEOLÓGICO	90

ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Mapa de localização e acessos.....	16
Figura 3.1: Componentes do campo geomagnético “X” é a componente norte, “Y” é o componente leste e “Z” a vertical. O ângulo “D” é a declinação magnética: desvio da bússola em relação ao norte geográfico e a inclinação “I” é o ângulo entre a componente horizontal (“H”) e o campo total (“F”) (Modificado do livro “The Magnetic Field of the Earth-Paleomagnetism, the core, and the deep mantle” Merrill, R. T. et. al. 1998).	22
Figura 4.1: Fluxograma de correção e processamento dos dados da área 02 da CODEMIG.....	27
Figura 4.2: Porção oeste do Quadrilátero ferrífero sobre o sinal analítico - AS.	30
Figura 4.3: Interpretação das ocorrências ferríferas na porção oeste do quadrilátero ferrífero sobre o sinal analítico - AS.	31
Figura 4.4: Áreas com potencial para mineralizações ferríferas interpretadas sobre o produto do sinal analítico (AS).....	33
Figura 4.5: Áreas com potencial para mineralizações ferríferas interpretadas sobre a anomalia de potássio (K).....	33
Figura 4.6: Mapa de pontos realizados ao longo da área de estudo	35
Figura 5.1: Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero e o foco da área a ser estudada (modificado de Bizzi et. al., 2001).	37
Figura 5.2: Mapa geológico na área de estudo (CPRM Mapa Geológico ao Milionésimo).	38
Figura 5.3: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero proposta ALKIMIM; MARSHAK (1998).	40
Figura 6.1: Afloramento de Itabirito quartzoso com camadas centimétricas de magnetitito (cinza chumbo) em Jacarandira.	48
Figura 6.2: Vista da cava da Mtransminas Minerações Ltda. – Unidade Morro do Ferro, com contato brusco entre camada de Itabirito carbonático (amarelo) com magnetitito (vermelho) e rochas caulínicas (esbranquiçado).	49
Figura 6.3: Coluna Estratigráfica elaborada para a região da área de estudo.	49
Figura 6.4: Solo coluvionar com blocos magnetita compacta.	50
Figura 6.5: Solo coluvionar depositado sobre embasamento granítico caulizado.....	50
Figura 6.6: Crostas de canga "in situ".	51
Figura 6.7: Canga ferruginosa em detalhe.....	51
Figura 6.8: Detalhe da formação ferrífera friável, com bandas carbonáticas enriquecidas em magnetita grosseira friável.....	52

Figura 6.9: Formação ferrífera silicosa, compacto com foliação crenulada.	52
Figura 6.10: Detalhe da formação ferrífera silicosa com bandas de magnetita (cinza escuro) e carbonato (amarelo ocre).	53
Figura 6.11: Magnetitito com granulação grossa e cristais de habito suboctaédrico e granular (Jacarandira).	54
Figura 6.12: Camada de magnetitito compacto (Jacarandira).	54
Figura 6.13: Magnetitito friável na frente de lavra (Mineração Mtransminas Minerações Ltda).	54
Figura 6.14: Detalhe do magnetitito, muito fraturado e com vestígios de bandas carbonáticas alteradas de coloração amarela (Mineração Mtransminas Minerações Ltda).	54
Figura 6.15: Afloramento de quartzito foliado e fraturado.	55
Figura 6.16: Quartzito em detalhe.	55
Figura 6.17: Gnaisse com dobra migmatítica.	56
Figura 6.18: Afloramento de granitos-gnaisses de composição granítica a granodiorítica	56
Figura 6.19: Bandamento de gnaisse com dobras.	56
Figura 6.20: Gabro fortemente alterado em detalhe.	56
Figura 6.21: Projeção estereográfica polar de hemisfério baixo das foliações principais das formações ferríferas.	57
Figura 7.1: Imagem do campo total (CT) para o levantamento da porção meridional do quadrilátero ferrífero, destacando a área de estudo.	59
Figura 7.2: Produtos do sombreamento do sinal analítico, definindo o lineamento das estruturas magnéticas que auxiliam na visualização de descontinuidades magnéticas.	60
Figura 7.3: Derivadas do campo magnético e o sinal analítico processado para o levantamento da porção oeste do quadrilátero ferrífero.	61
Figura 7.4: Imagem do sinal analítico (AS) para o aerolevante oeste do quadrilátero ferrífero.	62
Figura 7.5: Mapa de potássio (K) e a assinatura radiométrica.	63
Figura 7.6: Imagem do sinal analítico (AS) para o levantamento regional de Morro do Ferro e Jacarandira.	64
Figura 7.7: Descontinuidades e diques máficos interpretadas na área de estudo sobre a imagem do sinal analítico.	65
Figura 7.8: Deconvolução localizada de Euler da amplitude do sinal analítico.	66
Figura 7.9: Localização dos picos da amplitude do sinal analítico.	67
Figura 7.10: Solução de Euler para a área.	68

Figura 7.11: Agrupamento das soluções nas anomalias de interesse.....	69
Figura 7.12: Espectro de potência gerado e interpretado para a área estudada.....	70
Figura 7.13: Banda carbonática com magnetita disseminada.	73
Figura 7.14: Detalhe do magnetitito, muito fraturado e com vestígios de bandas carbonáticas de coloração amarela.	73

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa mineral é responsável por descobertas de novos depósitos minerais, resultante de trabalhos de prospecção como a exploração geofísica, que nada mais é do que uma etapa inicial de prospecção de uma região com potencialidade mineira. Na exploração geológica-geofísica são reconhecidas grandes áreas, com levantamentos e seleção de regiões prioritárias que serão detalhadas durante a etapa de reconhecimento e mapeamento geológico.

A geologia regional até o presente momento destaca de forma pouco detalhada os litotipos existentes na faixa meridional do Quadrilátero Ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso, cabendo às mineradoras que investem na região realizar os trabalhos de mapeamento de detalhe, individualizando as formações ferríferas e unidades de interesse econômico, para isso os trabalhos de magnetometria tem sido um método geofísico utilizado com sucesso nos últimos anos pelas mineradoras para localizar alvos em escala regional, bem como auxiliar no detalhamento de formações ferríferas em escala local.

Os dados aeromagnéticos processados previamente neste estudo, modelaram fortes anomalias magnéticas no filtro do sinal analítico de direção NE-SW, que marcam o *trend* de ocorrência das formações ferríferas desconhecidas ainda e exploradas por poucas mineradoras. Tais anomalias magnéticas estão associadas à presença de formações ferríferas, diques máficas e intrusões máficas. Tendo como base os trabalhos de detalhe desenvolvidos pela Mtransminas Minerações Ltda. (sondagem geológica, mapeamento de detalhe e frente de lavras mapeadas), foi extrapolado o modelo geológico conhecido para toda faixa de ocorrência das anomalias magnéticas com a mesma assinatura, realizando posteriormente sobre as assinaturas magnéticas o reconhecimento e mapeamento geológico, com o intuito exclusivamente de validar as formações ferríferas com potencialidade mineira.

1.1 Motivação

A intensa demanda tanto interna quanto externa por minério de ferro faz do Brasil um país fonte neste minério, acarretando o desenvolvimento e busca por horizontes inéditos para o desenvolvimento de novas jazidas de minerais de ferro, sendo está somente possível em função dos trabalhos iniciais das pesquisas geológicas.

O avanço das pesquisas geológicas na atualidade segue junto com o avanço de novas geotecnologias, entre elas a geofísica, que possibilitou o levantamento de grandes áreas em menor tempo.

A geofísica alinhada com o conhecimento geológico mostra-se eficaz como ferramenta de pesquisa mineral, tanto nas áreas acadêmicas quanto de capital privado.

O conhecimento geológico tanto acadêmico quanto de empresas mineradoras do quadrilátero ferrífero, mostraram a anos competente e confiável, tornado alvo de grandes, médias e pequenas mineradoras que exploram por anos o minério de ferro. Tais empresas que exploram minério de ferro no quadrilátero ferrífero, buscam novas áreas para a instalações de novas minerações, o que faz da área alvo do presente estudo, um novo horizonte para as mineradoras.

O conhecimento geológico a respeito de ocorrências de formações ferríferas no na faixa meridional do Supergrupo Minas Indiviso, no entanto ainda é controverso com relação à evolução e gêneses de minério de ferro, mas este está sendo o foco de empresas mineradoras, atualmente que estão se instalando na região da área do presente estudo, para lavrarem minério de ferro de altos teores.

1.2 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo geral a prospecção de corpos de minério de ferro economicamente exploráveis. Para tal serão focados:

- O processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrômétrico do levantamento aerogeofísico, através do mapa geofísico com anomalias (assinaturas) magnéticas e de gamaespectrometria;
- Reconhecimento e mapeamento geológico das anomalias magnéticas no campo, relacionadas a formações ferríferas e rochas máficas em contraste com rochas do embasamento;
- Mapa geológico caracterizando a faixa Meridional do Quadrilátero Ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso (litotipos e estruturas) dos depósitos metálicos correlacionados com as formações ferríferas.

2 LOCALIZAÇÃO E ASPECTO FISIAGRÁFICO

2.1 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo encontra-se localizada a 170 km ao sul de Belo Horizonte, inserida na confluência dos municípios de Oliveira, Passa Tempo, Desterro de Entre Rios e São Tiago, todos no estado de Minas Gerais.

O acesso à área é feito a partir de Belo Horizonte pela Fernão Dias (BR 381), sentido São Paulo, no trevo com a BR-494 pegar estrada sentido ao município de São Tiago, onde o acesso é realizado por estradas vicinais até a área alvo do estudo (Figura 2.1).

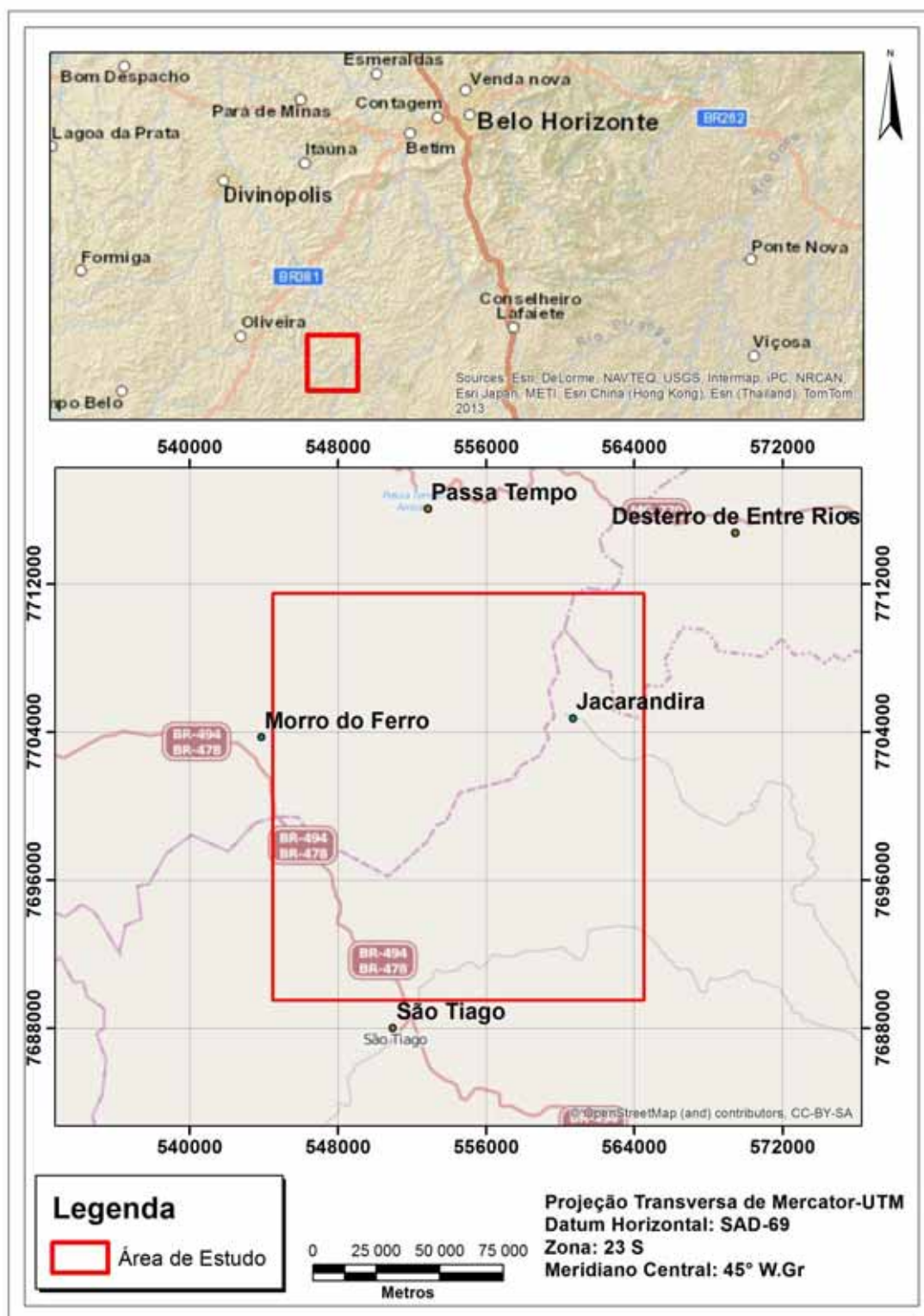


Figura 2.1: Mapa de localização e acessos.

2.2 Geomorfologia

O contexto geomorfológico da região da área estudada, segundo Gatto et al. (1.983), corresponde ao Domínio Morfoestrutural do Escudo Exposto, na Região Geomorfológica do Planalto Centro-Sul de Minas e na Unidade Geomorfológica do Planalto dos Campos das Vertentes.

A unidade Planalto dos Campos das Vertentes destaca-se como importante divisor de quatro grandes bacias hidrográficas: Rio Doce, Rio São Francisco, Rio Paraná e Rio Paraíba do Sul.

Ela representa um compartimento planáltico intensamente dissecado em formas mamelonares e cristas, resultando numa paisagem do tipo “mares de morros”. As cotas altimétricas nesta unidade variam de 400 a 1.300 metros.

A diversidade de feições do relevo permite a subdivisão da unidade Planalto dos Campos das Vertentes em dois compartimentos geomorfológicos distintos.

O primeiro, correspondendo à porção ocidental desta unidade, é caracterizado por modelados de dissecção homogênea com colinas convexo-côncavas e aprofundamento de 41 a 80 metros, delimitado por talwegues rasos. São reconhecidas também áreas de modelados de dissecção diferencial, representadas por agrupamentos de cristas, com aprofundamentos de 75 a 116 metros.

O segundo refere-se à porção oriental desta unidade, e é caracterizado por modelados de dissecção diferencial com aprofundamentos médios de 75 a 274 metros. Ocorrem também modelados de dissecção homogênea compondo-se de grandes colinas e morros de topos convexo-côncavos, frequentemente dominados por linhas de cumeada e topos aguçados. As incisões de drenagem são normalmente profundas, configurando vales em “v” encaixados.

Esta unidade do relevo destaca-se por hospedar uma densa ocupação antrópica, significativa atividade de mineração, especialmente minério de ferro, e concentração intensa de atividades relacionadas à agropecuária.

Localmente, as formas de relevo apresentam declividade entre 15 e 25%, sendo comum a proliferação de sulcos, ravinas e voçorocas, as colinas possuem vertentes convexas.

As águas que precipitam na vertente oeste escoam para o Rio Jacaré, afluente do Rio Grande, enquanto que as águas que caem na vertente leste correm para o Ribeirão Ponte Alta, afluente do Rio Pará da Bacia do Rio São Francisco.

A topografia da região é bastante acidentada, caracterizando-se por formas do tipo mares de morros. Nesta área são encontradas zonas de falhamento, que se traduzem topograficamente em depressões no terreno.

A área de estudo chega a atingir em seu interior cotas altimétricas máximas de mais de 1.320 metros no setor setentrional da área. Enquanto isto a menor cota altimétrica registrada no interior da área atinge menos de 1.120 metros, junto à margem de duas pequenas drenagens sem denominação nos mapas do IBGE (Folhas 1:50.000 de Passa Tempo, Carmópolis de Minas, Jacarandira e São Tiago), localizadas nas porções sudoeste e nordeste da área.

2.3 Drenagem

A área de pesquisa compreende um trecho do Córrego Capoeira Grande, e parte integrante do divisor de águas das bacias do Rio Paraná e do Rio São Francisco segundo IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de água (2008).

As águas que correm na vertente oeste, ou seja, o Córrego Capoeira Grande e duas pequenas drenagens são afluentes pela margem direita do Ribeirão da Batalha, que por sua vez é afluente também pela margem direita do Rio Jacaré. O Rio Jacaré segue seu curso rumo sudoeste até desaguar no Rio Grande, na Represa de Furnas. Portanto, este curto seguimento hidrográfico localizado na porção sudoeste da área estudada é integrante da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que integra a grande Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.

Já as águas que caem na vertente leste, ou seja, duas pequenas drenagens são afluentes pela margem esquerda do Ribeirão Ponte Alta, que por sua vez é afluente também pela margem esquerda do Rio Pará. O Rio Pará segue seu curso rumo noroeste até desaguar pela margem direita no Rio São Francisco. Portanto, o pequeno seguimento hidrográfico localizado na porção nordeste da

área a pesquisar é integrante da grande Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

2.4 Clima

A região de situação da área de pesquisa segundo a classificação climática de Köppen-Geiger apresenta um clima do tipo Cwb, isto é, clima mesotérmico de inverno seco e verões brandos e chuvosos. A estação seca estende-se de maio a setembro, sendo julho o mês mais seco e de menores temperaturas médias, situando-se em torno de 16,5 °C. O mês mais chuvoso é o mês de dezembro, quando chega a chover dez vezes mais que no mês de julho. Esse clima é também chamado de clima “tropical de altitude”.

Nos municípios de Passa Tempo e Oliveira, a temperatura média anual é de 19,9 °C, a média das máximas anuais é de 26,3 °C e a média das mínimas atinge 15,2 °C. A precipitação média anual nestes municípios gira em torno de 1.600 mm e o período chuvoso coincide com o período mais quente do ano.

2.5 Vegetação

Os municípios no qual está localizada a área de estudo segundo IBAMA (IBAMA 2002, in Diagnóstico Municipal – São Tiago 2004, SEBRAEMG), situam-se no domínio da floresta estacional semidecidual. A vegetação natural primitiva da região sofreu intensa e contínua ação do homem, que promoveu a sua quase completa substituição por áreas ocupadas predominantemente com pastagens naturais ou plantadas, restando apenas sob a forma secundária em estágios de regeneração que vão do inicial para médio, em sua maior parte.

O ambiente predominante da área de pesquisa é o Cerrado, embora com o passar dos anos e a ocupação antrópica na região, ele foi sendo substituído, em grande parte, por áreas de pastagens e culturas. Suas áreas remanescentes encontram-se localizadas nas encostas e topos dos morros, onde o solo é pouco espesso e apresenta pouca aptidão para a prática agrícola.

Nesta área, a formação predominante do Bioma do Cerrado e a de campo sujo de cerrado. Nesta formação tanto os arbustos como as árvores apresentam-se esparsos, sendo característicos desta formação: o Pau-santo (*Kielmeyera sp*), o Murici (*Byrsonima sp*), o Araçá (*Psidium sp*), a Sucupira (*Bowdichia sp*), a Unha-de-vaca (*Bauhinia sp*) e a Cassia (*Cassia sp*).

Em áreas de grotas, onde há um aumento gradativo da umidade, ocorre um adensamento do cerrado, ou seja, ocorre uma tendência em aumentar a diversidade de espécies. Estas áreas também são classificadas como o ponto de contato entre o cerrado e mata ciliar.

As matas ciliares apresentam maior complexidade florística e faunística, sendo mais sensíveis as modificações ambientais. Neste ambiente podem identificar-se as seguintes espécies vegetais: Aroeirinha (*Shinus sp*), Imbaúba (*Cecropia sp*), Canela (*Nectandra sp*), Jacarandá (*Machaerium sp*), Figueira (*Ficus sp*), Samambaia, Angico (*Anadenanthera sp*), etc.

No interior da área de pesquisa a vegetação é quase exclusivamente de gramíneas naturais e plantadas, tendo em vista o seu uso como pastagem para criação de bovinos.

2.6 Pedologia

Os solos observados na região de inserção da área de pesquisa, segundo Baruqui et al. (2006), estão reunidos em uma associação, classificados como tipos de Neossolos Litólicos, Argissolos e solos Hidromórficos.

Os solos oriundos do intemperismo de rochas gnáissicas dão origem a solos espessos de coloração amarelada, rosada e esbranquiçada, denominados de Neossolos que estão acometidos por intensos processos de ravinamento até evoluírem para voçorocas.

Os solos arenosos são oriundos de rochas quartzosas (quartzito), chegando a formar depósitos aluvionares e coluvionares de areia fração grossa composta predominantemente de quartzo cuja coloração varia de esbranquiçado a cinza claro.

Os solos com frações argilosas estão associados ao intemperismo de rochas máficas (ferromagnesianas) e tem como coloração vermelho escuro.

3 PRINCIPAIS TEÓRIAS DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS UTILIZADOS

De acordo com Pinheiros (2012) a grande descoberta de que o planeta Terra possui um campo magnético, ocorreu em 1600 pelo cientista William Gilbert quando este chegou à conclusão de que a Terra tem um comportamento de um grande ímã. O conhecimento virou campo de estudo, no qual é denominado de geomagnetismo ou campo magnético da Terra, sua importância variou desde a orientação para as navegações como os processos que originam este campo magnético e suas consequências para o planeta Terra.

Desde a descoberta do elemento químico urânio pelo químico Martin Klaproth, em 1789, outros pesquisadores se aprofundaram nos estudos de desenvolvimento da física atômica, nuclear e da radio química, IAEA (2003).

A descoberta da radioatividade gerou o desenvolvimento de técnicas que pudessem medir esse fenômeno. A mensuração dos fenômenos radioativos ocasionou estudos de aquisições radioativas ou espectrometria gama que rapidamente passaram a ser aplicadas amplamente na exploração mineral, IAEA (2003).

3.1 Magnetometria

O campo magnético se comporta como uma grandeza vetorial (Figura 3.1), com intensidade e direção, sendo seus componentes medidos em norte (X), leste (Y), vertical (Z) e seus ângulos de declinação magnética (D) e inclinação magnética (I), a intensidade total (F) e a componente horizontal do campo (H) que aponta para o norte magnético. A declinação magnética é o ângulo entre o norte magnético e o geográfico.

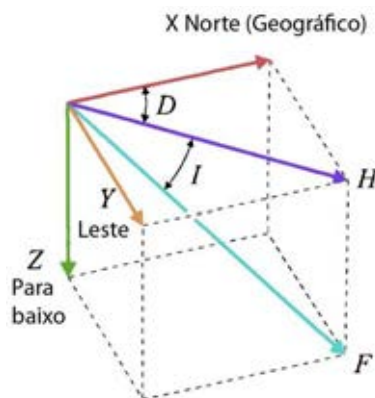


Figura 3.1: Componentes do campo geomagnético “X” é a componente norte, “Y” é o componente leste e “Z” a vertical. O ângulo “D” é a declinação magnética: desvio da bússola em relação ao norte geográfico e a inclinação “I” é o ângulo entre a componente horizontal (“H”) e o campo total (“F”) (Modificado do livro “The Magnetic Field of the Earth- Paleomagnetism, the core, and the deep mantle” Merrill, R. T. et. al. 1998).

A intensidade do campo magnético é medida em uma unidade chamada Tesla e o campo geomagnético é expresso em nano-tesla (nT) que é igual a 10^{-9} tesla. A intensidade do campo na superfície da Terra é da ordem de 70.000 nT próximo aos polos e 27.000 nT na linha do equador (BOHN, 2005).

O campo magnético pode ser observado nas rochas através da presença de minerais magnéticos na sua composição, sendo este tipo de magnetismo classificado como magnetização induzida e magnetização remanente.

A magnetização induzida é ocasionada pelo campo magnético atual da Terra, já a magnetização remanente é adquirida ao longo da história geológica e resultando em vários processos que produzem magnetização como:

- Magnetização química é um processo químico no qual ocorre a cristalização de minerais ferromagnéticos, durante a formação de rochas sedimentares e recristalização de minerais ferromagnéticos na formação de rochas metamórficas.
- Magnetização deposicional é a magnetização que ocorre na deposição de sedimentos em ambientes sedimentares.
- Magnetização isotérmica ou magnetização residual ocorre quando se aplica um campo magnético, por um breve momento, depois de retirada do campo magnético ocorre magnetismo residual que é observada por exemplo na queda de raios sobre as rochas.

- Magnetização termo-remanente é desenvolvida quando há presença de campo magnético terrestre no momento do resfriamento de rochas abaixo da temperatura de Curie.
- Magnetização piezo-remanente é o fenômeno de magnetostricção ou magnetostricção, ou seja, ação conjunta de campo magnético e pressão no qual são submetidas às rochas em esforços tectônicos.

As rochas e minerais apresentam propriedades magnéticas, segundo SÁ (2008), como diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo descritas sucintamente a seguir:

- 1) Diamagnetismo é a propriedade que ocorre em alguns minerais que adquirem magnetização de intensidade fraca e que tendem a se opor à polaridade de um campo magnético como quartzo, calcita e halita.
- 2) Paramagnetismo é a propriedade que ocorre em alguns minerais cujos átomos tendem a se alinhar com a polarização do campo indutor que mesmo sendo baixo em função de sua baixa susceptibilidade é positiva e ocorrem em olivinas, piroxênios e anfibólios.
- 3) Ferromagnetismo é a susceptibilidade magnética positiva e magnetização com forte intensidade no mesmo sentido do campo magnético. A susceptibilidade neste caso depende do campo externo e subdivide-se:
 - 3.1) Ferromagnetismo verdadeiro que está relacionado a elementos como ferro, cobalto e níquel no qual o momento magnético apresenta a mesma orientação do campo de intensidade total.
 - 3.2) Antiferromagnetismo verifica-se em minerais como hematita e troilita, apresentam momentos magnéticos não igualmente orientados com relação ao campo de intensidade total e por isso possuem uma resultante nula.
 - 3.3) Ferrimagnetismo é o grupo de minerais mais importantes para a prospecção magnética como magnetita, titanomagnetita, maghemita e pirrotita em função do momento magnético não ser igualmente orientado, mas que apresenta uma resultante.

O contraste de magnetização entre rochas com as mais variadas propriedades magnéticas, forma, profundidade e orientação se dá pelo estudo de anomalias magnéticas.

O estudo de anomalias magnéticas da ordem de milhares de quilômetros é realizado por satélites, em escala de centenas e dezenas de quilômetros os levantamentos das anomalias magnéticas são realizados por navios e aviões e que normalmente estão relacionados a estruturas geológicas, já na ordem de poucos quilômetros ou até metros os levantamentos das anomalias magnéticas são realizados por instrumentos de campo ou terrestres, apresentando melhores detalhamentos dos corpos geológicos que originam as assinaturas magnéticas.

3.2 Gamaespectrometria

O átomo de Urânio é muito grande e instável, o que ocasiona a sua desintegração. Está, por sua vez, libera energia pela emissão de partículas alfa (α), beta (β) e gama (γ) tornando o átomo menor e mais estável. A radiação gama é oriunda dos raios gama que se comportam como radiação eletromagnética e suas principais fontes de radiação são o potássio⁴⁰ (⁴⁰K), série de decaimento do urânio²³⁸ (²³⁸U) e seus produtos filhos e a série do tório²³² (²³²Th) e seus produtos filhos (Minty, 1997).

Naturalmente o urânio ocorre como os isótopos ²³⁸U e ²³⁵U ocasionando a série de decaimento radioativo, nem o urânio e o tório emitem raios gama cabendo às emissões de seus isótopos radioativos filhos necessários para estimar suas concentrações, já o potássio ocorre de forma natural e é possível estimar a quantidade total de suas concentrações (Minty, 1997).

A energia é expressa em eletrovolts (eV), sendo que os raios gama apresentam energia de 40KeV a 4MeV, frequências de 10^{19} s^{-1} a 10^{25} s^{-1} e comprimentos de onda de 10^{-11} m a 10^{-13} m . O núcleo ao emitir as partículas α e β pode permanecer num estado excitado liberando os raios gama (Grasty et al, 1985).

Os elementos K, U e Th apresentam geoquímica dos radioelementos e conseqüentemente estão associados a rochas e minerais específicos.

O elemento potássio sob condições naturais é litófilo, volátil e monovalente, encontra-se abundantemente na crosta terrestre e é constituinte de soluções hidrotermais, também é responsável por 98% da radiação gama dos

radioisótopos primários, relativamente alto em rochas félsicas (ex. granitos) quase sempre hospedados nos feldspatos potássicos e nas micas, podendo apresentar-se em concentrações muito baixa em rochas máficas e ultramáficas (Fertl, 1983).

O elemento urânio em concentrações muito baixa na crosta terrestre é um metal presente nas rochas ígneas no estado de valência U^{4+} , cujas propriedades cristaloquímicas são similares ao Th^{4+} e também aos elementos terras raras leves. O radielemento urânio não emite raios gama durante seu decaimento, cabendo ao bismuto (^{214}Bi) e o chumbo (^{214}Pb) maior quantidade de energia raios gama, conseqüentemente ocorre a necessidade ao longo do tempo para os raios gama, indicarem o conteúdo de urânio no terreno estudado, segundo Dickson; Scott (1997).

O urânio ocorre como elemento traço em minerais formadores de rochas, ocorre também em quantidades maiores em minerais como zircão, xenotima e monazita. Em termos de estabilidade somente o mineral zircão e a xenotima, durante eventos hidrotermais ou de alterações (química e física) são estáveis e quase sempre retidos em óxidos de ferro autigênico e em argilominerais, ou são reprecipitados sobre ambientes redutores podendo até ocasionar a formação de depósitos de urânio (Dickson; Sott, 1997).

O tório na crosta terrestre encontra-se em proporções de ppm (partes por milhão) a ppb (partes por bilhão) e é um elemento actínideo, com estado de valência Th^{4+} e solubilidade baixa, exceto em soluções ácidas. O tório apresenta menor dispersão geoquímica (primário e secundário), por isso pode ser usado como controle litológico, definindo valores de urânio e potássio e quase sempre estão presente em minerais acessórios como zircão, xenotima, allanita, monazita, apatita e esfeno (Dickson; Sott, 1997).

4 MATÉRIAS E MÉTODOS

4.1 Elaboração da Base GIS e Aerolevramento Geofísico

Nesta etapa do trabalho, foram utilizados com base nos dados geográficos e geológicos em formato GIS (Sistema de Informação Geográfica) e os dados brutos do aerolevamento geofísico (magnetometria e gamaespectrometria), para isso foram utilizados os seguintes *softwares* para o processamento, modelagem dos dados e confecção dos mapas de tanto de interpretações e de versões finais:

- **ArcGIS** – Version 10.1
- **Oasis montaj** – Version 7.0.1

Essa base contemplou as seguintes informações:

- I. Direitos Minerários – DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral): Foi realizada a consulta e plotagem de direitos minerários na fase inicial, além dos direitos minerários próximos que possuem bens minerais de interesse;
- II. Integração de cartas topográficas do IBGE ao milionésimo;
- III. Integração ao projeto de dados referentes às unidades geológicas e ocorrências minerais, correspondentes ao mapa geológico ao milionésimo e de detalhe (1:100.000) do CPRM (Serviço Geológico do Brasil);
- IV. Aeromagnetometria e Aerogamaespectrometria – Realizou-se nessa fase do trabalho a requisição do aerolevamento da área 2: Projeto Pitangui-São João Del Rey-Ipatinga junto a CODEMIG (Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais).

4.2 Pesquisa Bibliográfica

Realizou-se a busca de livros e artigos publicados sobre modelos de depósitos de minério de ferro e geologia regional do Quadrilátero Ferrífero e suas

porções indivisas. Este fase de levantamentos bibliográficos auxiliaram nas interpretações dos produtos gerados e familiarização a geologia do minério de ferro.

4.3 Processamento e Interpretação da Aeromagnetometria

4.3.1 Processamento da Aeromagnetometria e Aerogamaespectrometria

Foram utilizados para este trabalho os dados do aerolevantamento da área 02 da CODEMIG, devidamente processados e corrigidos pelo *software Oasis montaj*, utilizando para isso as metodologias conforme o fluxograma abaixo.

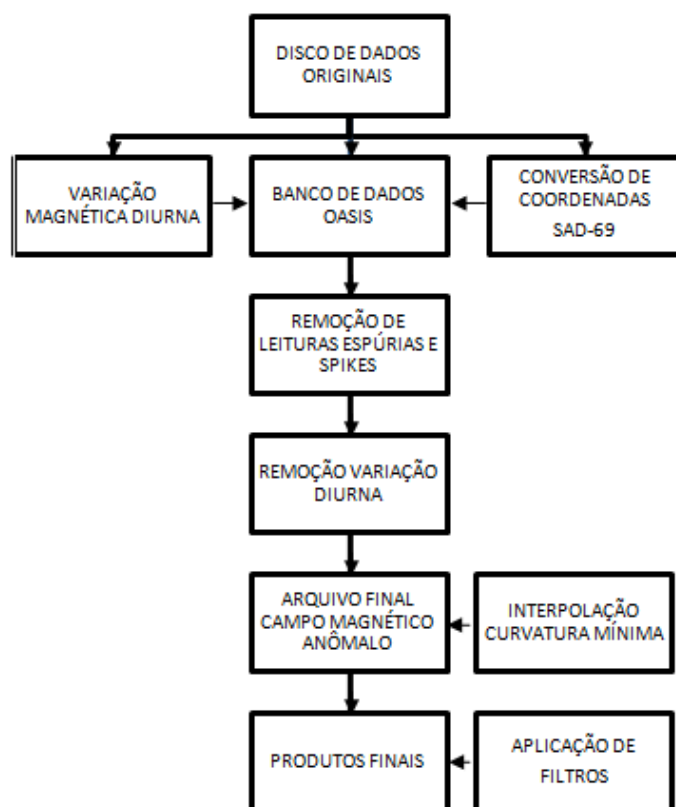


Figura 4.1: Fluxograma de correção e processamento dos dados da área 02 da CODEMIG.

Como produtos deste trabalho foram gerados as seguintes imagens:

- Interpolação da malha de levantamento utilizando-se do método de gridagem bi-direcional para o canal de campo total;

- Aplicação de filtros lineares geofísicos do tipo passa-banda de suavização e correção de nivelamento;
- Interpolação do campo total corrigido e a realização do processamento do sinal analítico para a faixa oeste do aerolevante geofísico;
- Corte dos produtos sobre a área de estudo, com o intuito de isolar as anomalias do background regional.

A partir desta etapa os dados foram filtrados, com o objetivo de realçar as anomalias magnéticas das possíveis mineralizações ferríferas na região, gerando com isso os seguintes produtos geofísicos:

- Campo magnético total (CT) – Apresenta um caráter dipolar e seu campo de medidas físicas é o campo magnético calculado nas variações da intensidade ou de suas componentes (x, y, z);
- Derivadas verticais e horizontais (DZ, DX, DY) – As derivadas do campo magnético realçam as altas frequências do sinal. O realce das altas frequências acentua os gradientes nas bordas de corpos magnéticos rasos, fornecendo informações sobre os contatos, descontinuidades e lineamentos;
- Amplitude do sinal analítico (AS) – É gerado a partir das três componentes do gradiente de medidas para o campo magnético. Consiste numa técnica eficiente para determinação de parâmetros geométricos, marcando os limites de fontes magnéticas;
- Inclinação do sinal analítico (AS) – Neste produto, as fontes magnéticas são representadas numa mesma superfície, permitindo desta forma visualizar melhor os lineamentos que correspondam às estruturas geológicas;
- Mapas espectrométricos de potássio (K);
- Estudo da profundidade da fonte magnética através da análise do espectro de potência e Deconvolução de Euler;
- Interpretação geológica e geofísica dos dados.

4.3.2 Interpretação da Aeromagnetometria

Primeiramente foi realizada a interpretação regional das ocorrências ferríferas sobre a faixa oeste da área 02 da CODEMIG, utilizado-se também do mapa geológico regional e dos produtos geofísicos gerados, foram gerados interpretações que apresentam áreas ou regiões de ocorrências de formações ferríferas (Figura 4.2 e 4.3).

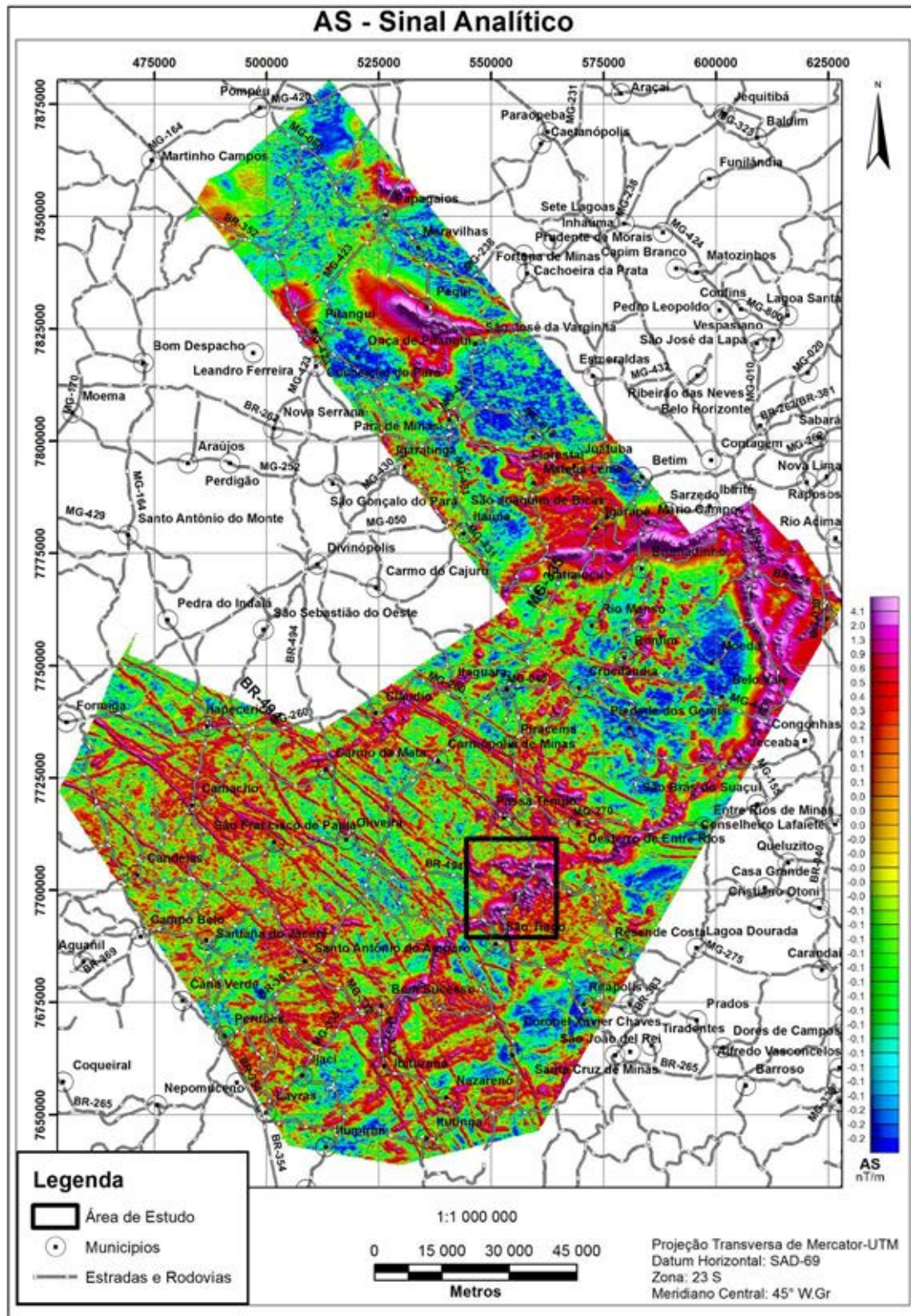


Figura 4.2: Porção oeste do Quadrilátero ferrífero sobre o sinal analítico - AS.

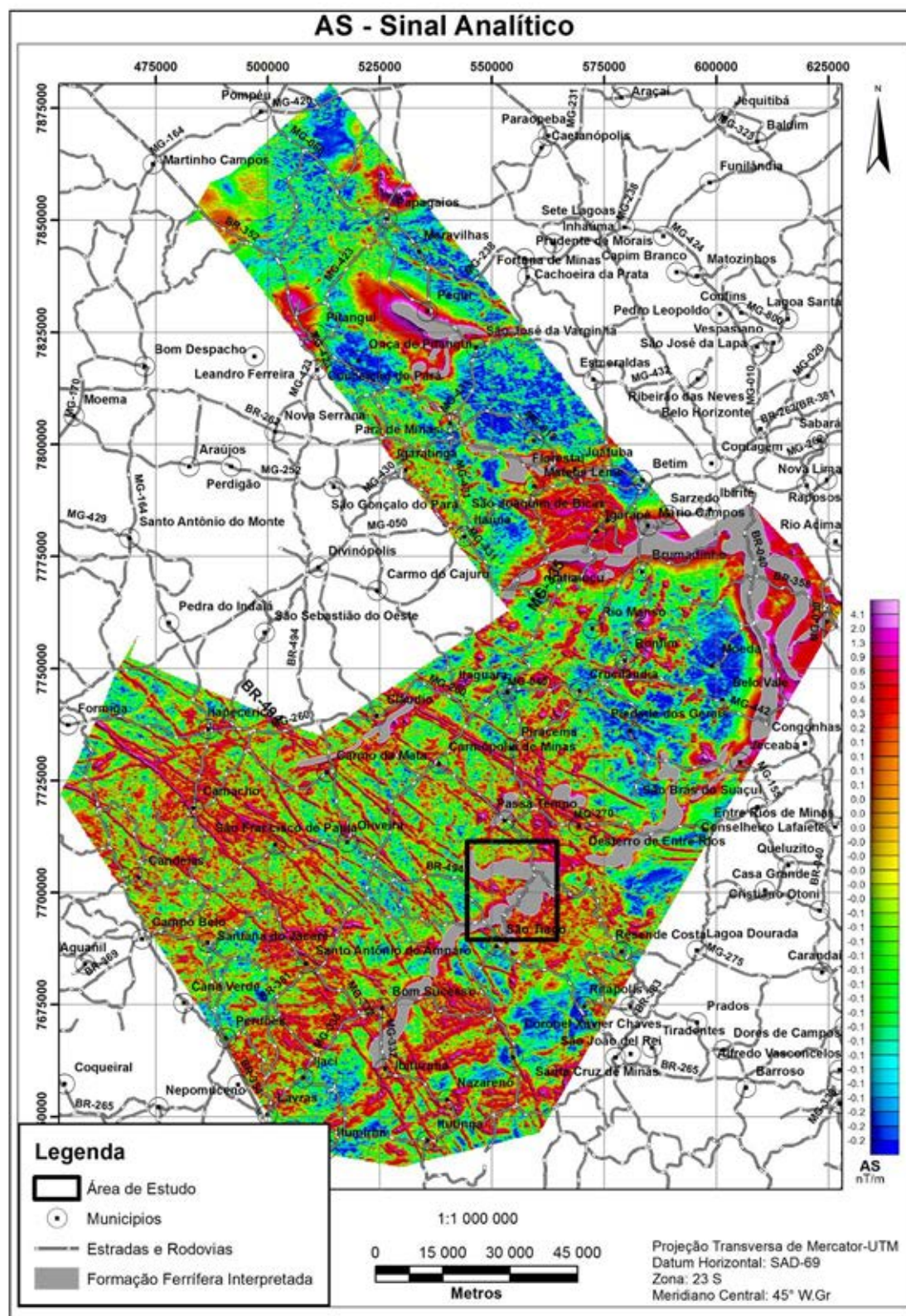


Figura 4.3: Interpretação das ocorrências ferríferas na porção oeste do quadrilátero ferrífero sobre o sinal analítico - AS.

Após a interpretação em escala regional das ocorrências de formações ferríferas, o foco principal foi dirigido para as ocorrências de mineralizações de ferro, já interpretadas nas proximidades de Morro do Ferro e Jacarandira (Figura 4.4), onde realizou-se o refinamento dos contatos, interpretação das descontinuidades, direções das camadas, mergulhos e das feições com assinaturas magnéticas.

As zonas ferríferas foram interpretadas inicialmente, servindo como guia para o posterior reconhecimento e mapeamento geológico realizado no campo, utilizando para isso os produtos de sinal analítico (AS), espectrométricos de potássio (K), inclinação do sinal analítico e profundidade das fontes magnéticas.

Para as interpretações iniciais, antes do mapeamento de campo, foram subdivididos em áreas prioritárias da seguinte maneira:

- Áreas de Prioridade 1: São áreas que apresentam um delineamento mais claro das fontes magnética no sinal analítico, campo anômalo para o potássio baixo e similares as ocorrências conhecidas de Morro do Ferro e Jacarandira;
- Áreas de Prioridade 2: São áreas que apresentam um delineamento mais claro da fonte magnética no sinal analítico, com campo anômalo de potássio variando de médio a alto;
- Áreas de Prioridade 3: São as áreas que representam expressivamente fonte magnética menor ou com geometria ovalada, aliadas a um campo anômalo de potássio variando de médio a alto.

Lineamentos magnéticos relacionados a descontinuidades foram identificados ao analisar o sinal analítico e o produto de inclinação. Esses lineamentos foram traçados e as descontinuidades utilizadas, para dividir os principais blocos de anomalias, possuem direção do *trend* e do mergulho distintos entre si.

Descontinuidades e falhas de cavalgamento são comuns na região do Morro do Ferro, sendo comum a geometria de microbacias para as ocorrências alinhadas fora do *trend* regional, que possui direção NE. Esse fato pode ser percebido ao observar as anomalias magnéticas regionalmente, onde os alinhamentos magnéticos estão rompidos e desorientados.

Nas figuras 4.4 e 4.5 é possível ver as áreas interpretadas e classificadas sobre os produtos do sinal analítico (AS) e de potássio (K).

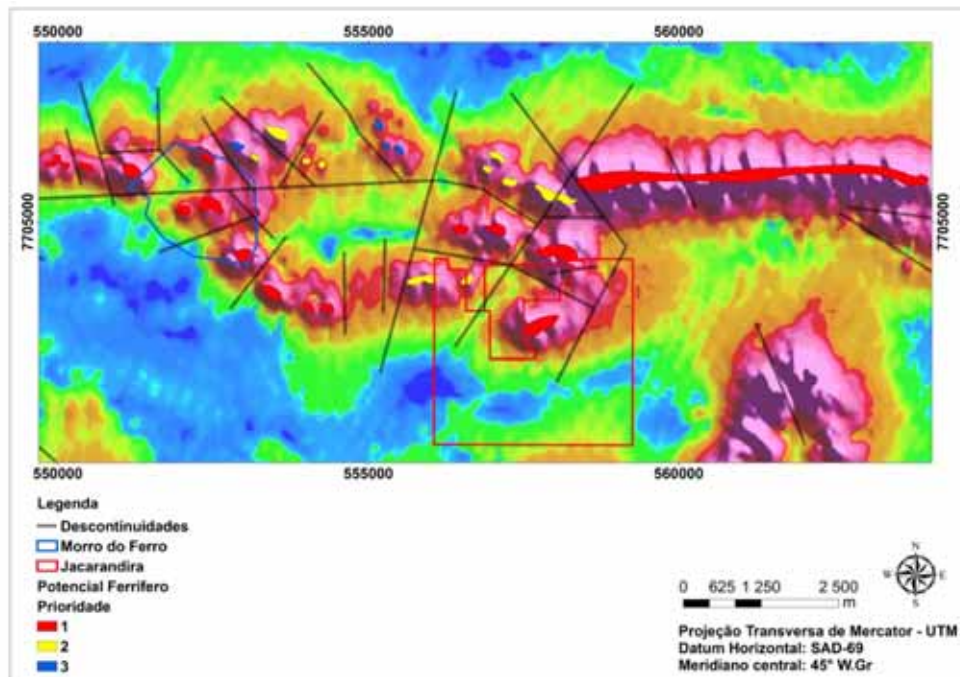


Figura 4.4: Áreas com potencial para mineralizações ferríferas interpretadas sobre o produto do sinal analítico (AS).

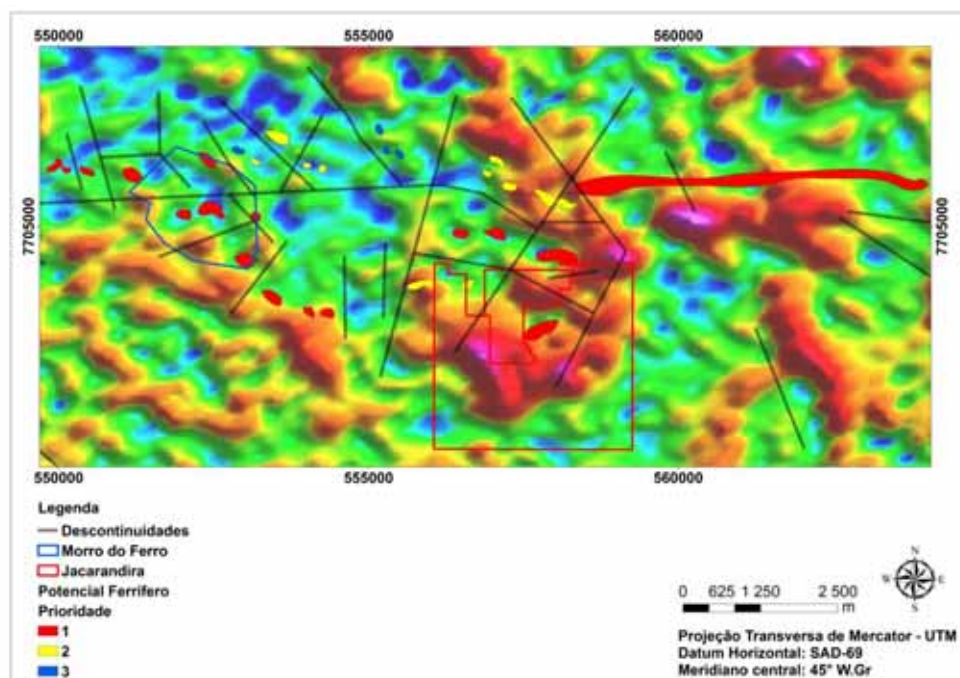


Figura 4.5: Áreas com potencial para mineralizações ferríferas interpretadas sobre a anomalia de potássio (K).

4.4 Reconhecimento e Mapeamento Geológico

O reconhecimento e mapeamento geológico foram realizados utilizando-se de afloramentos, blocos “in situ”, solos originários e/ou com indícios de formações ferríferas, sendo que o adensamento dos pontos foi definido primeiramente sobre as anomalias magnéticas interpretadas, conforme as prioridades de 1 a 3, sobre os requerimentos com alvará de lavra para minério de ferro e sobre os outros litotipos ferríferos encontrados ao longo da área de estudo.

Os dados geológicos foram devidamente georreferenciados em campo através do uso de GPS portátil, posteriormente registrados com uso de banco de dados com a observação das seguintes feições geológicas principais:

- Descrição macroscópica e tipológica de forma sucinta das formações ferríferas (mineralogia, magnetismo, tipo, intemperismo e etc.);
- Coleta de dados estruturais que controlam a mineralização (foliação, fases de deformação, bandamento, grau de fraturamento e etc.);
- Documentação fotográfica;
- Contextualização geomorfológica das formações ferríferas;
- Descrição da observação do tipo de solo sobre cada ponto mapeando;
- Descrição das rochas encaixantes.

Após os trabalhos de campo os dados foram inseridos em planilhas *Excel* (Anexo A – Tabela de Pontos de Controle Geológico) e importados para o *software ArcGis* para a geração de mapa de pontos (Figura 4.6), os dados de campo foram integrados com os dados de sensoriamento remoto e geofísica para a confecção do mapa geológico com ocorrências de formações ferríferas.

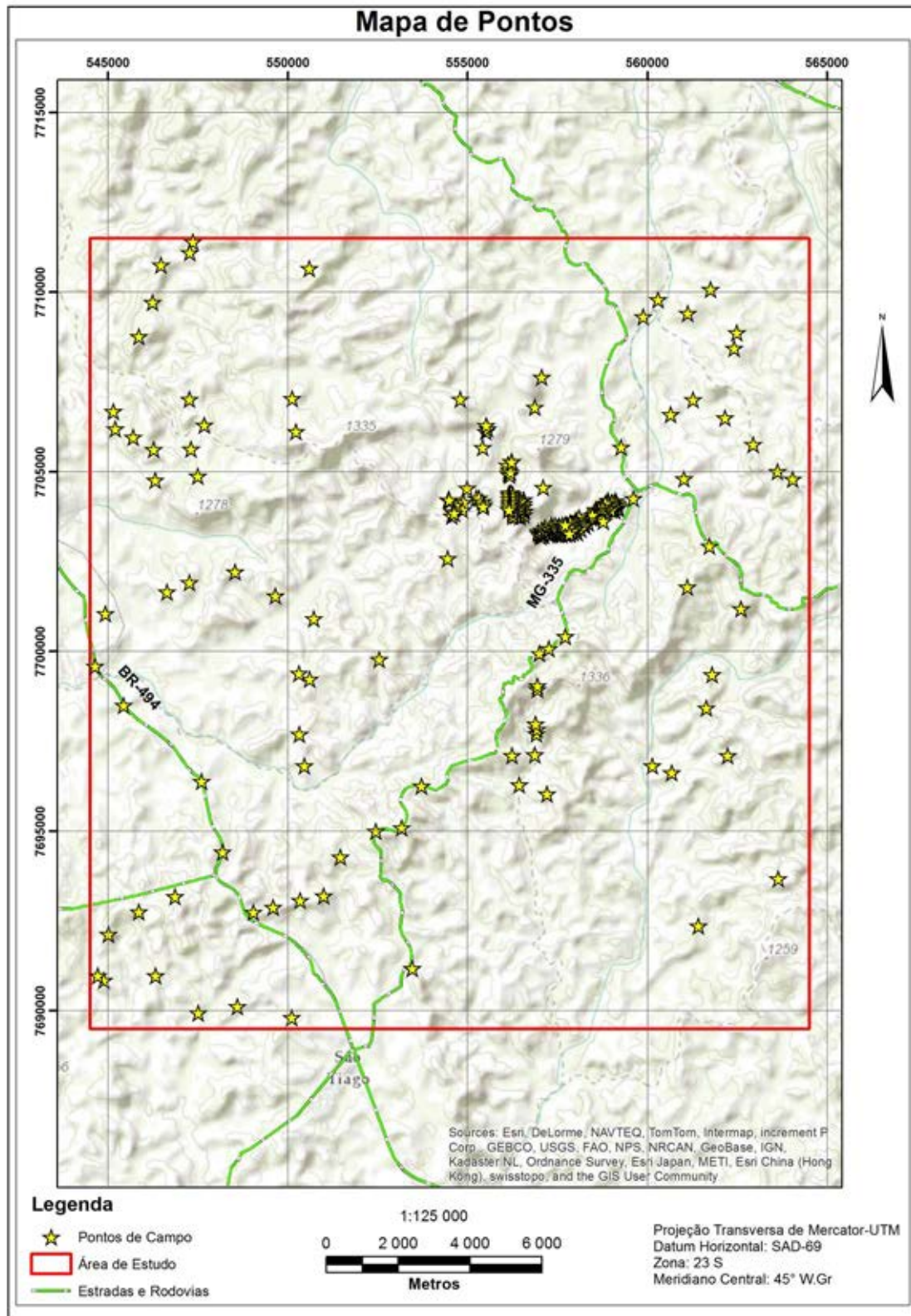


Figura 4.6: Mapa de pontos realizados ao longo da área de estudo

5 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo encontra-se localizada na porção meridional do Cráton São Francisco, componente da Plataforma Sul-Americana segundo Almeida (1977). Segundo Teixeira (1996) o cráton é discriminado em duas feições tectônicas no embasamento que são partes de um orógeno paleoproterozóico e o seu antepaís. O orógeno paleoproterozóico está fragmentado no interior do cráton, sendo uma pequena porção do seu cinturão externo preservado e exposto no extremo sul do cráton, englobando o Quadrilátero Ferrífero e adjacências, denominado de Cinturão Mineiro.

O Cinturão Mineiro segundo Teixeira (1996), está restrito a uma pequena faixa do Quadrilátero Ferrífero, e os terrenos adjacentes a sudoeste, junto ao limite do cráton, e envolve o Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Grupo Itacolomi e um complexo metamórfico basal de gnaisses e granitóides arqueanos e paleoproterozóicos.

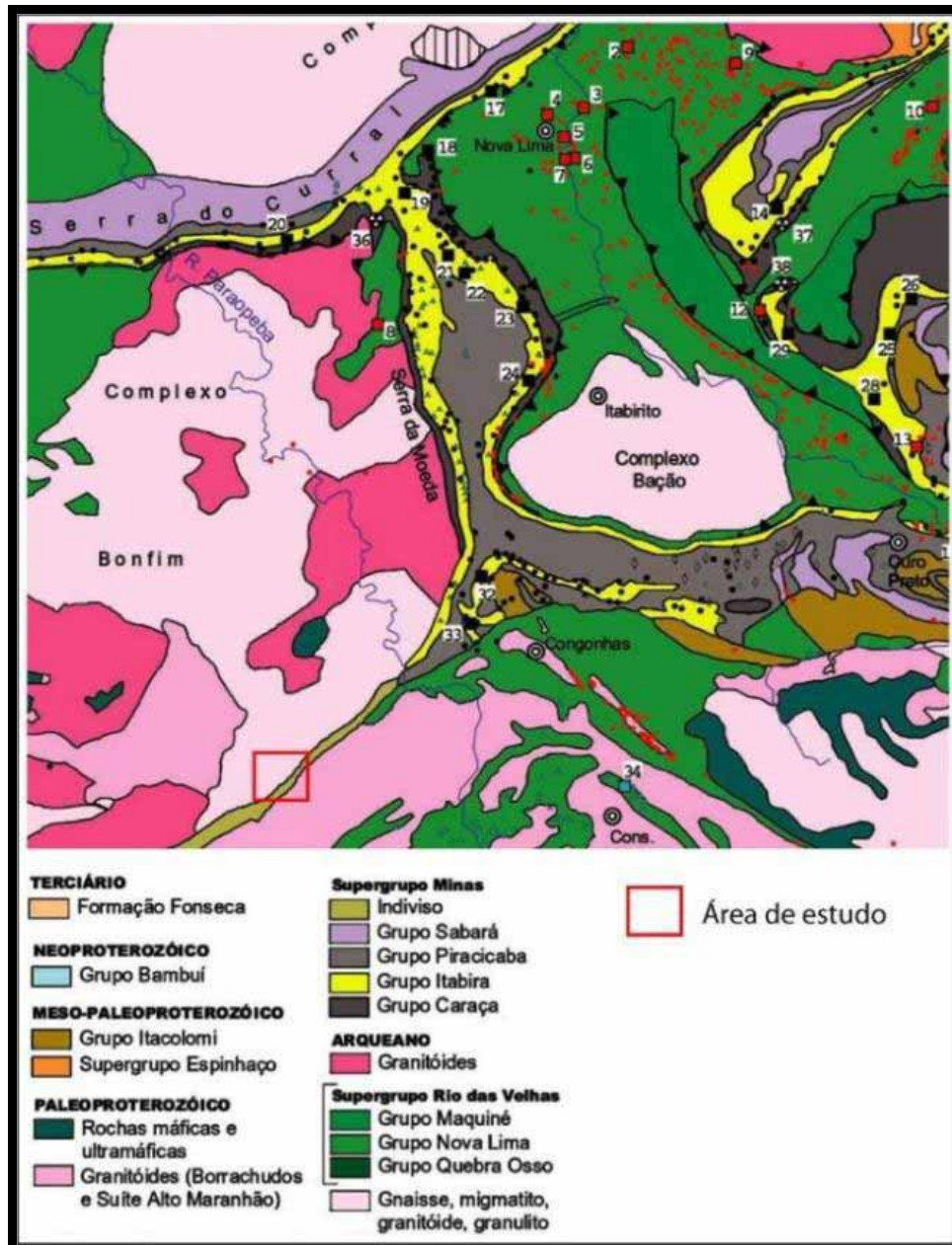


Figura 5.1: Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero e o foco da área a ser estudada (modificado de Bizzi et. al., 2001).

5.1 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas apresenta eventos tectônicos de maior soergimento ou subsidência da bacia, colocado tectonicamente sobre o complexo granito-gnássicos constituído por rochas do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero e seus arredores.

O alvo do presente estudo, encontra-se, mais precisamente na porção indivisa do Complexo Bonfim, que abrange rochas Arqueanas e Paleoproterozóicas do Supergrupo Minas, em sua porção indivisa, conforme destacado na figura 5.2.

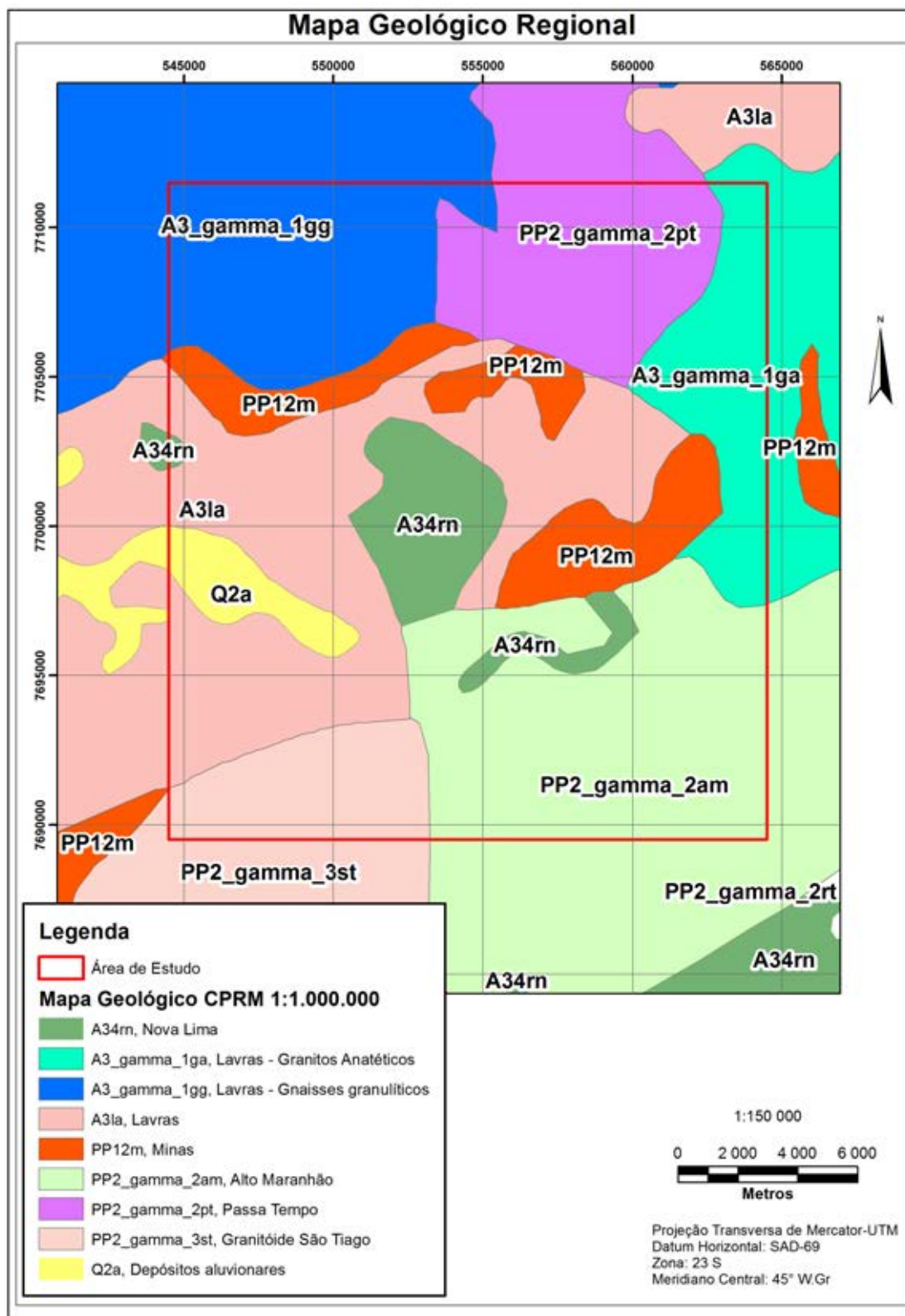


Figura 5.2: Mapa geológico na área de estudo (CPRM Mapa Geológico ao Milionésimo).

5.1.1 Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero é em termos de importância econômica uma das mais importantes províncias minerais do Brasil e do mundo, com jazidas de ferro, ouro, manganês e com uma distribuição por volta de 7.200 km² de área.

O quadrilátero é caracterizado pelo arranjo quadrangular de sinclinais onde afloram sedimentos plataformais do Supergrupo Minas, de idade Paleoproterozóica, separados por estruturas antiformais irregulares com terrenos arqueanos do tipo *greenstone* do Supergrupo Nova Lima, e domos de rochas cristalinas Arqueanas e Proterozóicas, incluindo granitos-gnaiss, metatonalitos a sienogranitos, pegmatitos, anfibolitos, ultramáficas, além de, supracrustais metamorfizadas em fácies anfibolito segundo Machado (1992).

A coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Figura 5.3) proposta por ALKMIM; MARSHAK, (1998).

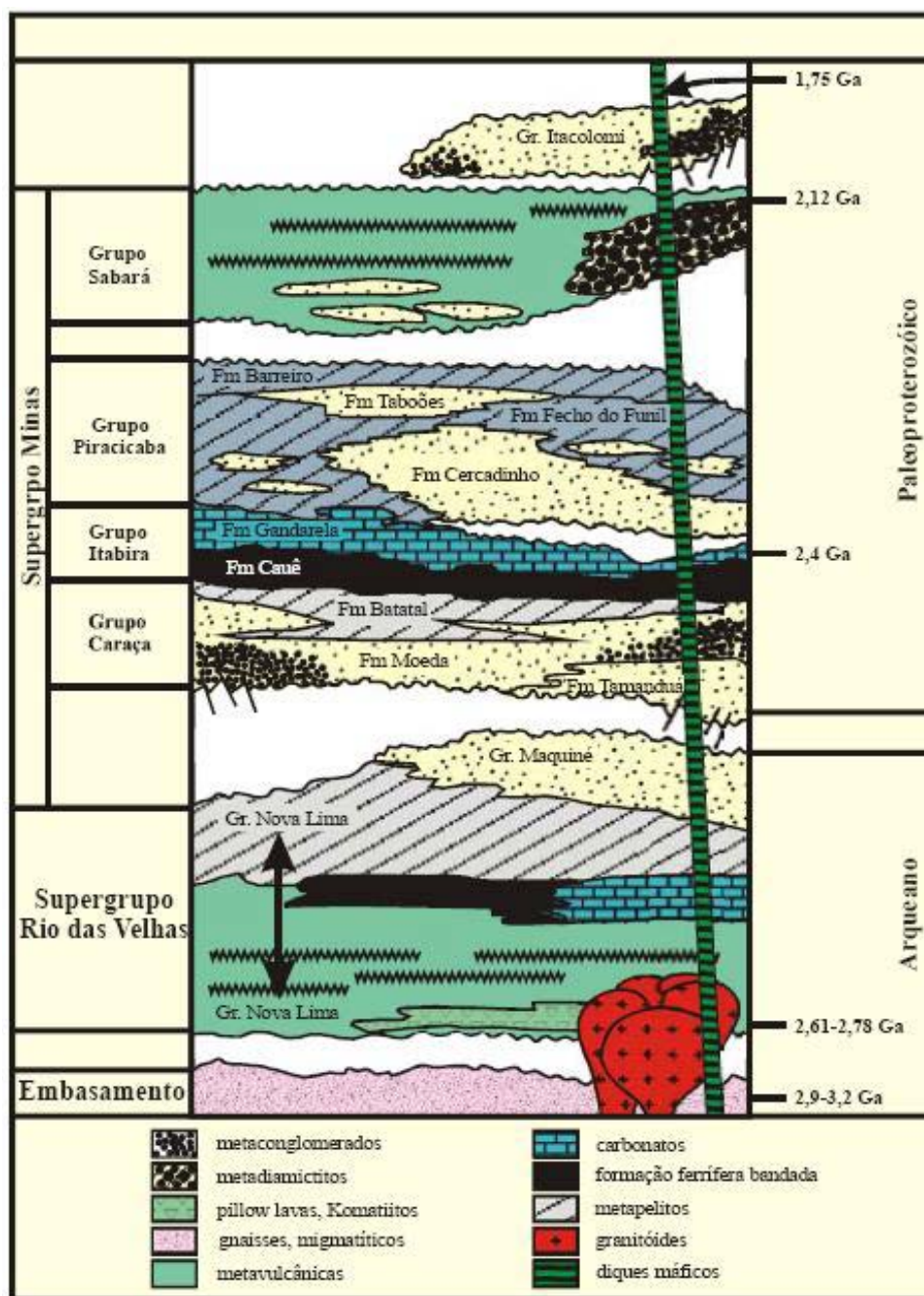


Figura 5.3: Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero proposta ALKIMIM; MARSHAK (1998).

No Quadrilátero Ferrífero, O Supergrupo Minas é formado pelos Grupo Caraça, constituído pelos conglomerados e os quartzitos da Formação Moeda, assim como os filitos sericíticos e carbonosos da Formação Batatal, cujo contato transicional se faz com os itabiritos da Formação Cauê e os dolomitos da Formação Gandarela, que ambas formações constituem o Grupo Itabira e caracterizam a instalação de uma plataforma marinha de aproximadamente 2,4 Ga segundo Babinski et al. (1993, 1995). Capeando a Formação Gandarela,

com contato erosivo ocorre o Grupo Piracicaba, formado pelas formações Fecho do Funil, Cercadinho, Taboões e Barreiro. Depositado em discordância sobre a Grupo Piracicaba aparece Sabará e sobre este também em discordância erosiva aparece o Grupo Itacolomi.

A formação Cauê é constituída por formações ferríferas do tipo Lago Superior, composta por itabirito especularítico, itabirito martítico, itabirito goethítico, itabirito dolomítico, itabirito anfíbolítico, hematita compacta e friável filito e dolomitos subordinados. Os itabiritos da Formação Cauê são geralmente preservados em posições sinformais e fortemente afetados pelos cavalgamentos e pelas zonas de cisalhamento associados ao evento Transamazônico e Brasileiro.

A Formação Gandarela foi definida por Dorr (1969) como sendo constituída de camadas de rochas carbonáticas, compostas principalmente de dolomitos e subordinadamente de itabiritos, filitos dolomíticos e filitos. A Formação Gandarela sobrepõe-se em contato gradacional e interdigitado a Formação Cauê.

Os itabiritos segundo Dorr (1969) apresentam-se compactos ou friáveis, com diferentes graus de enriquecimento dependendo da intensidade dos processos supergênicos associados à alteração laterítica. A intensa percolação da água de origem superficial provoca a lixiviação da sílica e a concentração relativa do ferro na forma de hematita residual friável e de goethita neoformada.

5.1.2 Complexo Bonfim

O Complexo Bonfim está situado a oeste do Quadrilátero Ferrífero e apresenta rochas granito-gnáissicas arqueanas e paleoproterozóicas que constituem o embasamento regional, sobre o qual foram colocados por processos tectônicos as rochas supracrustais, metassedimentares e metavulcânica, formadoras do quadrilátero.

As rochas do Complexo Bonfim apresentam composição granítica a granodiorítica e segundo Machado et al. (1992), foram submetidas ao principal evento de retrabalhamento a 2,7 Ga, caracterizado por deformações e foliações incipientes e bandamentos típicos de gnaisses

5.1.2.1 Gnaisses Arqueanos e Proterozóicos

A composição, coloração e estruturas dos litotipos gnáissicos Arqueanos e Proterozóicos puderam distinguir cinco variedades de gnaiss, denominadas de Gnaiss Fernão Dias, Gnaiss Cláudio, Complexo Granito Gnáissico Piracema Passa Tempo, Gnaiss Candeias, Gnaiss São Tiago segundo o programa de Geologia da Folha de Oliveira – CPRM 2007.

A região apresenta espesso manto de intemperismo e foi palco de sucessivos eventos tectonotermiais, ocorridos desde o Mesoarqueano até o Paleoproterozóico que geram um complexo metamórfico do Complexo Bonfim.

5.1.2.2 Gnaiss Fernão Dias

O gnaiss Fernão Dias é predominantemente constituído por rochas anisotrópicas bandadas, faneríticas, leucocráticas, com as cores variando de cinza a cinza esverdeado até rosadas, migmatizadas ou não, localmente ocorrem rochas isotrópicas com aspecto de granitoide e mobilizados e intrusões graníticas.

As granulações variam de fina a média nos gnaiss cinza esverdeados e rosados, as bandas félsicas são compostas por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, as bandas máficas são compostas por biotita, hornblenda e piroxênio. As rochas isotrópicas de cor predominante cinza apresenta granulação fina à média e constituída por quartzo, feldspato potássico, piroxênio, biotita e hornblenda.

De forma intrusiva ocorrem diques máficos do Sistema Lençóis e litotipos máficos e ultramáficos da Suíte Ribeirão dos Motas.

A alteração dos litotipos do Gnaiss Fernão Dias produzem solos de cor avermelhado claro.

5.1.2.3 Gnaiss Cláudio

O Gnaiss Claudio representa uma unidade predominantemente de rochas anisotrópicas, faneríticas, leuco a mesocráticas, de cor cinza e granulação fina a grossa. Podem ocorrer porções isotrópicas com aparência de granitoide que localmente podem estar cisalhados.

As rochas anisotrópicas apresentam bandas máficas e félsicas, sendo as bandas máficas de espessura milimétrica a centimétrica e granulação fina a média, compostas por biotita, piroxênio e anfibólio, já as bandas félsicas apresentam espessura centimétrica a milimétrica e granulação fina a média, cuja mineralogia principal é quartzo, feldspato potássico e plagioclásio.

Podem ocorrer textura mais grossa principalmente de fenocristais de feldspato potássico destacando características de textura pegmatóide, e litotipos mais diferenciados, do ponto de vista da composição mineralógica, podem ocorrer também como de rochas melanocráticas, faneríticas, de cor verde escuro, densas, ricas em porfiroblastos de granada. Estas rochas tem tendência de aflorar nas imediações das rochas metaultramáficas da sequência acamadada Ribeirão dos Motas ou do Supergrupo Rio das Velhas.

Podem ser encontradas entremeio ao Gnaiss Cláudio rochas miloníticas com granada, ortopiroxênio, hornblenda, quartzo e magnetita, e em alguns locais oriundos do cisalhamento litotipos milonitizados de granulação fina a média, com bandamento variável, comumente muito alterados e constituídos por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e anfibólio.

5.1.2.4 Complexo Granito-Gnáissico Piracema-Passa Tempo

O Complexo Granito Gnáissico Piracema Passa Tempo é um conjunto de granitos deformados e gnaisses leucocrático, com cores variando de branco ao esverdeado, granulação de fina a média e estrutura maciça a foliada.

Possuem composição granítica a granodiorítica e porções de biotita gnaiss bandado tipo TTG. Podem ocorrer eventualmente rochas compostas por biotita, granada, piroxênio e anfibólio.

5.1.2.5 Gnaiss Candeias

Os Gnaisses Candeias apresentam-se anisotrópicos de cor esverdeadas, granulação média a grossa, migmatizados com neossomas charnockíticos esverdeados de granulação grossa e aspecto isotrópico. A composição varia de granodiorítica a granítica e são constituídos, essencialmente por plagioclásio antiperfítico, quartzo, microclínio, hiperstênio, anfibólio e biotita.

Os Gnaisses Candeias quando alterados produzem solos avermelhados, diferindo das demais unidades gnáissicas, semelhante aos diques máficos e rochas da Suíte Ribeirão dos Motas.

Existem várias ocorrências da Suíte Ribeirão dos Motas entremeio ao Gnaiss Candeia. A Suíte Ribeirão dos Motas ocorre como encraves e meta encraves nos gnaisses Candeias.

5.1.2.6 Gnaiss São Tiago

Os Gnaisses São Tiago são representados predominantemente por rochas anisotrópicas, faneríticas, leuco a mesocráticas de cor cinza e granulação variando fina a grossa. As rochas isotrópicas com aparência de granitoide podem ocorrer cisalhadas, faneríticas, de cor cinza, granulação fina a média e constituída por plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita e anfibólio. Já as rochas anisotrópicas são caracterizadas por bandas máficas e félsicas. As bandas máficas possuem espessuras milimétrica a centimétrica, granulação fina a média e são compostas por biotita, piroxênio e anfibólio. Já as bandas félsicas possuem espessuras centimétricas a milimétricas, granulação fina a média e são compostas por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio.

Intrusivos nos Gnaisses Cláudio ocorrem diques máficos do Sistema Lençóis e também a presença de corpos da Suíte Ribeirão dos Motas.

As alterações dos litotipos do Gnaiss Cláudio produzem solo avermelhado claro.

5.1.3 Sistemas de diques máficos

Ocorrem enxames de diques máficos que compreendem respectivamente, dois sistemas máficos fissurais, sendo o mais significativo em nível de ocorrência o que apresenta orientação principal NW-SE e é denominado de Sistema Lençóis. O outro enxame de dique está correlacionado na direção NE-SW e é denominado de Sistema Timboré.

Os litotipos dos diques máficos afloram como matacões melanocráticos arredondados, podem ocorrer como encraves nas rochas encaixantes, com variação do tamanho de centímetro até quilômetros, dependendo da espessura do dique.

Os diques quando alterados originam solos avermelhado de cor intenso, similar ao solo das rochas da Suíte Ribeirão dos Motas.

5.1.4 Suíte Ribeirão dos Motas

A suíte Ribeirão dos Motas é composta por sequência de rochas máficas e ultramáfica, texturas cumulativas como ortocúmulos, adcumulática e etc., predominantemente deformadas e metamorfisadas na fácies granulito, que se classificam como metaperidotito contendo espinélio, meta olivina piroxenito com espinélio, metapiroxenito com espinélio, metapiroxenito, meta piroxênio hornblendito, metagabro e metagabronorito.

5.1.5 Geologia Estrutural

No contexto geodinâmico, segundo Endo (1997) o quadrilátero ferrífero encontra-se inserido na borda meridional do antepaís brasileiro, o Cráton São Francisco. O Cráton do São Francisco é formado por porções arqueanas de diferentes idades, retrabalhado em variado grau por eventos paleoproterozóicos. Cinturões paleoproterozóicos que amalgamam os blocos mais antigos rochas juvenis. Esta unidade tectônica é delimitada por erógenos

neoproterozóicos (Brasiliano) com transporte tectônico centrípetos sobre o cráton.

Regionalmente o arcabouço estrutural do quadrilátero ferrífero é marcado por megadobras sinformes e antiformes, truncadas por falhas de empurrão de direção N-S na sua porção oriental. Seus limites são estabelecidos pelo homoclinal da Serra do Curral e sinclinais Dom Bosco, Moeda e Santa Rita. Na porção ocidental ocorrem cinturões de dobras e falhas de direção NE-SW com vergência para NW que são atribuídos ao ciclo Transamazônico, ainda nesta porção dobras e falhas de empurrão de direção NW-SE são atribuídas a uma tectônica Arqueana (Endo, 1997).

A área do estudo está localizada no extremo sudoeste do quadrilátero ferrífero, em uma porção indiviso do Grupo Minas de direção NE. Os granitos e gnaisses encontrados na região apresentam estruturação discordante da estruturação regional (direção aproximada NW). É possível identificar nas estruturas um forte controle estrutural marcado por falhamentos e descontinuidades de direção aproximada NE-SW, associados provavelmente ao cavalgamento das formações ferríferas sobre o embasamento.

6 GEOLOGIA LOCAL

Os trabalhos de campo inicialmente foram realizados nas dependências da Mineração de Morro do Ferro, que atualmente já se encontra em fase de lavra, onde foi recolhido o máximo de dados e informações que se estenderam para a criação da assinatura geofísica e interpretação das ocorrências ferríferas.

Na porção leste da Lavra de Morro do Ferro ocorre o *trend* de anomalias magnéticas da aeromagnetometria. Nesta região foram mapeadas ocorrências ferríferas, cujo projeto foi denominado de Jacarandira. Neste os litotipos predominantes, correlação stratigráfica, estrutural das mineralizações e rochas encaixantes, apresentaram padrões idênticos ao contexto geológico da mineração Morro do Ferro.

Outros litotipos ocorreram ao longo da área de estudo sobre as anomalias magnéticas, relacionados a formações ferríferas e também a rochas máficas, contrastando com as rochas do embasamento.

6.1 Geologia das formações ferríferas

Durante os trabalhos foram mapeados e identificados granitos, gnaisses foliados e deformados, camadas de magnetititos e camadas de itabiritos friáveis e semi-friáveis, que ocorrem principalmente nos flancos leste e norte do Morro do Ferro e dos flancos sul e norte da serra de Jacarandira.

O Morro do Ferro e Jacarandira são marcados por rochas de granulometria grossa (essa granulometria é atribuída à recristalização, indicando um grau de metamorfismo variando de médio a alto) contendo muita magnetita. Ocorre também bandas de magnetitito intercaladas com itabiritos carbonáticos e silicosos.



Figura 6.1: Afloramento de Itabirito quartzoso com camadas centimétricas de magnetitito (cinza chumbo) em Jacarandira.

Os itabiritos carbonáticos são mais persistentes e predominantes, gerando por alteração uma rocha de coloração ocre com bandas centimétricas de magnetita (Figura 6.2). O contato entre as camadas de magnetitito e itabirito é em geral brusco, ocorrendo por vezes uma rocha de distribuição irregular e coloração esbranquiçada, fortemente intemperizada e de composição caulínica, com textura isotrópica e cristais grossos de magnetita isolados ou formando pequenos agregados (magnetitito) disseminados. Desta forma, os magnetititos podem ter sido originados por processos tectono-metamórficos e estão associados a padrão estrutural complexo, caracterizado por dobras com as charneiras e/ou flancos rompidos, formando uma geometria de "bengala", que indicam cavalgamento da sequência (forte deformação não coaxial).

A evolução tectono-metamórfica em fácies anfíbolito possibilitou a mobilização de material anatético e a percolação de fluídos meteóricos.



Figura 6.2: Vista da cava da Mtransminas Minerações Ltda. – Unidade Morro do Ferro, com contato brusco entre camada de Itabirito carbonático (amarelo) com magnetitito (vermelho) e rochas cauliniticas (esbranquiçado).

A seguir as unidades mapeadas (Anexo C: Mapa Geológico) serão descritas no topo para a base conforme a coluna estratigráfica elaborada para a área de estudo (Figura 6.3).

Unidade	Simbologia adotada	Descrição das Unidades Mapeada
Quaternário		Solo Coluvionar: Solo de coloração vermelha contendo fragmentos milimétricos a centimétricos magnetita e canga.
		Canga: Conglomerado arenoso contendo fragmentos e blocos de itabirito e magnetito.
Formação Ferrífera		Formação Ferrífera: Formação ferrífera compacta a friável com alternância de bandas carbonáticas e silicosas com a ocorrência de níveis de magnetita compacta (magnetito), podendo ocorrer injeções de fluido (em azul) no contato das bandas de magnetito (em vermelho). Quartzitos foliados e fraturados estão em contato com as formações ferríferas.
Complexo Bonfim		Granitos e Gnaisses: Composição granítica a granodiorítica variando de pouco a muito deformados, possuindo por vezes forte bandamento gnáissico e presença de rochas máficas como gabro e diques.

Figura 6.3: Coluna Estratigráfica elaborada para a região da área de estudo.

A seguir as unidades mapeadas na área de estudo:

6.1.1 Solo Coluvionar

O solo coluvionar ocorre associado às sequencias ferríferas e suas encaixantes, matriz argilo-arenoso de coloração vermelho, alto magnetismo associado a grãos muito finos de magnetita. Encontra-se mal selecionado com blocos e fragmentos centimétricos de magnetita e formações ferríferas (Figura 6.4 e 6.5).

Este solo é responsável por formar um capeamento tanto nos morros, serras encostas e sopé das encostas.



Figura 6.4: Solo coluvionar com blocos magnetita compacta.



Figura 6.5: Solo coluvionar depositado sobre embasamento granítico caulizado.

6.1.2 Canga

Na área também foi identificado canga ferruginosa (Figura 6.6 e 6.7) aflorando principalmente nos topos e nos altos das encostas dos morros, principalmente onde ocorrem formações ferríferas e magnetitito. Encontram se na forma de pequenos lajeados de material constituído por blocos cimentados por solo ferruginoso.



Figura 6.6: Crostas de canga "in situ".



Figura 6.7: Canga ferruginosa em detalhe.

6.1.3 Formação Ferrífera

As ocorrências ferríferas estão situadas geologicamente dentro do Supergrupo Minas, englobando ocorrências de quartzitos, quartzitos ferruginosos, formações ferríferas bandadas, xistos, filitos, itabiritos, carbonatos entre outros, tectonicamente presente sobre o embasamento, neste caso, constituído por granito e gnaisses do Complexo Bonfim.

O Supergrupo Minas está sobreposto em aparente concordância às rochas do Supergrupo Rio das Velhas. O Supergrupo Rio das Velhas é atribuído ao Arqueano e o Supergrupo Minas ao Paleoproterozóico e é dividido em quatro grupos, da base para o topo: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará.

O Grupo Itabira abrange uma sequência de metassedimentos químicos do Supergrupo Minas sendo dividido nas Formações Cauê e Gandarela. A Formação Cauê é a unidade que hospeda os depósitos de minério de ferro no quadrilátero ferrífero. Sobrepondo-se a esta formação encontra-se a Formação Gandarela, sendo constituída por rochas carbonáticas de composição predominantemente dolomítica.

Na área do Morro do Ferro e Jacarandira ocorrem formações ferríferas intercaladas com camadas de magnetitito, fato presenciado somente nas regiões tidas como indivisa no Supergrupo Minas, podendo as mesmas serem correlatas à Formação Cauê.

Na área ocorrem camadas de formações ferríferas bandada e quartzosos com bandas variando de decimétricas a métricas, intercaladas com bandas de magnetitito maciço (Figura 6.8 e 6.9).

As formações ferríferas de uma maneira geral variam de friáveis a compacta, apresentam granulometria grossa e inequigranular, contendo bandas com concentração de magnetita. São marcados por possuir um bandamento composicional centimétrico, que está crenulado e possui uma foliação S1 disposta paralelamente ao bandamento tectono-metamórfico e/ou deposicional (S0?) As formações ferríferas bandada ou Itabiritos do tipo carbonático possuem coloração amarelo ocre, quando alterados, estando intercalados com bandas de hematita de coloração cinza escuros, podendo ocorrer bandas quartzosas e veios de quartzo preenchendo o bandamento. As camadas possuem espessuras que variam de 4 a 10 metros, sendo que normalmente são mais carbonáticas na base da camada.



Figura 6.8: Detalhe da formação ferrífera friável, com bandas carbonáticas enriquecidas em magnetita grosseira friável.



Figura 6.9: Formação ferrífera silicosa, compacto com foliação crenulada.

Os itabiritos silicosos ou formação ferrífera silicosa apresentam geralmente bandas menores (decimétricas), possuem coloração variando de cinza claro a amarelo claro, podem ser friáveis ou compactos, a granulometria varia de média a grossa e intercalados com bandas de magnetita centimétricas, podendo ocorrer também pequenas bandas carbonáticas de coloração amarelo ocre (Figura 6.10).



Figura 6.10: Detalhe da formação ferrífera silicosa com bandas de magnetita (cinza escuro) e carbonato (amarelo ocre).

6.1.3.1 Magnetititos

As camadas de magnetititos ocorrem intercaladas com as formações ferríferas, sugerindo um bandamento composicional que pode ter tido contribuição de um evento hidrotermal ou mais provavelmente tectono-metamórfico, para o enriquecimento destas bandas. Em campo, devido a pouca quantidade de afloramentos, os magnetititos foram mapeados como lentes ou camadas descontínuas.

Os magnetititos em Morro do Ferro possuem normalmente espessura que varia de 0,5m a 3m com direção preferencial para N30W/30NE, em Jacarandira os magnetititos possuem normalmente espessura que varia de 0,5m a 1,5m com direção preferencial para NNE/50SE. Por vezes, mega budans de magnetitito são encontrados, sendo que estes podem possuir comprimento na ordem de 150 metros com espessuras que atingem até 15 metros, este tipo de ocorrência foi vista na mineração morro do ferro e na serra do segredo.

O magnetitito tanto em Morro do Ferro quanto Jacarandira e demais afloramentos mapeados ao longo da área de estudo, possuem coloração cinza chumbo (Figura 6.11), granulometria grossa com cristais bem formados, apresenta-se fraturados com direção perpendicular ao bandamento da unidade

das formações ferríferas (Figura 6.12). O fraturamento restringe-se somente aos magnetitos, indicando a maior competência desta rocha e a sua formação antes do final dos processos tectônicos. É possível identificar ainda em alguns pontos um bandamento reliquiar nos magnetitos, marcado por camadas de carbonatos centimétricos (Figura 6.13 e Figura 6.14).



Figura 6.11: Magnetitito com granulação grossa e cristais de habito suboctaédrico e granular (Jacarandira).



Figura 6.12: Camada de magnetitito compacto (Jacarandira).



Figura 6.13: Magnetitito friável na frente de lavra (Mineração Mtransminas Minerações Ltda).



Figura 6.14: Detalhe do magnetitito, muito fraturado e com vestígios de bandas carbonáticas alteradas de coloração amarela (Mineração Mtransminas Minerações Ltda).

6.1.3.2 Quartzito

Os quartzitos apresentam-se como rochas claras sempre associadas com formações ferríferas e magnetititos. Apresenta foliação, sempre muito fraturado, variando de compacto a friável, cuja mineralogia predominantemente é de quartzo, variando de médio a grosso, podendo ocorrer também variação para quartzito ferruginoso (Figura 6.15 e 6.16).



Figura 6.15: Afloramento de quartzito foliado e fraturado.

Figura 6.16: Quartzito em detalhe.

6.1.4 Complexo Bonfim

As rochas do Complexo Bonfim que constituem o embasamento da região, litologicamente são constituídas por granitos, gnaisses e gabros.

Os gnaisses apresentam estruturas em migmatitos (Figura 6.17) como schollen ou em placas, estromatítica ou acamadada, dobras, nebulítica, schlieren. A mineralogia predominante é de quartzo, feldspato e plagioclásio nas bandas leucossoma e biotita e anfibólio podendo ocorrer piroxênio também nas bandas melanossoma.

Os gnaisses graníticos de composição granítica a granodiorítica (Figura 6.18) em algumas localidades ocorrem bastante deformados com um forte bandamento gnáissico, mineralogia de quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita (Figura 6.19). As foliações desses granitos e gnaisses apresentam grandes variações no mergulho, não sendo possível determinar uma atitude média para eles, este fato se dá devido a forte deformação existente na área e pelo grande número de falhas que cortam o embasamento.

Ocorrem enclaves de magnetita compacta e recristalizado nas bandas leucossoma do gnaisse.

O gabro representa-se intrusivo no gnaisse granítico ou como enclaves, com mineralogia predominante de plagioclásio envolvendo minerais máficos como anfibólio e piroxênio, as alterações dos minerais máficos dão origem a solos argilosos de coloração vermelho intenso (Figura 6.20).



Figura 6.17: Gnaiss com dobra migmatítica.



Figura 6.18: Afloramento de granitos-gnaisses de composição granítica a granodiorítica



Figura 6.19: Bandamento de gnaiss com dobras.



Figura 6.20: Gabro fortemente alterado em detalhe.

6.2 Geologia Estrutural

A área do estudo está localizada no extremo sudoeste do quadrilátero ferrífero, em uma porção indivisa do Supergrupo Minas de direção principal NE. Os gnaisses e granitos encontrados na região apresentam estruturação discordante da estruturação regional de direção aproximada NW.

As foliações presentes nos magnetitos e itabiritos em Morro do Ferro, Jacarandira e demais afloramentos, relacionados às formações ferríferas (Figura 6.21), apresentaram duas direções preferenciais ambas com *trend* para NE/SW e com mergulhos variando entre 30 a 40 graus. A principal com tendência para NE e com mergulhos de 50 graus em média para SE. (Anexo B: Tabela de Pontos de Controle Estrutural).

As estruturas observadas são de caráter dúctil e representadas pela foliação com *trend* regional com orientações preferenciais para NE, associados ao

cavalgamento das formações ferríferas e magnetitas sobre o embasamento, assim como também ocorrem à presença de dobras de caráter local.

Tendo em vista, portanto, essas estruturas regionais e seus comportamentos peculiares em relação às litologias onde estão presentes, são possíveis à construção de domínios estruturais específicos com tendências a fases distintas de deformação relacionadas à evolução estrutural.

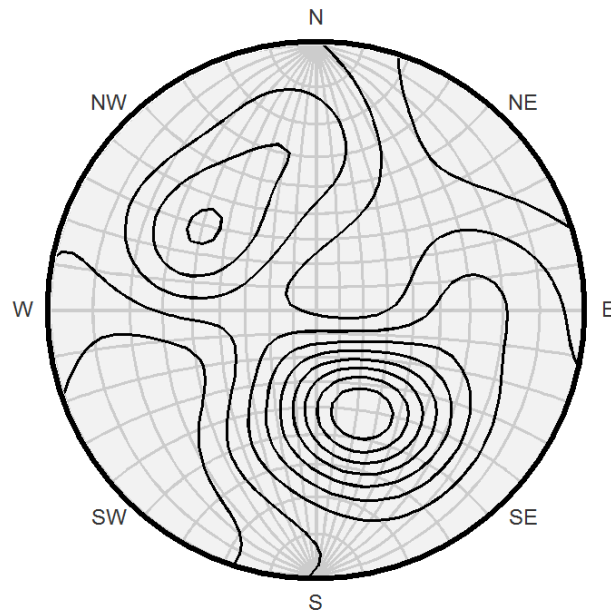


Figura 6.21: Projeção estereográfica polar de hemisfério baixo das foliações principais das formações ferríferas.

7 PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Processamento e Interpretação dos Dados

Primeiramente foram processados os dados do aerolevanteamento e gerado mapas temáticos de campo total (CT), sinal analítico (AS) e espectrométrico (K). Esses produtos passaram por filtros e correções, objetivando realçar as fontes magnéticas principais.

Esses produtos foram cruzados com a geologia regional da área de estudo para o início da análise das anomalias identificadas, sendo que este processo partiu de uma escala regional, contextualizando as grandes anomalias e suas relações, até a correlação para uma escala local, dentro dos limites da área estudada.

No mapa do campo total - CT (Figura 7.1) é possível notar na porção NE (nordeste), destacado em azul no mapa, um grande dipolo que marca as ocorrências ferríferas do quadrilátero ferrífero na sua porção oeste denominada de Serra da Moeda, para W (oeste) e SW (sudoeste) estende-se também um dipolo. Para W o dipolo destacado em vermelho, denominado de Serra do Rola Moça e para SW, destacado em amarelo, marca a porção indivisa do quadrilátero ferrífero onde se localiza a área de estudo destacada em preto.

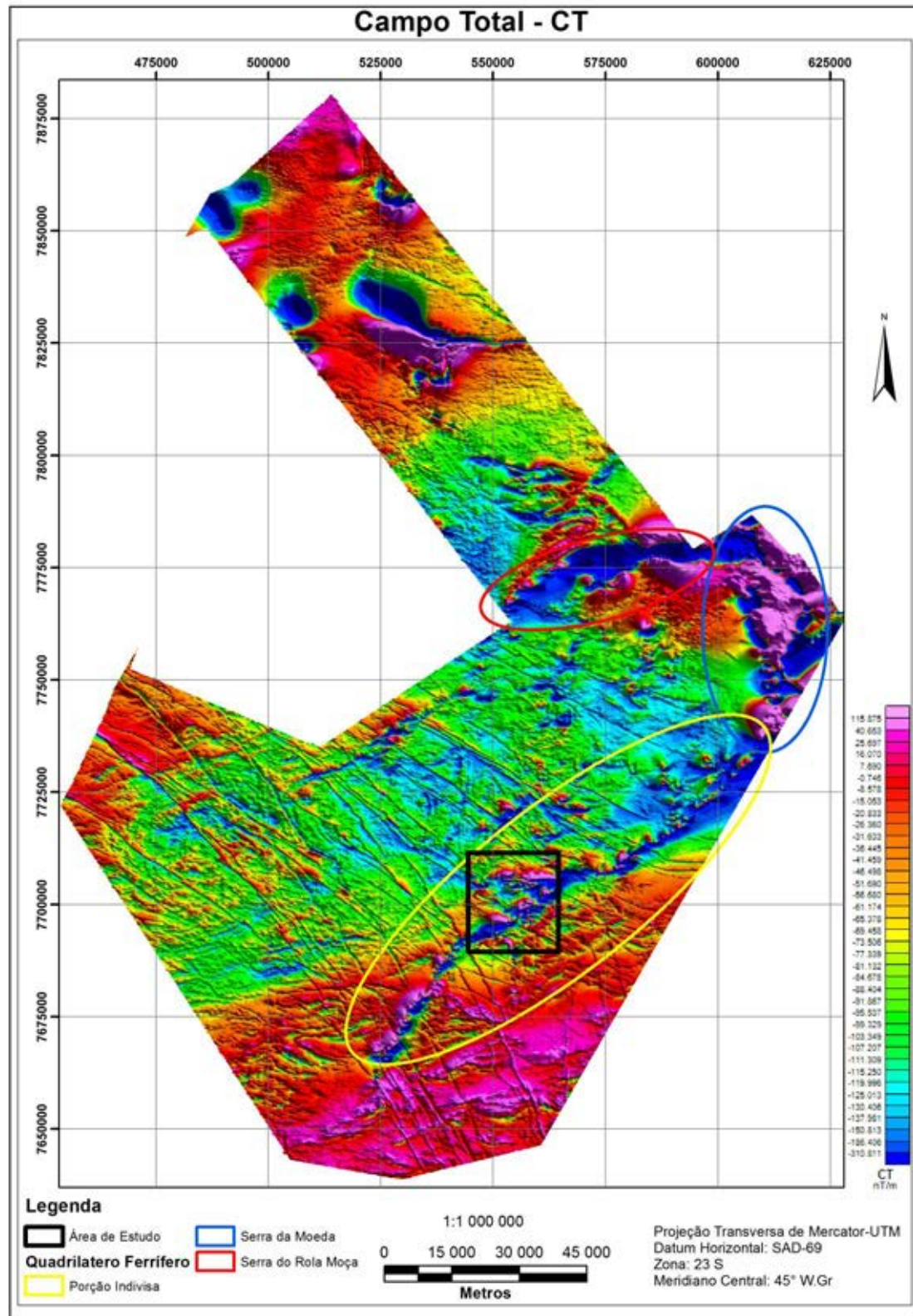


Figura 7.1: Imagem do campo total (CT) para o levantamento da porção meridional do quadrilátero ferrífero, destacando a área de estudo.

Para melhor interpretação ainda foram gerados os produtos de sombreamento (*shade*) do sinal analítico, que marca o lineamento das estruturas magnéticas e

auxiliam na visualização de descontinuidades (Figura 7.2) e as derivadas do campo magnético D_x , D_y e D_z (Figura 7.3).

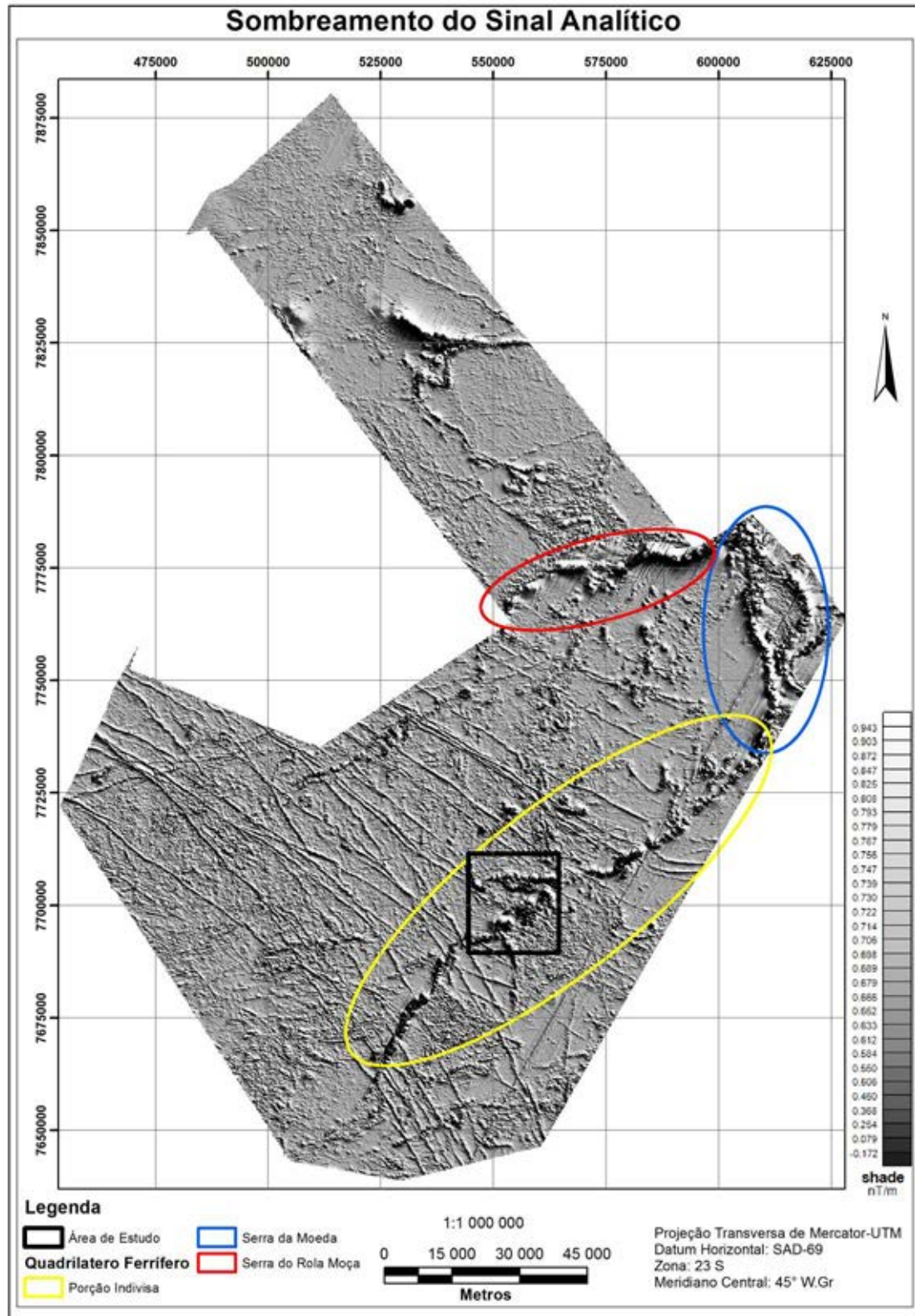


Figura 7.2: Produtos do sombreamento do sinal analítico, definindo o lineamento das estruturas magnéticas que auxiliam na visualização de descontinuidades magnéticas.

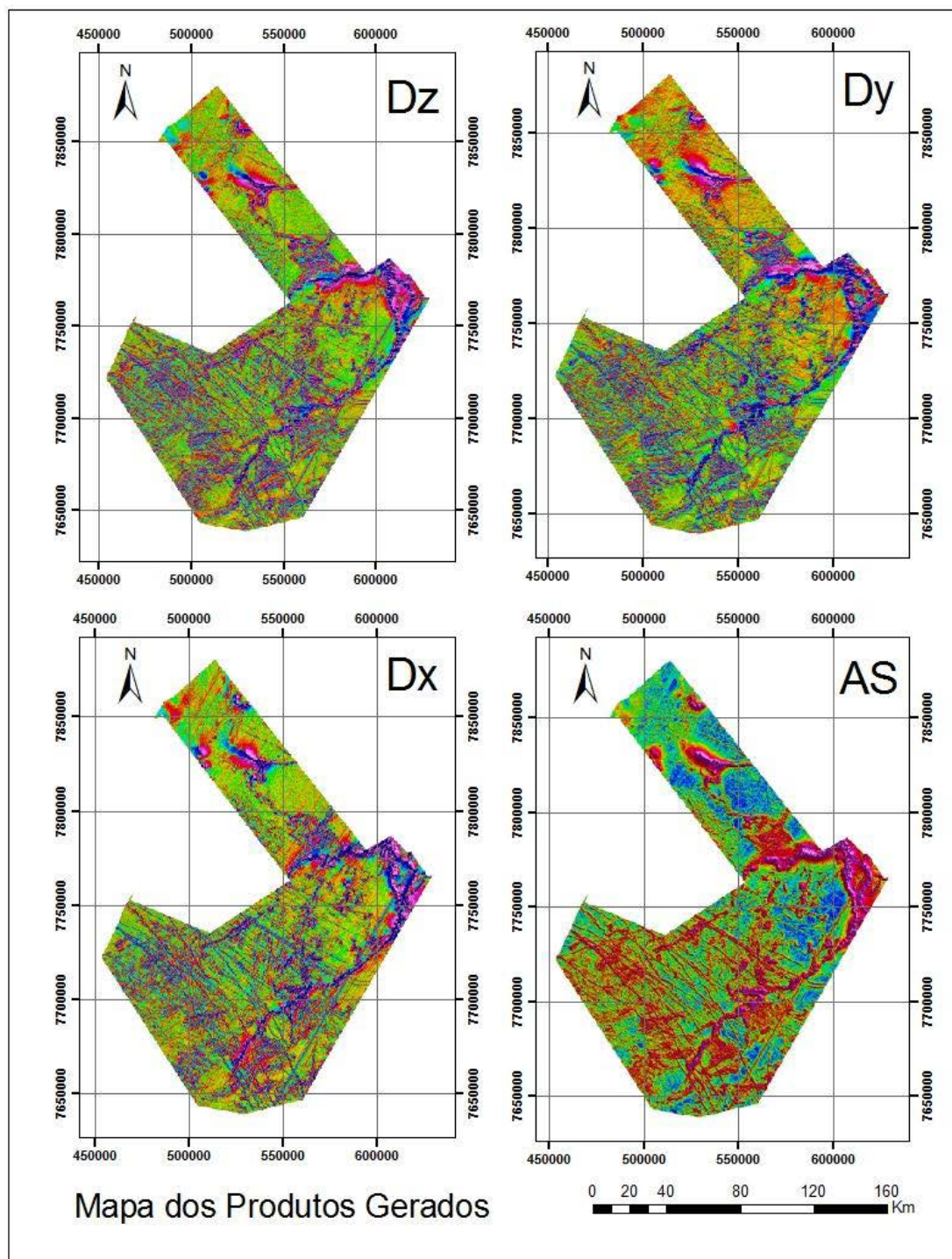


Figura 7.3: Derivadas do campo magnético e o sinal analítico processado para o levantamento da porção oeste do quadrilátero ferrífero.

Na imagem do sinal analítico (Figura 7.4) ocorrem anomalias magnéticas associadas com formações ferríferas do quadrilátero ferrífero, exatamente na porção nordeste onde está localizado o delineamento da Serra da Moeda e sua mega-sinforme (destacada em azul), mais a norte a Serra do Rola Moça

(destacado em vermelho) e a continuidade da anomalia para sudoeste onde está o delineamento das ocorrências ferríferas da porção indivisa (destacado em amarelo), onde está situada a área de estudo (destacada em preto).

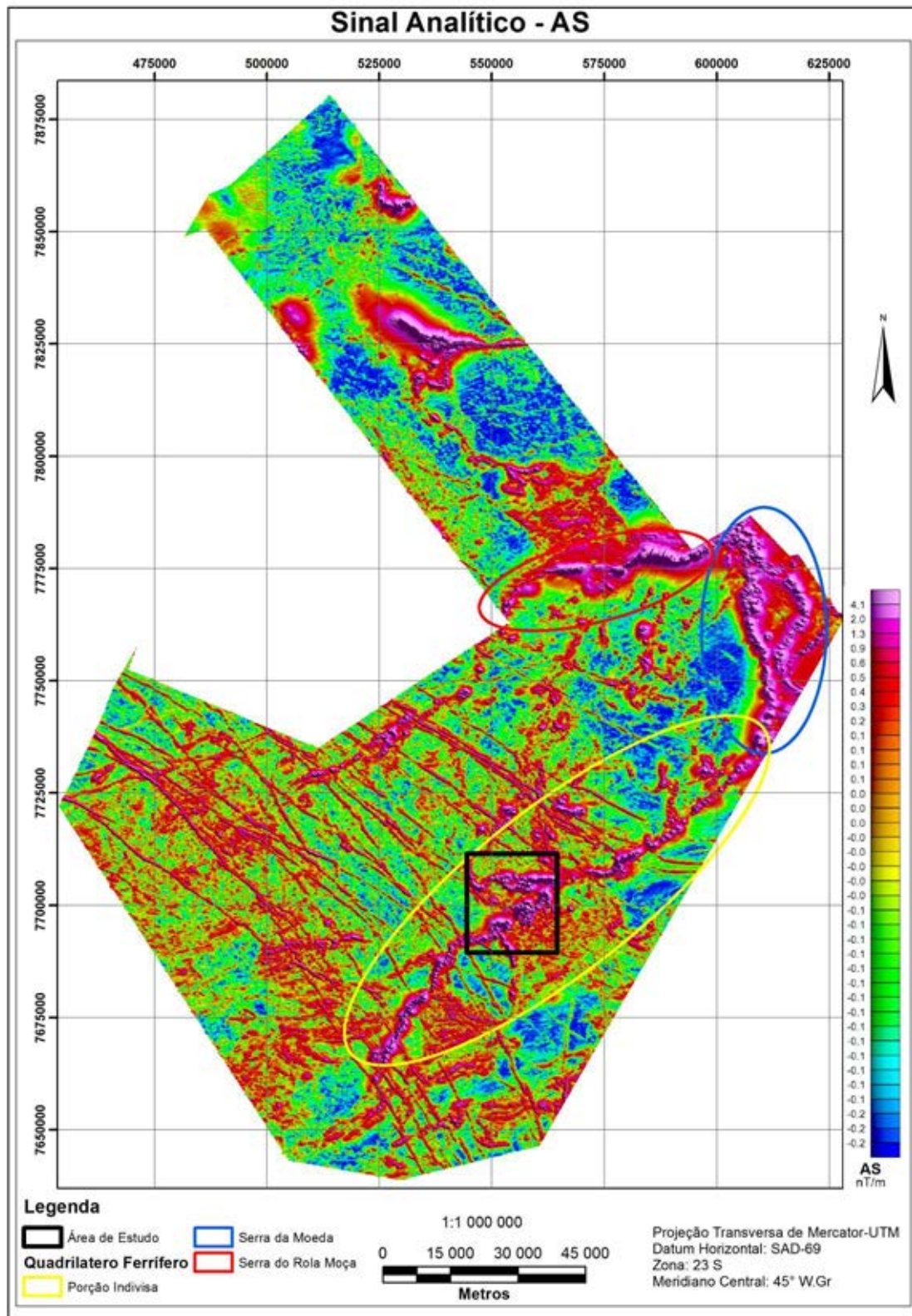


Figura 7.4: Imagem do sinal analítico (AS) para o aerolevante oeste do quadrilátero ferrífero.

O mapa de potássio (Figura 7.5) destaca a assinatura radiométrica e os limites geológicos das litologias sem assinatura magnética.

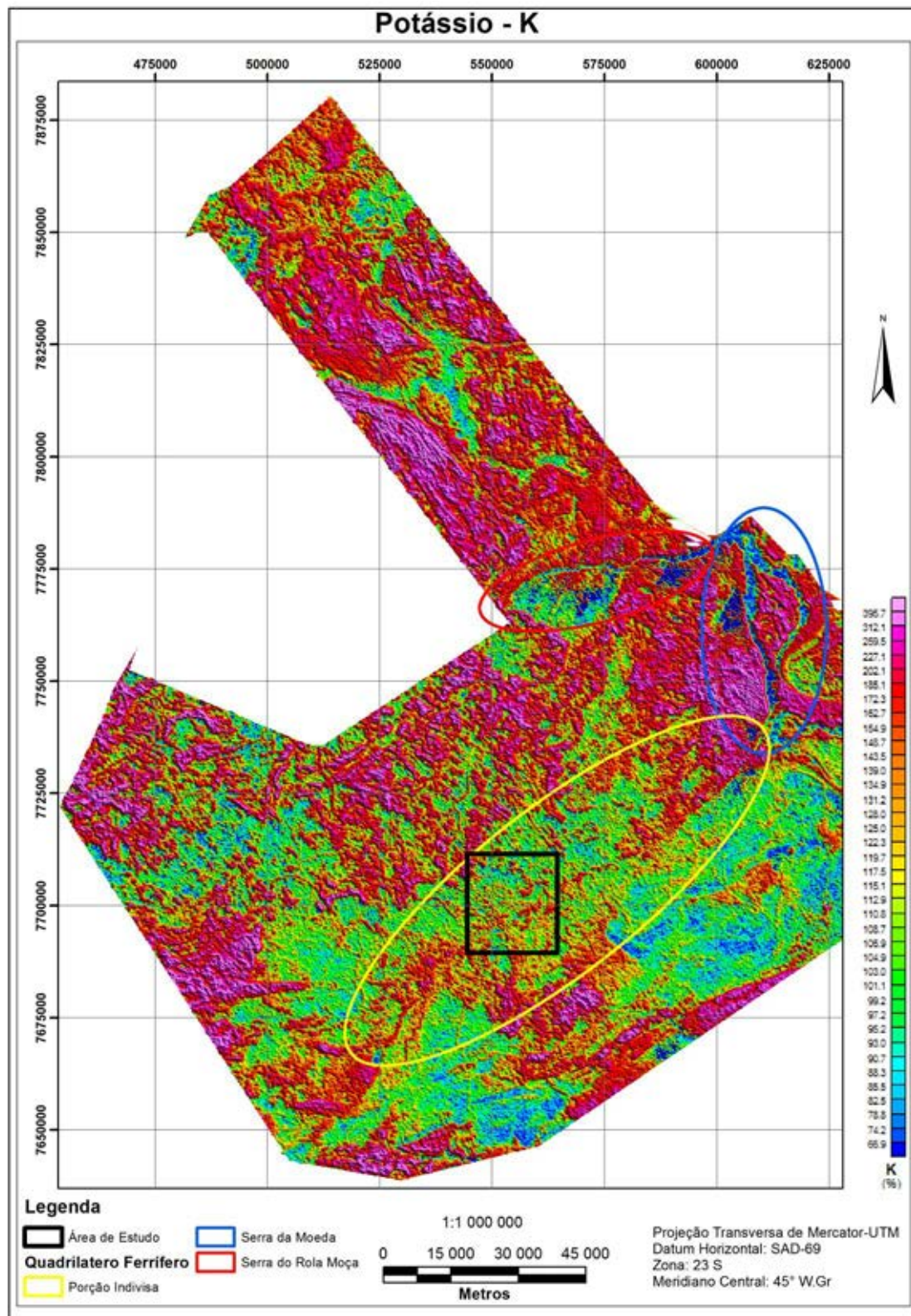


Figura 7.5: Mapa de potássio (K) e a assinatura radiométrica.

Com base na contextualização regional da área, realizou-se o processo de redução da área, cortando a porção de interesse para essa interpretação, objetivando assim reduzir a influência das anomalias regionais, pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero, mas que não sejam da porção indivisa do mesmo. Após esse processo foram gerados os produtos utilizados para a interpretação das anomalias, sendo eles integrados a uma base de dados em GIS.

Na imagem do sinal analítico (Figura 7.6) é possível ver claramente na porção meridional o delineamento das ocorrências ferríferas da porção indivisa, onde estão localizadas as poligonais DNPM do Morro do Ferro e Jacarandira.

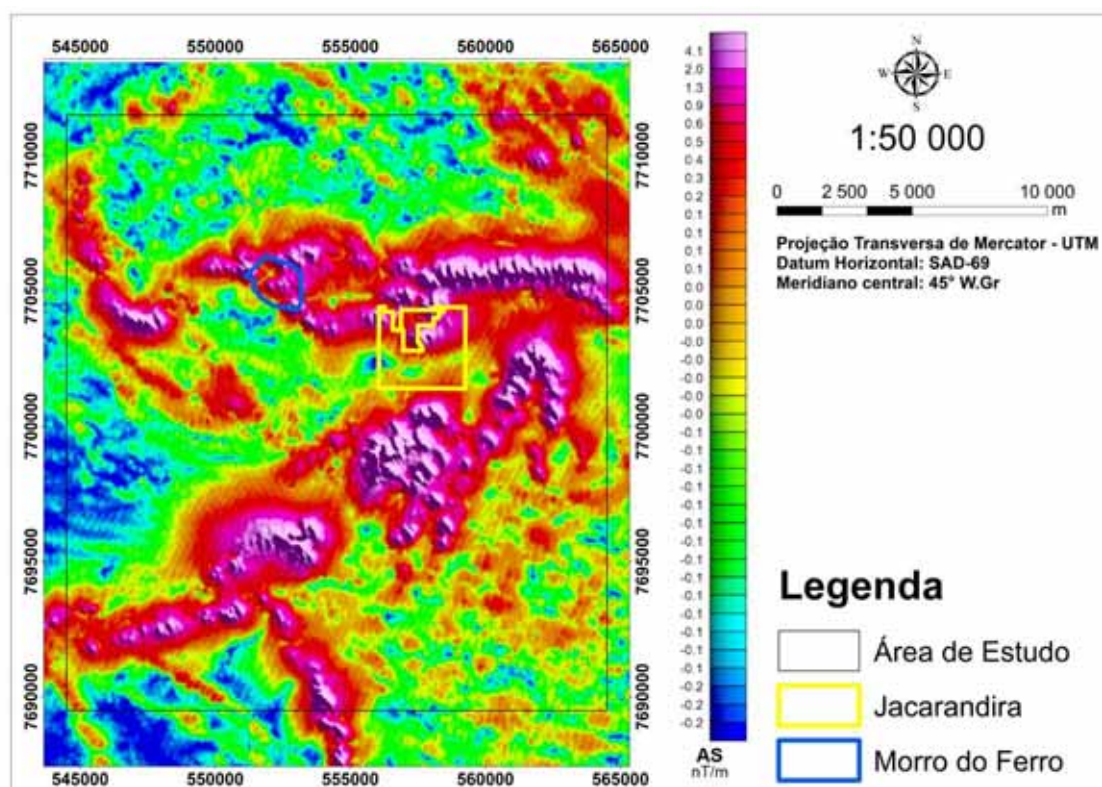


Figura 7.6: Imagem do sinal analítico (AS) para o levantamento regional de Morro do Ferro e Jacarandira.

Após a interpretação regional das ocorrências foi dado foco às anomalias localizadas no entorno a Mineração de Morro do Ferro e de Jacarandira, cujas ocorrências são conhecidas e encontram-se mapeadas e investigadas, realizando assim o refinamento dos contatos, interpretação das discontinuidades, direção de camada, mergulho das formações ferríferas.

Lineamentos magnéticos relacionados a discontinuidades foram identificados ao analisar o sinal analítico e o produto de inclinação. Esses lineamentos foram traçados e as discontinuidades utilizadas para dividir os principais blocos de

anomalias, sendo que possuem direções do *trend* e de mergulhos distintos entre si (Figura 7.7).

Descontinuidades e falhas de cavalgamento são comuns na região do Morro do Ferro, sendo comum a geometria de microbacias para as ocorrências alinhadas fora do *trend* regional com direção NE. Esse fato pode ser percebido ao observar as anomalias regionalmente (Figura 7.7), onde os alinhamentos magnéticos estão rompidos e desorientados se comparados ao *trend* regional.

A presença de diques máficos fica destacado com os lineamentos de anomalias magnéticas com orientação NW/SE e de espessura menores com relação às outras anomalias originadas das formações ferríferas (Figura 7.7).

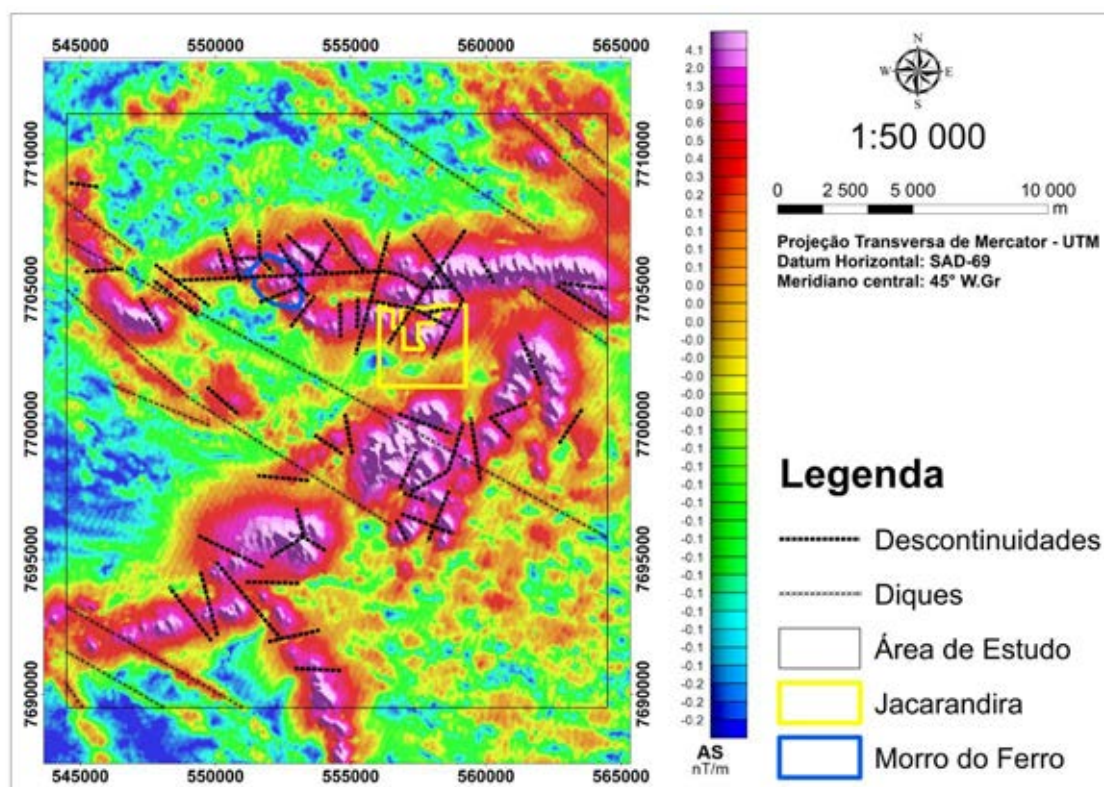


Figura 7.7: Descontinuidades e diques máficos interpretadas na área de estudo sobre a imagem do sinal analítico.

Para verificação do sinal analítico e a existência de níveis magnéticos em profundidade optou-se pela realização da Deconvolução de Euler e espectro de potencia, ambos com o intuito de identificar o centro da fonte magnética em subsuperfície e sua profundidade aproximada

Para efetuar a Deconvolução de Euler, primeiro foi calculado e exibido o *grid* da amplitude do sinal analítico a partir das derivadas já existente (Figura 7.8).

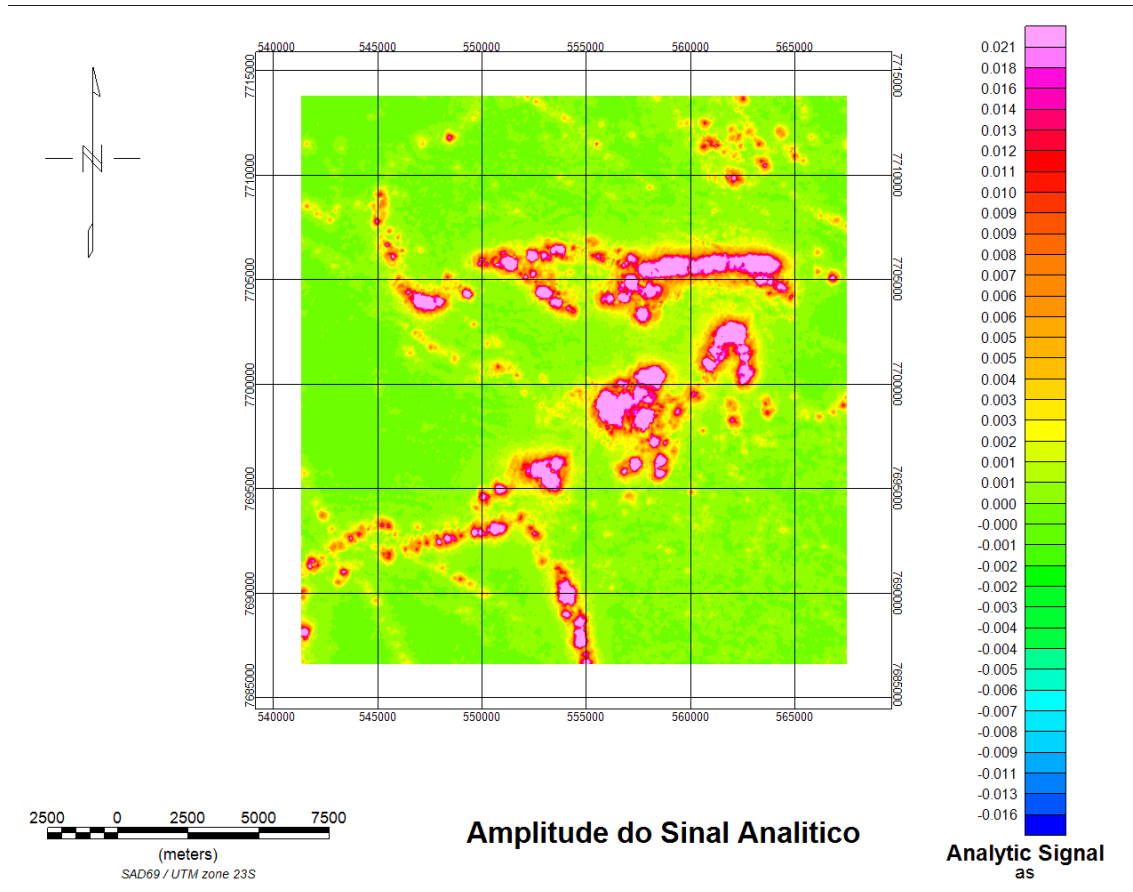


Figura 7.8: Deconvolução localizada de Euler da amplitude do sinal analítico.

A próxima etapa foi localizar as soluções, através da busca dos “picos” da amplitude do sinal analítico exibindo-os como símbolos (Figura 7.9).

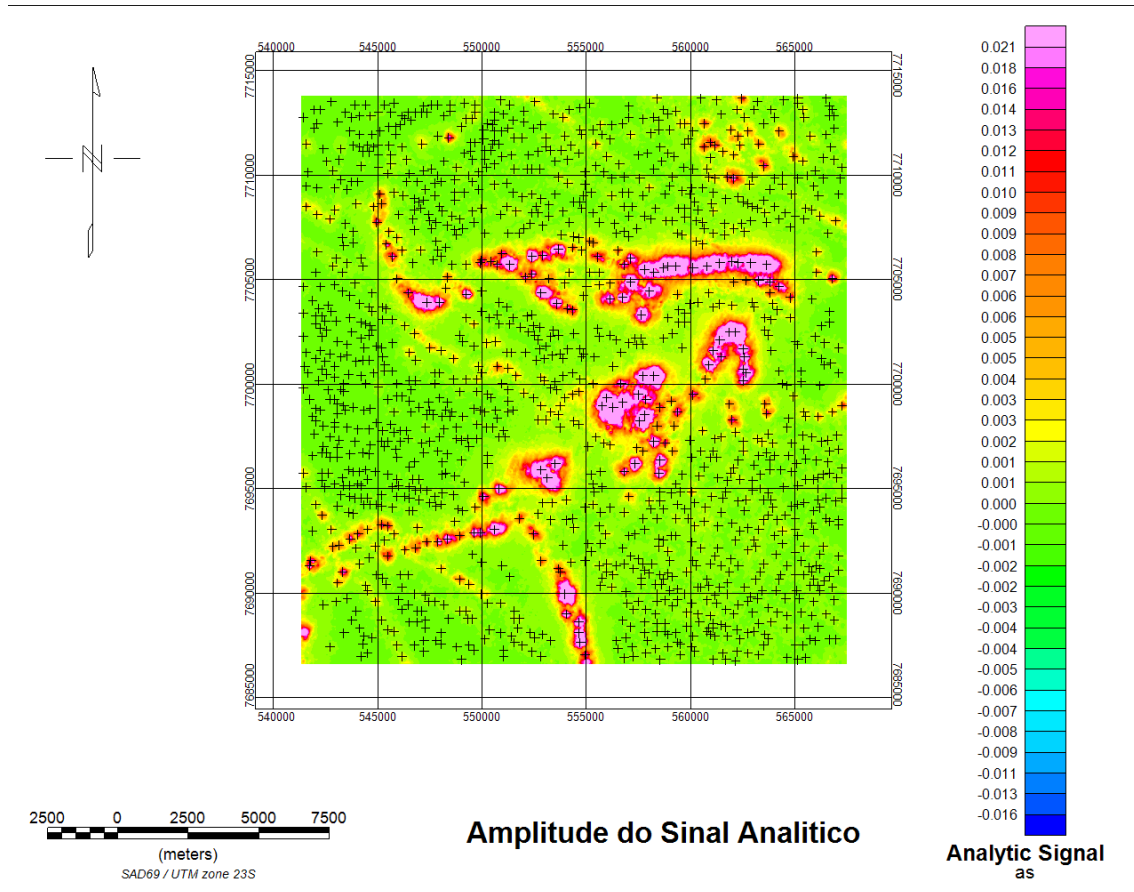


Figura 7.9: Localização dos picos da amplitude do sinal analítico.

Depois de localizados e plotados, foi gerado a Soluções de Euler para a toda área (Figura 7.10).

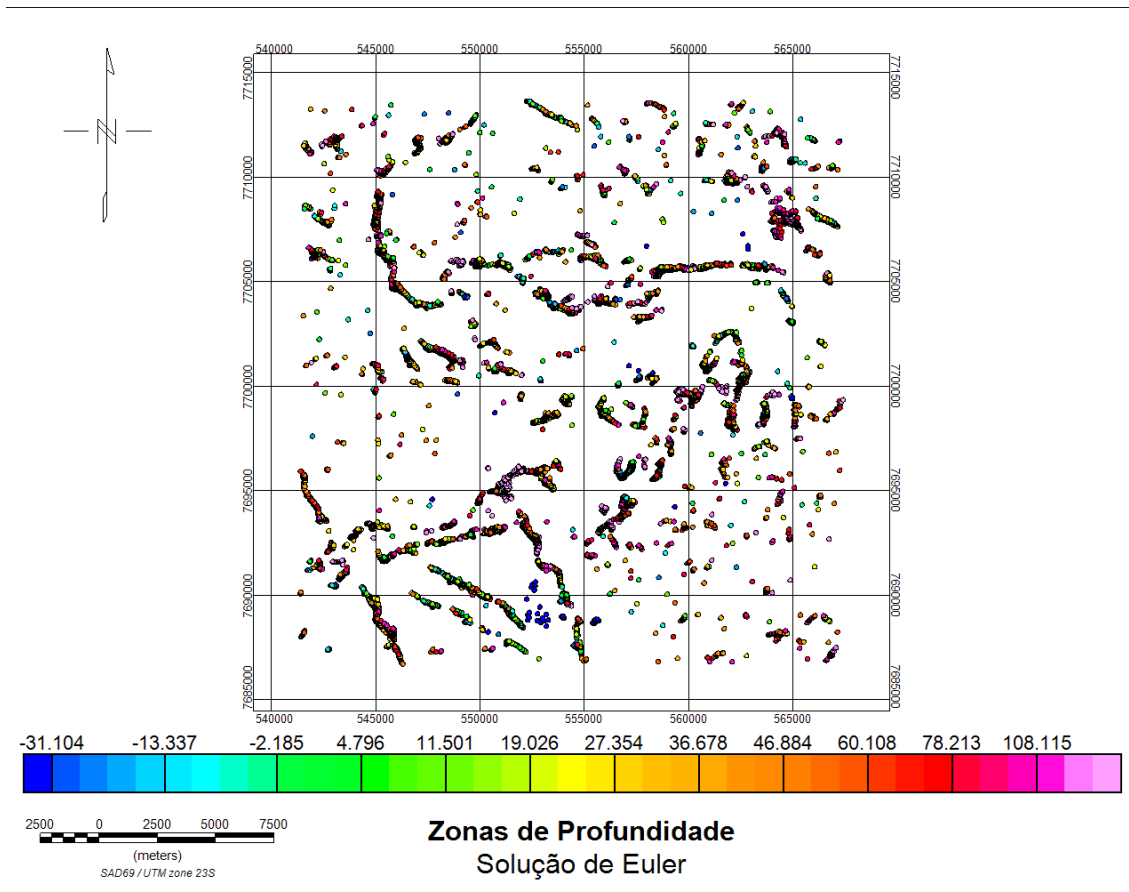


Figura 7.10: Solução de Euler para a área.

A Deconvolução de Euler detectou todas as possíveis estruturas que geram anomalias, mas plotou muitas soluções relacionadas a anomalias profundas, que representam contatos regionais e contornos dos corpos graníticos existentes na região, por isso optou-se em agrupar soluções mais focadas nas anomalias de interesse através de filtros de intensidade do sinal analítico (Figura 7.11).

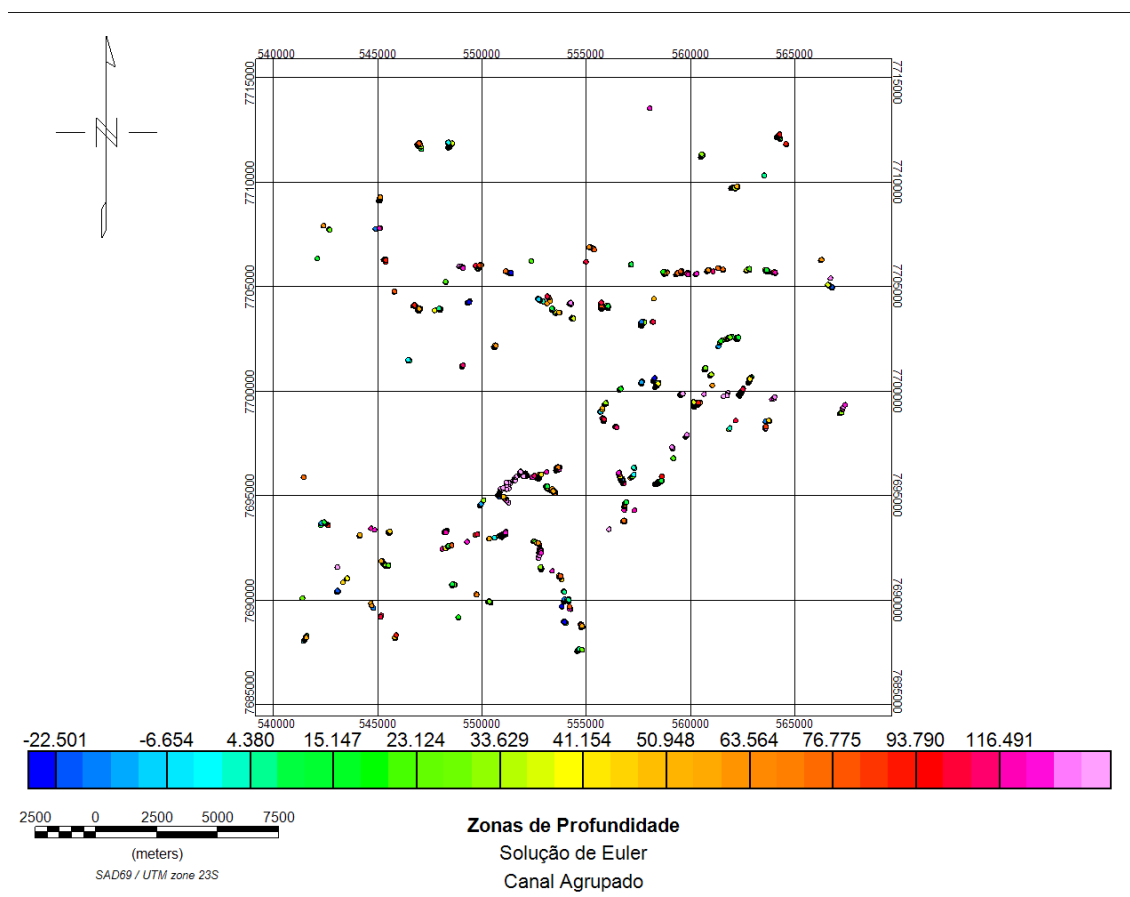


Figura 7.11: Agrupamento das soluções nas anomalias de interesse.

As Soluções de Euler filtradas para as anomalias de interesse mostram uma profundidade média de aproximadamente 30 metros, para as fontes magnéticas localizadas nas anomalias relacionadas às formações ferríferas.

A análise do espectro de potência (Figura 7.12) indicou também a possível presença na área de 05 (cinco) níveis de rochas magnéticas, validando as profundidades e intercalação de camadas verificadas através das soluções de Euler.

O primeiro nível com valor próximo da superfície do terreno marca as anomalias magnéticas mais superficiais, como solos coluvionares compostos de blocos e fragmentos de magnetitito, formações ferríferas e magnetititos na região tectonicamente instável.

O segundo e quinto níveis marcaram ao redor de 750 m e 500 m consecutivamente, profundidades de anomalias magnéticas relacionadas à intrusões e contornos de intrusões em contato com os metasedimentos do Supergrupo Minas menos afetados tectonicamente.

O terceiro e quarto níveis apresentam valores médios de anomalias que vão desde a superfície até profundidades ao redor de 100m, marcando também os corpos de formações ferríferas no setor NW, orientados ao *trend* com maior similaridade com as rochas da formação Cauê.

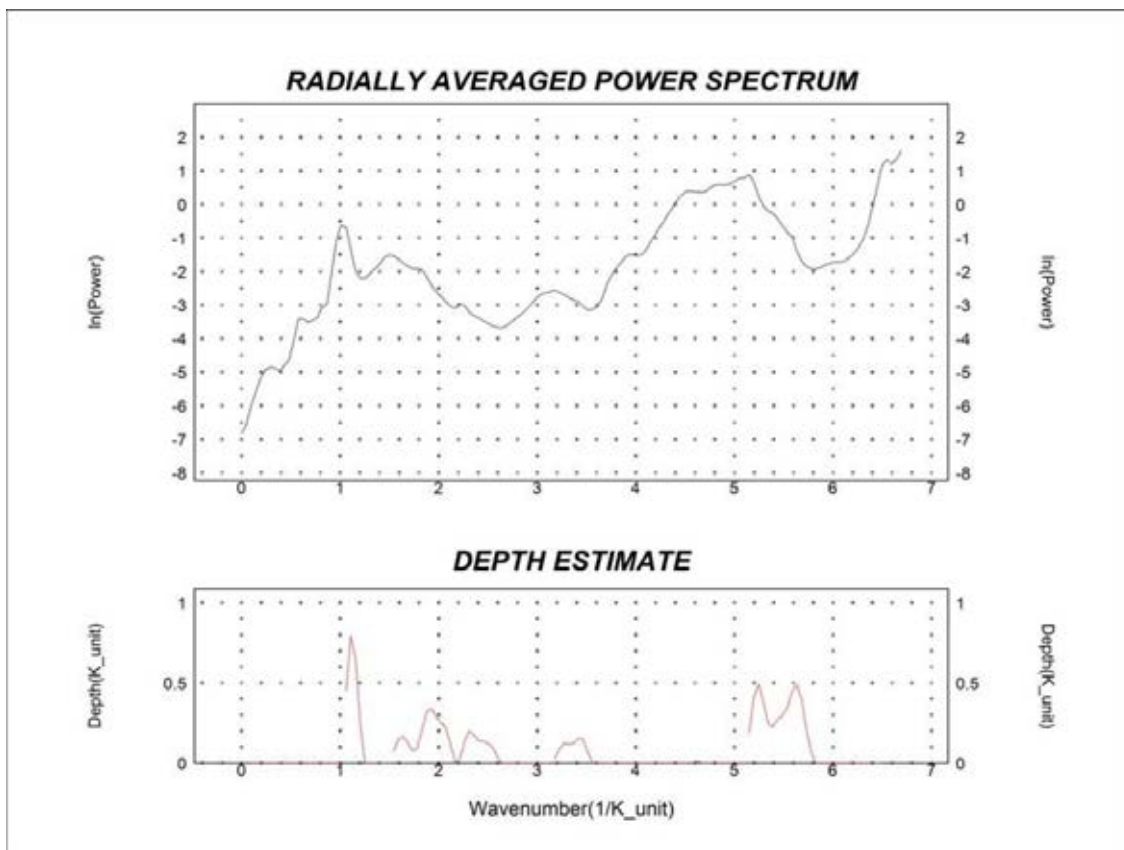


Figura 7.12: Espectro de potência gerado e interpretado para a área estudada.

7.2 Análise e Discussão dos Resultados

Os dados coletados no campo, ao longo do reconhecimento e mapeamento geológico, serviram de base para confirmação e a validação das interpretações geológicas e geofísicas, confirmando os litotipos que geram assinaturas (anomalias) magnéticas.

A confirmação e interpretações das zonas ferríferas e rochas correlacionadas, posteriormente ao mapeamento de campo, foram realizadas utilizando-se dos mapas geofísicos (filtros do sinal analítico com inclinação de sinal analítico),

como os mais indicados para as formações ferríferas e de rochas máficas como gabro e diques máficos.

O principal fato das anomalias magnéticas estarem em contraste com rochas do embasamento, como graníticos e gnaisses, é constatado pelo espectrômetro de potássio (K), cujas interpretações foram confirmadas pelos pontos de controle geológico auxiliando na confecção do mapa geológico (Anexo C: Mapa Geológico), sendo que foram classificados da seguinte maneira:

- Nos campos com delineamentos anômalos de alto valor do sinal analítico (AS) e baixo potássio (K), topos e encostas de serras e morros, cuja geometria predominante é na forma tabular e retilíneas ocorrem os litotipos do Supergrupo Minas Indiviso: formações ferríferas, magnetitos e quartzitos rompidos e orientados por descontinuidades capeando o embasamento gnaiss granítico, assim como anomalias retilíneas de pequena espessura oriunda de diques do Sistema Lençóis.
- Nos campos com delineamentos anômalo de alto valor do sinal analítico (AS) e médio potássio (K) em morros de geometria ovaladas, mais elevados e destacados no terreno, como de plútons, estão associados com rocha gabro pertencente a Suíte Ribeirão dos Motas.
- Nos campos com delineamentos anômalos de alto valor do sinal analítico (AS) e alto potássio (K) em topos e encostas de serras e morros onde não afloram formações ferríferas e ocorrem gnaiss, as anomalias estão associadas a enclaves de litotipos ferríferos do Super Grupo Minas ou até mesmo gabro da Suíte Ribeirão dos Motas.
- Nos campos com ausência ou baixas anomalias de sinal analítico (AS) e alto potássio (K), ao longo de grande parte da área mapeada, ocorrem gnaiss e granitos pertencentes ao Complexo Bonfim (Gnaiss Fernão Dias, Gnaiss Claudio, Complexo Granítico Gnáissico Piracema Passa Tempo, Gnaiss Candeias e Gnaiss São Tiago)

Os estudos de profundidade das fontes magnéticas através da Deconvolução de Euler e do espectro de potência, não puderam correlacionar com confiabilidade e exatidão a geometria e/ou forma real das profundidades das anomalias (assinaturas) magnéticas, por se tratar de um estudo em escala mais regional.

A área de estudo descreve em campo uma evolução metamórfica e estrutural distinta do quadrilátero ferrífero, sendo que a quantidade de dados e informações geradas nas pesquisas iniciais, na abertura da lavra da mineração do Morro do Ferro, geraram um modelo geológico que foi extrapolado para toda área de estudada e será descrito a seguir:

1.Em relação as estruturação principal:

Analisando a deformação das rochas ferríferas, do Morro do Ferro, verificou-se uma forte deformação (D1) responsável pelo desenvolvimento da foliação principal S1 (foliação principal). Essa foliação localmente desenha dobras parasíticas, que apresentam por vezes rompimento na charneira e/ou flancos, evidenciando deformação não coaxial atribuída a fase D1, podendo ter resultado diretamente no cavalgamento das rochas ferríferas sobre o embasamento.

2.Em relação à mineralização:

As camadas de magnetitito estão em contato abrupto com os itabiritos, sendo que ambos apresentam granulometria grossa, possivelmente gerada devido a um processo de recristalização associado a um metamorfismo de grau médio a alto.

Nas camadas de formações ferríferas ocorrerem bandas carbonáticas com magnetita disseminada (Figura 7.13), indicando dissolução, mobilização e substituição de carbonato e sílica, podendo este ter sido um dos processos geradores da concentração e formação dos magnetititos durante a evolução tectono-metamórfica do Supergrupo Minas Indiviso.

Nas camadas de magnetitito ocorrem resquícios de bandamento marcado pela ocorrência de carbonatos centimétricos (Figura 7.14), estes carbonatos remanescentes podem ser um indicador de que houve um evento hidrotermal.



Figura 7.13: Banda carbonática com magnetita disseminada.



Figura 7.14: Detalhe do magnetitito, muito fraturado e com vestígios de bandas carbonáticas de coloração amarela.

Com base nos dados coletados e na interpretação da geometria mapeada através da geofísica e do mapeamento geológico, foram possível elaborar duas hipóteses para a evolução estrutural e metamórfica das formações ferríferas pertencentes à faixa meridional do quadrilátero ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso:

- 1.As formações ferríferas são oriundas de micros bacias tectônicas, sendo que a deformação vista em campo é resultado dos esforços tectônicos regionais do tipo compressionais;
- 2.Houve cavalgamento e rotação das formações ferríferas, depositadas sobre o embasamento granítico gnáissico, formando fragmentos descontínuos e por vezes englobados pelo embasamento.

8 CONCLUSÕES

O levantamento bibliográfico até o presente momento apresenta falta de concordância com os modelos geológicos, estrutural e geotectônico, com relação às ocorrências de formações ferríferas presentes na faixa meridional do Quadrilátero Ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso, sendo que os trabalhos e pesquisas estão fundadas no intenso conhecimento da formação Cauê, onde estão concentradas as principais ocorrências ferríferas do quadrilátero ferrífero.

O processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos do aerolevante geofísico, através de interpretações, indicaram fortes assinaturas magnéticas no sinal analítico, com direção principal NE-SW marcando o *trend* das diversas descontinuidades das ocorrências de formações ferríferas e dos magnetitos, assim como anomalias retilíneas em menor escala cujo *trend* NW-SE caracterizaram intrusões de diques máficos.

As interpretações geológicas e geofísicas e o mapeamento geológico realizados, levou a identificação e individualização das anomalias magnéticas associadas aos litotipos ferríferos do Super Grupo Minas Indiviso: formação ferrífera (bandada e silicosa) e de maior destaque para as camadas de magnetito compacto com alto teor de ferro, litotipos máficos como gabro pertencente a Suíte Ribeirão dos Motas e diques máficos do Sistema Lençóis, que estão associados a anomalias magnéticas em contraste com rochas do embasamento granito-gnaiss pertencentes ao Complexo Metamórfico do Bonfim, entre eles Gnaiss Fernão Dias, Gnaiss Claudio, Complexo Granito Gnáissico Piracema Passa Tempo, Gnaiss Candeias, Gnaiss São Tiago.

É importante ressaltar que o presente trabalho parte de levantamentos iniciais de prospecção geológica e geofísica, sendo que ainda é preciso avançar com mais estudos de detalhamento da área estudada, que comprovem e validem as hipóteses aqui apresentadas, relacionadas com a evolução estrutural e metamórfica das formações ferríferas do Super Grupo Minas Indiviso e sua gênese distinta do quadrilátero ferrífero.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F.F., MARSHAK, S. : Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*. v. 90. p. 29-58.1998.
- ALMEIDA, F.F.M.: O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 7, p. 349-364, 1977.
- BABINSKI, M., CHEMALE, J. F., VAN SCHMUS, W.R.: A idade das formações ferríferas bandadas do Supergrupo Minas e sua correlação com aquelas da África do Sul e Austrália. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2, 1993. Anais, Salvador, SBG BA-SE/SGM, p. 152-153, 1993.
- BABINSKI, M., CHEMALE, J. F., VAN SCHMUS, W.R.: Pb/Pb age of the carbonate rocks of the Minas Supergroup, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Precambrian Research*, n.72, p. 235-245, 1995.
- BARUQUI, A.M.; NAIME, U.J.; MOTTA, P.E.F.; FILHO, A.C.: Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campos das Vertentes, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos*, ISSN 1678-0892; 96. Rio de Janeiro. 326p., 2006.
- BARCELOS T.P.; BUNCH, J.: Mina de minério de ferro de Alegria, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, v. 2, cap. 5, p.77-85, 1986.
- BIZZI L. A., SCHOBENHAUS C., VIDOTTI R. M., GONÇALVES J. H.: Geologia, Tectônica e Recursos Mineraiis do Brasil: Texto, Mapas e SIG. CPRM, Editorada Universidade de Brasília., Brasília, 2003.
- BOHN, F.; Magnetostrição e ruído Barkhausen em aços elétricos de grão não-orientado. Dissertação; Programa de Pós-graduação em Física, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2005.
- CARVALHO, L.M.M.: Integração de dados de geofísica aérea aplicada à geologia e à prospecção mineral no distrito esmeraldífero de Itabira-Ferros, Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de Doutorado. ed.Unb. Brasília: v.1, 170p. 2006.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Mineral. Projeto Geologia do Brasil – Geologia da Folha Oliveira. Oliveira- SF.23-X-A-IV, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Oliveira. Minas Gerais: UFOP/CPRM, 2007.
- DIAGNÓSTICO MUNICIPAL – SÃO TIAGO, SEBRAE - MG. 2004. Disponível em: <http://www.sebraemg.com.br/arquivos/programaseprojetos> consulta em 16 de abril de 2014.

- DICKSON, B.L.; SCOTT, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO Journal* 17(2); p. 187-200. 1997.
- DORR, J. V. N.: Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, v. 59, n. 7, p. 1203-1240, 1964.
- DORR, J. V. N.: Nature and origin of the high-grade hematite ores of Minas Gerais, Brazil. *Econ. Geology*, v. 60, p. 1-46, 1965.
- DORR, J.V.N.: Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington, DNPM/USGS/ 109p., 1969.
- DORR, J.V.N.; BARBOSA, A.L.M.: Geology and ore deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil. USGS, 110p. (Professional Paper 341C), 1993.
- ENDO I.: Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 243p., 1997.
- FRYER, B.J.: Rare earth elements in iron-formation. In: Trendall, A.F., Morris, R.C. (eds.), *Iron Formation: Facts and Problems*, Elsevier, p. 345-358, 1983.
- FERTL, W.H., Gamma-ray spectral logging: *a new evaluation frontier*. *World Oil*, p. 79-91. 1983.
- GATTO, L.C.S; RAMOS, V.L.S; NUNES, B.T.A; MAMEDE, L; GÓES, M.H; MAURO, C.A; ALVARENGA, S.M; FRANCO, E.M.S; QUIRICO, A.F; NEVES, L.B. Geomorfologia. Projeto Radam Brasil. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória .V 32. Rio de Janeiro, 1983).
- GRASTY, R.L.; GLYN, J.E.; GRANT, J.A. The analysis of multichannel airborne gamma-ray spectra. *Geophysics*, 50 (12): 2611-2620, 1985.
- GOMES, T.C.M.: As minas de Águas Claras, Mutuca e Pico e outros depósitos de minérios de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília, vol. 2, cap. 4, p. 65-75, 1986.
- IAEA. 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. Viena: International Atomic Energy Agency. 179 p.
- MAPA DE UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM MINAS GERAIS - 2008. IGAM – Relatório Interno.
- MACHADO, N.: U/Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, Southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.*, n. 104, p. 1221-7, 1992.

- MACHADO, N.; CARNEIRO, M.A.: U/Pb evidence of Late Archean tectonothermal activity in Southern São Francisco Shield, Brazil. *Can. Jour. of Earth Sci.*, n. 29, p. 2341-6, 1992.
- MERRIL, R. T. et. al. *The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the core, and the deep mantle*. Academic Press. San Diego, v.63, 1998.
- MINTY, B.R.S.; Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal* 17(2); p.39-50, 1997.
- PINHEIROS, K.J.R., Magnetismo da terra: curso on-line. Observatório Nacional 2012. Disponível em: http://www.on.br/ead_2012/site/ consulta em 17 de abril de 2014.
- RAPOSO, F. O.: Formações ferríferas e metassedimentos químicos de áreas selecionadas do Quadrilátero Ferrífero e suas relações com níveis rudáceos. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, 134p, 1995.
- RAPOSO, F. O.; LADEIRA, E. A.: Litogeoquímica de Elementos Terras Raras de Itabiritos da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG. ANAIS DO VII SIMPOSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, v. 12, p. 95-98, 1993.
- ROSIERE, C. A.; SPIER, C. A.; RIOS, F. J.; SUCKAU, V. E.: The itabirite from the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade ores: an overview. *Reviews in Economic Geology*, v. 15, p. 223-254, 2008.
- ROSIERE, C. A.; CHEMALE J, F.: Um modelo para a evolução microestrutural dos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Parte I - estruturas e recristalização. *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 65-84, 1993.
- ROSIERE, C. A.; SIEMES, H.; QUADE, H.; BROKMEIER, H. G.; JANSEN, E.: Microstructures, textures and deformation mechanisms in hematite. *Journal of Structural Geology*, Amsterdam, v. 23, n. 8, p. 1429-1440, 2001.
- SÁ, D.H.G.S.; Preparação e medidas magnéticas do sistema magnético frustado $\text{FexNi}_x\text{Tio}_3$. Dissertação (Núcleo de Pós-graduação em Física) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão. 2008.
- SECRETARIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, SEME, Governo de Minas Gerais Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais Área 2 Pitangui- São João Del Rei-Ipatinga Relatório final do levantamento e processamento dos dados agnetométricos e gamaespectométricos. Lasa Engenharia e Prospecções v. I. 80p. 2001.
- TEIXEIRA, W.; MARTINS, V. T. de S. *Granitos paleoproterozóicos da porção meridional do cráton do São Francisco: estudos Isotópicos de Sr e Nd*. São Paulo, USP/FAPESP. Relatório de Projeto de Pesquisa. 28p, 1996.

Sites da Internet:

<http://www.dnmp.gov.br>

<http://www.ibge.gov.br>

<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>

ANEXOS

ANEXO A – TABELA DE PONTOS DE CONTROLE GEOLÓGICO

Ponto	Coord_X	Coord_Y	Tipo_Aflor	Litologia	Coloração	Solo
1	547360	7711413	Bloco	Gnaisse	Mesocrática	Residual
2	547282	7711109	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Arenoso
3	546475	7710763	Afloramento	Granito	Branco	Arenoso
4	546246	7709727	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
5	545862	7708772	Afloramento	Gnaisse	Branco	Residual
6	547267	7707030	Bloco	Gnaisse	Branco	Residual
7	547679	7706310	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Residual
8	547317	7705639	Afloramento	Gnaisse	Branco	Residual
9	547505	7704889	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Residual
10	546321	7704775	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Preto	Colúvio
11	553476	7691174	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
12	561435	7692364	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
13	563660	7693676	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
14	562246	7697105	Afloramento	Gnaisse	Mesocrática	Residual
15	560698	7696626	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
16	560157	7696818	Afloramento	Veio de Quartzo	Branco	Laterítico
17	557220	7696033	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
18	556449	7696294	Afloramento	Gabro	Mesocrática	Laterítico
19	556881	7697124	Solo		Vermelho	Laterítico
20	556244	7697107	Solo		Vermelho	Laterítico
21	553729	7696256	Solo		Vermelho	Colúvio
22	553173	7695095	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
23	552460	7695003	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Mesocrática	Residual
24	546276	7705628	Afloramento	Gnaisse	Bege	Arenoso
25	545153	7706686	Afloramento	Gnaisse	Branco	Arenoso
26	545210	7706199	Bloco	Magnetitito	Preto	Residual
27	545704	7705968	Solo		Vermelho	Laterítico
28	544929	7701058	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Residual
29	544643	7699594	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Residual
30	545437	7698508	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Residual
31	547604	7696385	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Residual

32	548192	7694422	Afloramento	Gnaiss	Leucocrática	Residual
33	546868	7693175	Afloramento	Gnaiss	Leucocrática	Residual
34	545866	7692757	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
35	544891	7690855	Solo		Vermelho	Laterítico
36	544714	7690976	Bloco	Gabro	Mesocrática	Laterítico
37	545017	7692133	Bloco	Gabro	Mesocrática	Laterítico
38	546323	7690978	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
39	547512	7689940	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
40	548601	7690121	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
41	550112	7689816	Bloco	Granito	Leucocrática	Residual
42	549052	7692749	Solo		Vermelho	Laterítico
43	549601	7692878	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
44	550346	7693072	Solo		Vermelho	Laterítico
45	551005	7693204	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
46	551468	7694279	Solo		Vermelho	Laterítico
47	550469	7696819	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
48	550332	7697701	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
49	550610	7699232	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
50	550316	7699399	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
51	549659	7701556	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
52	548542	7702217	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
53	547266	7701925	Bloco	Gabro	Melanocrática	Colúvio
54	546650	7701654	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
55	559899	7709328	Bloco	Gabro	Mesocrática	Laterítico
56	560311	7709801	Afloramento	Gnaiss	Mesocrática	Residual
57	561135	7709422	Afloramento	Gnaiss	Mesocrática	Residual
58	561775	7710083	Solo		Vermelho	Laterítico
59	562503	7708884	Afloramento	Gabro	Melanocrática	Laterítico
60	562433	7708443	Afloramento	Gnaiss	Mesocrática	Residual
61	562957	7705772	Afloramento	Quartzito	Bege	Residual
62	563631	7705016	Bloco	Magnetito	Preto	Colúvio
63	564057	7704807	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Preto	Colúvio
64	562171	7706504	Afloramento	Gnaiss	Gnaiss	Residual
65	561285	7707014	Afloramento	Gabro	Melanocrática	Laterítico
66	560663	7706607	Afloramento	Gnaiss	Leucocrática	Residual
67	561028	7704814	Solo		Vermelho	Laterítico
68	561736	7702943	Afloramento	Gnaiss	Leucocrática	Residual
69	562625	7701194	Bloco	Quartzito	Branco	Residual
70	561818	7699367	Bloco	Gabro	Melanocrática	Residual
71	561654	7698435	Afloramento	Quartzito	Branco	Arenoso
72	556924	7697712	Solo		Vermelho	Laterítico

73	556941	7697842	Bloco	Quartzito	Branco	Arenoso
74	556902	7697990	Bloco	Gabro	Melanocrática	Colúvio
75	556961	7698946	Afloramento	Quartzito	Branco	Arenoso
76	556959	7699041	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
77	557010	7699960	Afloramento	Quartzito	Branco	Arenoso
78	557272	7700078	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
79	557726	7700423	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
80	559627	7704264	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
81	559285	7705688	Solo		Vermelho	Laterítico
82	550600	7710665	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
83	550124	7707044	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
84	550237	7706130	Solo		Vermelho	Laterítico
85	554806	7707030	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Residual
86	557076	7707639	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
87	556879	7706802	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
88	554460	7702596	Afloramento	Granito	Leucocrática	Residual
89	552556	7699786	Bloco	Gnaisse	Branco	Residual
90	550734	7700923	Bloco	Formação Ferrífera Silicosa	Bege	Laterítico
91	557119	7704575	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Laterítico
92	561126	7701796	Afloramento	Formação Ferrífera Silicosa	Ocre	Laterítico
93	559025	7704072	Afloramento	Magnetito	Cinza Escuro	Colúvio
94	558733	7703948	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
95	558645	7703866	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
96	558460	7703725	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
97	558316	7703615	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
98	558184	7703580	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio

99	558073	7703568	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
100	559123	7704202	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
101	559129	7704154	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
102	559146	7704127	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
103	559159	7704114	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
104	559172	7704098	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
105	559194	7704067	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
106	559197	7704032	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
107	559193	7704016	Solo		Bege	Arenoso
108	559178	7704004	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
109	559110	7703927	Solo		Bege	Arenoso
110	559094	7703963	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
111	559079	7704008	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
112	559071	7704070	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
113	559068	7704085	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
114	559053	7704126	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
115	559019	7704155	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
116	558918	7704209	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
117	558925	7704151	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
118	558954	7704086	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
119	558965	7704060	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
120	558975	7704012	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
121	558998	7703948	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
122	558888	7703975	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
123	558847	7704075	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
124	558840	7704129	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
125	558757	7704042	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
126	558780	7703980	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
127	558826	7703907	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
128	558713	7703821	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
129	558697	7703861	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
130	558671	7703960	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
131	558574	7703958	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
132	558591	7703915	Bloco	Quartzito	Branco	Arenoso
133	558613	7703883	Bloco	Quartzito	Branco	Arenoso
134	558610	7703854	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio

135	558604	7703804	Bloco	Magnetitito	Preto	Argiloso
136	558628	7703798	Bloco	Magnetitito	Preto	Argiloso
137	558648	7703779	Bloco	Magnetitito	Preto	Argiloso
138	558658	7703764	Solo		Vermelho	Argiloso
139	558786	7703624	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
140	556974	7703342	Solo		Bege	Argiloso
141	556991	7703290	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
142	557028	7703246	Afloramento	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
143	557056	7703200	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
144	557120	7703233	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
145	557120	7703258	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
146	557102	7703299	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
147	557094	7703328	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
148	557073	7703387	Solo		Bege	Argiloso
149	557165	7703452	Solo		Bege	Argiloso
150	557175	7703368	Solo		Bege	Argiloso
151	557207	7703313	Solo		Bege	Argiloso
152	557321	7703302	Solo		Bege	Argiloso
153	557290	7703351	Solo		Bege	Argiloso
154	557274	7703394	Bloco	Gnaisse	Leucocrática	Argiloso
155	557352	7703522	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
156	557374	7703463	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
157	557384	7703434	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
158	557410	7703369	Solo		Bege	Argiloso
159	557421	7703322	Solo		Bege	Argiloso
160	557535	7703262	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
161	557513	7703307	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
162	557507	7703350	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
163	557499	7703385	Afloramento	Magnetitito	Cinza Acastanhado	Colúvio
164	557507	7703447	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
165	557438	7703519	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
166	557563	7703505	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
167	557577	7703453	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio

168	557574	7703413	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
169	557612	7703396	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
170	557585	7703334	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
171	557617	7703313	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
172	557628	7703287	Solo		Vermelho	Argiloso
173	557638	7703259	Solo		Vermelho	Argiloso
174	557747	7703266	Solo		Vermelho	Argiloso
175	557722	7703306	Solo		Vermelho	Argiloso
176	557722	7703306	Solo		Vermelho	Argiloso
177	557704	7703363	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
178	557697	7703393	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
179	557696	7703444	Afloramento	Quartzito	Vermelho	Colúvio
180	557646	7703483	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
181	557653	7703519	Bloco	Quartzito	Branco	Colúvio
182	558515	7703740	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
183	558519	7703779	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Cinza Acastanhado	Colúvio
184	558476	7703801	Afloramento	Quartzito	Branco	Arenoso
185	558320	7703671	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
186	558340	7703656	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
187	558353	7703607	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
188	558365	7703583	Solo		Bege	Argiloso
189	558280	7703506	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
190	558252	7703538	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
191	558218	7703582	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
192	558193	7703583	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
193	558164	7703609	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
194	558153	7703613	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
195	558150	7703634	Afloramento	Magnetitito	Ocre	Colúvio
196	558110	7703736	Afloramento	Magnetitito	Ocre	Colúvio
197	558028	7703668	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio

198	558038	7703603	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
199	558059	7703546	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
200	558086	7703510	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
201	558130	7703464	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
202	558128	7703446	Afloramento	Basalto	Cinza	Colúvio
203	558159	7703401	Solo		Vermelho	Argiloso
204	558071	7703309	Solo		Vermelho	Argiloso
205	558019	7703402	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
206	557992	7703451	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
207	557963	7703500	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
208	557928	7703498	Afloramento	Magnetitito	Preto	Colúvio
209	557903	7703542	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
210	557867	7703586	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
211	557764	7703544	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
212	557765	7703489	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
213	557822	7703369	Afloramento	Magnetitito	Preto	Colúvio
214	557836	7703323	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
215	557855	7703285	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
216	557937	7703313	Bloco	Quartzito	Vermelho	Colúvio
217	557920	7703353	Bloco	Quartzito	Vermelho	Colúvio
218	557822	7703450	Afloramento	Magnetitito	Preto	Colúvio
219	557732	7703521	Afloramento	Quartzito	Branco	Colúvio
220	556570	7704233	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
221	556572	7704123	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
222	556573	7704046	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
223	556596	7703910	Solo		Vermelho	Argiloso
224	556577	7703808	Solo		Bege	Argiloso
225	556469	7703756	Solo		Bege	Argiloso
226	556468	7703800	Solo		Vermelho	Argiloso
227	556466	7703884	Solo		Vermelho	Argiloso
228	556480	7704029	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
229	556479	7704125	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
230	556482	7704191	Solo		Vermelho	Argiloso
231	556378	7704206	Solo		Vermelho	Argiloso
232	556366	7704072	Solo		Vermelho	Argiloso
233	556341	7704042	Bloco	Magnetitito	Preto	Colúvio
234	556371	7703929	Solo		Vermelho	Argiloso
235	556359	7703861	Solo		Vermelho	Argiloso

236	556368	7703792	Solo		Vermelho	Argiloso
237	556267	7703761	Solo		Vermelho	Argiloso
238	556268	7703848	Solo		Vermelho	Argiloso
239	556266	7703929	Solo		Vermelho	Argiloso
240	556255	7704045	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
241	556270	7704150	Solo		Vermelho	Argiloso
242	556268	7704236	Solo		Vermelho	Argiloso
243	556265	7704307	Solo		Vermelho	Argiloso
244	556264	7704383	Solo		Vermelho	Argiloso
245	556218	7704417	Afloramento	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
246	556164	7704402	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	Colúvio
247	556172	7704327	Solo		Vermelho	Argiloso
248	556169	7704242	Solo		Vermelho	Argiloso
249	556183	7704156	Solo		Vermelho	Argiloso
250	556171	7704093	Solo		Vermelho	Argiloso
251	556169	7704006	Solo		Vermelho	Argiloso
252	556160	7703951	Solo		Bege	Argiloso
253	557849	7703278	Afloramento	Magnetitito	Preto	Colúvio
254	555000	7704554	Solo		Vermelho	Residual
255	555427	7705686	Bloco	Quartzito	Amarelo	
256	555512	7706124	Afloramento	Quartzito	Amarelo	
257	555572	7706203	Bloco	Magnetitito	Preto	
258	555523	7706300	Bloco	Magnetitito	Preto	
259	554507	7704189	Afloramento	Gabro	Verde	
260	554474	7704232	Bloco	Gabro	Verde	
261	554496	7704219	Bloco	Gabro	Ocre	
262	554806	7704076	Solo		Marrom	Residual
263	554902	7704162	Afloramento	Gnaisse	Branco	
264	554873	7703949	Solo		Marrom	Residual
265	554607	7703888	Bloco	Gabro	Verde	
266	554570	7703780	Solo		Marrom	Residual
267	554635	7703851	Solo		Marrom	Residual
268	555252	7704271	Solo		Laranja	Residual
269	555329	7704269	Afloramento	Gnaisse	Branco	
270	555426	7704180	Bloco	Gabro	Ocre	
271	555453	7704096	Bloco	Gabro	Ocre	
272	555445	7704028	Bloco	Gabro	Verde	
273	556234	7705306	Bloco	Canga Ferrífera	Vermelho	

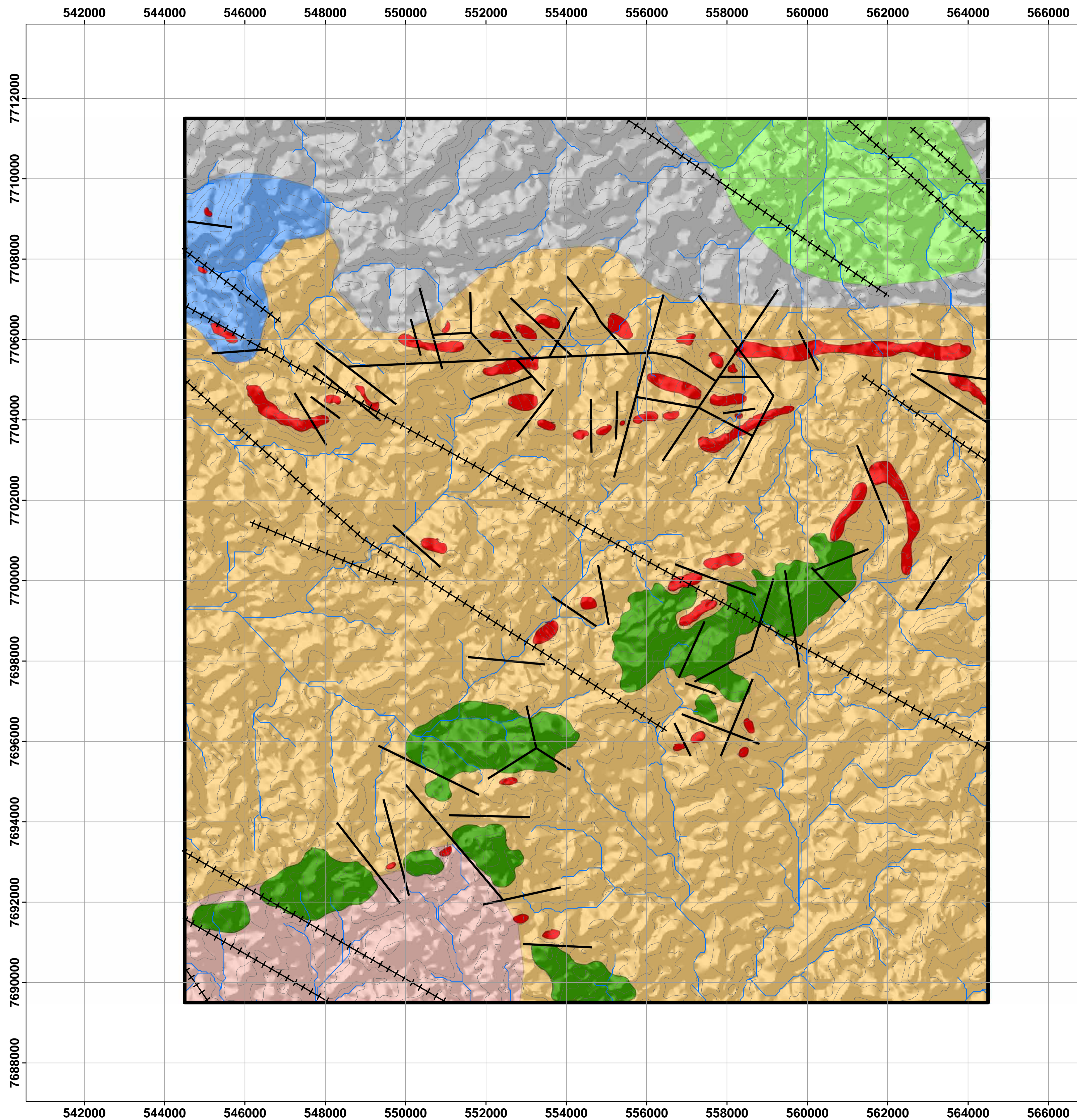
274	556139	7705195	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	
275	556126	7705190	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	
276	556126	7705181	Bloco	Magnetitito	Preto	
277	556162	7705067	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	
278	556155	7704986	Afloramento	Magnetitito	Preto	
279	556165	7704948	Bloco	Formação ferrífera bandada (BIF)	Ocre	
280	556182	7704909	Bloco	Magnetitito	Preto	
281	556204	7704991	Bloco	Magnetitito	Preto	
282	556232	7705278	Bloco	Magnetitito	Preto	

ANEXO B – TABELA DE PONTOS DE CONTROLE ESTRUTURAL

Ponto	Coord_X	Coord_Y	Estrutura	Direção	Mergulho
3	546475	7710763	Foliação	285	45
3	546475	7710763	Fratura	150	65
5	545862	7708772	Foliação	280	40
5	545862	7708772	Fratura	10	0
11	553476	7691174	Foliação	200	65
11	553476	7691174	Foliação	20	60
16	560157	7696818	Fratura	140	0
17	557220	7696033	Foliação	220	50
17	557220	7696033	Foliação	320	40
18	556449	7696294	Foliação	320	80
23	552460	7695003	Foliação	260	45
24	546276	7705628	Foliação	270	45
25	545153	7706686	Foliação	270	40
43	549601	7692878	Foliação	335	55
45	551005	7693204	Foliação	345	30
61	562957	7705772	Foliação	230	65
63	564057	7704807	Foliação	225	75
63	564057	7704807	Foliação	20	30
64	562171	7706504	Foliação	180	30
65	561285	7707014	Foliação	320	55
66	560663	7706607	Foliação	185	60
69	562625	7701194	Foliação	310	55
69	562625	7701194	Fratura	180	80
76	556959	7699041	Foliação	110	55
78	557272	7700078	Foliação	330	35
79	557726	7700423	Foliação	160	35
92	561126	7701796	Foliação	260	85
92	561126	7701796	Foliação	95	85
93	559025	7704072	Foliação	200	35
94	558733	7703948	Foliação	350	50
96	558460	7703725	Foliação	180	81
97	558316	7703615	Foliação	310	60
98	558184	7703580	Foliação	135	65
99	558073	7703568	Foliação	100	60
99	558073	7703568	Xistosidade	170	25
99	558073	7703568	Plano Axial	145	80
101	559129	7704154	Foliação	35	60
104	559172	7704098	Foliação	330	65
110	559094	7703963	Plano Axial	340	65

110	559094	7703963	Eixo de Dobra	60	30
116	558918	7704209	Foliação	155	60
134	558610	7703854	Foliação	290	80
134	558610	7703854	Plano Axial	305	75
153	557384	7703434	Foliação	120	65
164	557507	7703447	Foliação	135	50
165	557438	7703519	Foliação	100	60
167	557577	7703453	Foliação	135	40
168	557574	7703413	Foliação	195	60
168	557574	7703413	Fratura	115	90
180	557646	7703483	Foliação	135	60
183	558519	7703779	Foliação	190	75
184	558476	7703801	Foliação	80	30
186	558340	7703656	Foliação	325	50
191	558218	7703582	Foliação	290	20
191	558193	7703583	Foliação	125	55
194	558153	7703613	Foliação	180	65
195	558150	7703634	Foliação	165	70
199	558059	7703546	Plano Axial	325	75
199	558059	7703546	Eixo de Dobra	220	15
208	557928	7703498	Foliação	340	50
208	557928	7703498	Fratura	350	90
213	557822	7703369	Foliação	350	50
218	557822	7703450	Flanco de Dobra	150	50
218	557822	7703450	Flanco de Dobra	35	80
219	557732	7703521	Foliação	155	35
219	557732	7703521	Fratura	295	90
240	556255	7704045	Flanco de Dobra	310	35
240	556255	7704045	Flanco de Dobra	160	30
245	556218	7704417	Foliação	260	65
253	557849	7703278	Foliação	160	28
253	557849	7703278	Foliação	350	40
259	554507	7704189	Foliação	30	20
279	556165	7704948	Foliação	270	60

ANEXO C – MAPA GEOLÓGICO



Legenda

- Área de Estudo
- Dique Máfico
- Descontinuidades
- Hidrografia
- Curvas de Nível 50m

Geologia

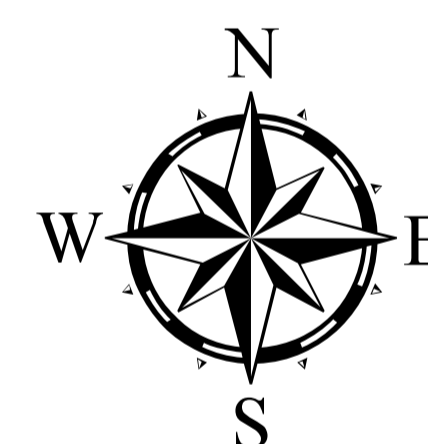
Unidade

- Complexo Granito Gnáissico Piracema Passatempo
- Gnaiss Candeias
- Gnaiss Claudio
- Gnaiss Fernão Dias
- Gnaiss São Tiago
- Super Grupo Minas Indiviso: Formações Ferríferas, Magnetito, Quartzitos
- Suíte Ribeirão dos Motas

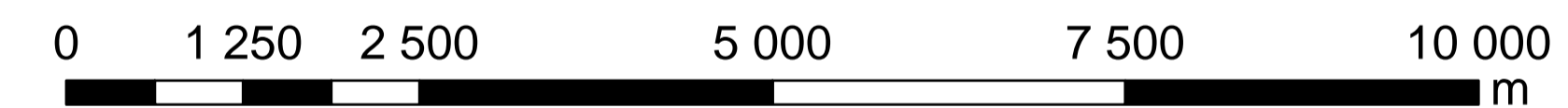
Modelo Digital do Terreno

Valor

- Alto : 180
- Baixo : 0



Projeção Transversa de Mercator - UTM
Datum Horizontal: SAD-69 Zona 23 S
Meridiano central: 45° W.Gr
Escala 1:50.000



Universidade Estadual Paulista
 "Júlio de Mesquita Filho"
 Campus de Rio Claro
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE



MAPA GEOLÓGICO

Prospecção geológica e geofísica com ênfase em formações ferríferas na faixa meridional do Quadrilátero Ferrífero do Supergrupo Minas Indiviso.

Discente: Irakli Inachvili
Orientador: João Carlos Dourado

Rio Claro
Novembro / 2014