



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

AVALIAÇÃO GEOFÍSICA DO PROSPECTO JAGUAQUARA

JOÃO FELIPE DE SOUZA RIBEIRO

SALVADOR – BAHIA
DEZEMBRO – 2018

Avaliação Geofísica do Prospecto Jaguaquara

por

JOÃO FELIPE DE SOUZA RIBEIRO

Orientador: Prof. Dr. Joelson da Conceição Batista

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA
DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

COMISSÃO EXAMINADORA

_____ Dr. Joelson Conceição Batista

_____ Dr. Alanna Costa Dutra

_____ MSc. Ives Antonio de Almeida Garrido

DATA DA APROVAÇÃO: 21/12/2018

"As vezes um pepino,
é somente um pepino."
Sigmund Freud.

Resumo

Os métodos gravimétrico, magnético e gamaespectrométrico são muito utilizados na geofísica de exploração mineral para identificar e delimitar possíveis corpos de interesse econômico. O presente trabalho visa avaliar o potencial exploratório do prospecto Jaguaquara através da análise sistemática dos métodos magnético, gravimétrico e radiométrico em associação com a geologia com o intuito de demarcar regiões de maior interesse. Através do tratamento dos dados utilizados, geramos mapas e uma interpretação conjunta via modelos bidimensionais.

Os dados utilizados nessa pesquisa foram cedidos pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). A área de pesquisa está inserida em um contexto geológico-tectônico, na interface do orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, que apresenta diversas mineralizações em sua extensão. O processamento e modelagem foram executados no *Software* Oasis Montaj da Geosoft Inc através da utilização dos pacotes *MAGMAP* para processamento e *GYM-SYS* para modelagem.

Palavras Chaves: Modelagem, Processamento, Geofísica.

Abstract

The gravimetric, magnetic and gamma spectrometric methods are widely used in mineral exploration geophysics to identify and delimit possible bodies of economic interest. The present work aims to evaluate the exploratory potential of the Jaguaquara prospect through the systematic analysis of magnetic, gravimetric and radiometric methods in association with geology in order to demarcate regions of greater interest. Through the treatment of the data used, we generate maps and a joint interpretation through two-dimensional models.

The data used in this research were provided by Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). The research area is inserted in a geological-tectonic context, at the interface of the Itabuna-Salvador-Curaçá orogen, which presents several mineralizations in its extension. Processing and modeling will be performed on *Geosoft Inc's Oasis Montaj Software* by using the MAGMAP packages for processing and *GYM-SYS* for modeling

Key words: Modeling, Gravimetry, geophysics

Sumário

Resumo	3
Abstract	4
Introdução	10
1 Métodos Geofísicos	11
1.1 Método Gravimétrico	11
1.1.1 Bases Teóricas	11
1.1.2 Correções	12
1.2 Método Magnético	14
1.2.1 Bases Teóricas	14
1.2.2 Correções	15
1.3 Processamento de Dados Potências	16
1.3.1 Separação Regional-Residual	16
1.3.2 Continuação para Cima	17
1.3.3 Derivadas Direcionais	17
1.3.4 Amplitude do Sinal Analítico	17
1.3.5 Redução ao Polo ou ao Equador	18
1.3.6 Gradiente Horizontal Total	18
1.3.7 Tilt Angle ou Inclinação do Sinal Analítico	18
1.3.8 Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total	19
1.4 Ambiguidade	19
1.5 Gamaespectrometria	20
1.5.1 Bases Teóricas	20
1.5.2 Correções	22
1.5.3 Interpretação	23
1.6 Modelagem Direta Geofísica	24
1.6.1 Bases da Modelagem	24
2 Prospecto Jaguaquara	26
2.1 Geologia Regional	27
2.2 Geologia Local	29
3 Discussão dos Resultados	32
3.1 Os Dados Geofísicos	32
3.2 Pré-processamento Aplicado	33
3.2.1 Interpolação	33

3.2.2	Filtragem	33
3.3	Processamento e Interpretação Geofísica	35
3.3.1	Dados Gamaespectrométricos	35
3.3.2	Dados Magnéticos	37
3.3.3	Dados Gravimétricos	42
3.4	Interpretação Geofísica	44
3.4.1	Modelagem Bidimensional do Prospecto Jaguaquara	45
4	Conclusões	53
	Agradecimentos	54
A	Propriedades Físicas do Modelos	55
	Referências	56
I	Medidas petrofísicas	58

Lista de Tabelas

3.1	Parâmetros utilizados no Filtro <i>Butterworth</i> aplicado aos dados gravimétricos.	34
3.2	Parâmetros utilizados no Filtro <i>cosine roll-off</i> aplicado ao Campo Magnético	
	Total.	34
3.3	Parâmetros do campo indutor cedidos pela CBPM.	37
A.1	Propriedades físicas utilizadas para a realização da modelagem conjunta. . .	55

Lista de Figuras

1.1	Atração gravimétrica entre duas massas no espaço (adaptado de Blakely, 1996).	12
1.2	Modelo do IGRF 2015 para intensidade Total (Fonte: NOAA).	16
1.3	Poder penetrativo das radiações (Fonte: Brasil Escola).	21
1.4	Passos da modelagem direta e inversa (adaptado de Blakely, 1996).	24
1.5	Exemplificação da modelagem direta (Fonte: Mira Geoscience).	25
2.1	Localização do município Jaguaquara, Bahia.	26
2.2	Localização do Prospecto Jaguaquara, Bahia.	27
2.3	Contexto geológico regional da área de pesquisa (Adptado de CBPM, 2014).	28
2.4	Perfis tectônicos regionais do Centro-sul da Bahia, enfatizando a tectônica paleoproterozoica. (A) Estágio intermediário e (B) final da orogênese (Retirado de CBPM, 2014).	28
2.5	Mapeamento Geológico do Prospecto Jaguaquara (Adaptado CBPM (2015b)).	30
3.1	Mapa de campo total (nT) do levantamento Aeromagnético, Ruy Barbosa-Vitória da Conquista (adaptado CBPM, 2014).	33
3.2	Posição das linhas do levantamento de semi-detulhe.	34
3.3	Anomalia Bouguer: interpolada por curvatura mínima com células de 62,5 x 62,5 metros.	35
3.4	Campo Magnético Total: interpolado por curvatura mínima com células de 62,5 x 62,5 metros.	36
3.5	Canal Potássio: interpolado por curvatura mínima com células de 125x125 metros.	37
3.6	Anomalia Bouguer filtrada com <i>Butterworth</i> .	38
3.7	Campo Magnético total filtrado com <i>cosine roll-off</i> de acordo com os parâmetros da Tabela 3.2.	38
3.8	Mapa de razão U/Th com as áreas de maior potencial demarcadas.	39
3.9	Mapa de razão K/Th com as áreas de maior potencial demarcadas.	39
3.10	Mapa de Fator F com as áreas delimitadas nos mapas de razão.	40
3.11	Mapa de Ternário do prospecto Jaguaquara.	40
3.12	Mapa magnético reduzido ao equador com os parâmetros da Tabela 3.3.	41
3.13	Corpos delimitados pela Amplitude do Sinal Analítico categorizados pela profundidade.	42
3.14	Lineamentos mapeadas no Inclinação do Sinal Analítico.	43
3.15	Lineamentos mapeadas no Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total.	44
3.16	Integração dos Lineamentos magnéticos mapeados.	45

3.17	Corpos mapeados com o Gradiente Horizontal Total e categorizados conforme magnitude.	46
3.18	Corpos e Lineamentos magnéticos interpretados.	47
3.19	Espectro de potência magnético com principais tendências.	47
3.20	Anomalias Bouguer: sub divididas em três grupos conforme intensidade. . .	48
3.21	Inclinação do Sinal Analítico com anomalias refinadas.	48
3.22	Semi Derivada Vertical: anomalias categorizadas quanto a intensidade. . . .	49
3.23	Espectro de potência gravimétrico com as 2 principais tendências da região. .	49
3.24	Áreas de interesse interpretadas sobrepostas a geologia local.	50
3.25	Zonas indicadas para extensa pesquisa de detalhe sobreposta ao campo magnético total.	51
3.26	Modelagem conjunta em perfil da Zona 1 na direção Lesto-Oeste.	52
I.1	Medidas petrofísicas realizadas em amostras de campo.	58

Introdução

Os levantamentos aerogeofísicos são fundamentais na exploração mineral, por permitirem a identificação de zonas mineralizadas de interesse econômico, de forma rápida e com baixo custo. Os métodos geofísicos potenciais, dividido em gravimetria e a magnetometria, são os mais comuns e permitem o reconhecimento e o mapeamento de grandes estruturas geológicas que não aparecem na superfície. Estes métodos, juntamente com outros, tais como os eletromagnéticos, gamaespectrométricos e elétricos são amplamente utilizados na procura por petróleo e no mapeamento de jazidas minerais.

A gravimetria utiliza-se de equipamentos muito sensíveis, os gravímetros, capazes de medir a variação na aceleração de gravidade produzida pela distribuição das massas em subsuperfície. Os dados levantados depois de processados e analisados a luz da geologia, podem fornecer informações sobre a distribuição das massas no interior terrestre, tanto em nível local como global. O método geofísico magnético tem por objetivo investigar a geologia com base nas anomalias do campo magnético da terra resultantes das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície. A grande maioria dos minerais formadores das rochas não são magnéticos, entretanto, certos tipos apresentam essa característica e produzem anomalias magnéticas significativas. Estas são detectadas por instrumentos chamados magnetômetros, devido a sua alta sensibilidade, usado para medir a intensidade, direção e sentido de campos magnéticos em sua proximidade. A gamaespectrometria é baseada na medida da emissão de raios gama de elementos radioativos através de detectores apropriados para este fim. Esses dados constituem uma excelente ferramenta para o estudo de solos, uma vez que 90% dos raios gama são emanados nos primeiros 30 cm da superfície terrestre, camada onde os processos pedogenéticos são mais intensos.

A área de pesquisa, preliminarmente, projetada para um modelo metalogenético de depósito do tipo iron-oxide-copper-gold (IOCG) (Silva, Moraes, Garrido e Matos, 2014), de alto interesse econômico sendo assim importante estudos para melhor definir seu potencial mineral.

O objetivo desse trabalho foi determinar a existência e geometria dos corpos fontes de interesse para posterior modelagem conjunta de dados gravimétricos e magnéticos, buscando assim um modelo de subsuperfície coerente geologicamente, para a área de estudo. Todo o fluxo de trabalho foi realizado no *Oasis Montaj* da *Geosoft* e seus módulos adicionais.

Capítulo 1

Métodos Geofísicos

A geofísica é uma ciência que busca investigar a Terra de forma indireta através de princípios físicos, almejando uma melhor compreensão da estrutura, composição e funcionamento do planeta. Com seus variados métodos é possível investigar as mais variadas propriedades físicas que compõem a subsuperfície, em escalas que variam de milhares de quilômetros até poucos metros de profundidade. Nessa pesquisa, foram utilizados três métodos: (i) Gravimétrico, medindo variações no componente vertical do campo gravitacional da Terra; (ii) Magnetométrico, variações no campo magnético Terrestre; (iii) Gamaespectrométrico, medindo-se as concentrações de elementos radioativos.

1.1 Método Gravimétrico

A gravimetria é um método geofísico que permite o estudo da subsuperfície através de medidas da variação do campo gravitacional da Terra, local ou regionalmente, causadas por distribuições anômalas de densidade nas mais variadas profundidades. Estas causam pequenas perturbações nos valores da aceleração gravitacional, denominadas anomalias gravimétricas, que são detectadas pelos gravímetros.

1.1.1 Bases Teóricas

O método em gravimétrico se apoia na Lei da Gravitação Universal de Newton (Equação 1.1), define que a força entre duas partículas de massa m (localizada em um ponto P) e M (localizada em um ponto Q), como mostrado na figura 1.1, é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente ao quadrado da distância entre seus centros de massa (Blakely, 1996):

$$\vec{F}(Q) = \gamma \frac{Mm}{r^3} \vec{r}, \quad (1.1)$$

onde o vetor \vec{r} é direcionado de M a m , r a distância entre m e M , γ a constante de gravitação universal. Por conveniência \vec{F} é sempre atrativa (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976).

A aceleração gravitacional (\vec{g}) em M devido a presença de m é facilmente obtida pela divisão da equação 1.1 pela massa M , assim;

$$\vec{g} = -\gamma \frac{m}{r^3} \vec{r}, \quad (1.2)$$

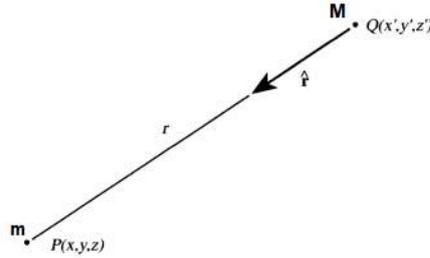


Figura 1.1: Atração gravimétrica entre duas massas no espaço (adaptado de Blakely, 1996).

Simplificando a equação anterior, através da divisão do vetor \vec{r} pela distância r , obtemos o versor que contém a direção da aceleração e fica clara a relação inversa entre sua intensidade e o quadrado da distância entre as massas:

$$\vec{g}(P) = -\gamma \frac{m}{r^2} \hat{r}, \quad (1.3)$$

Assim, as variações de campo medidas em superfície são função da massa do corpo e da sua profundidade, fator que rege e possibilita a interpretação e modelagem geofísica dos dados gravimétricos.

De acordo com o Teorema de Helmholtz, se um campo vetorial \vec{F} é contínuo e zero no infinito, este pode ser expresso pelo divergente de um potencial escalar e o rotacional de um campo vetorial, se esses são conhecidos em todo o espaço (Blakely, 1996). O campo gravitacional satisfaz esse teorema, como pode ser visto na equação 1.3 pela dependência com o inverso do quadrado da distância, podendo ser expresso da forma:

$$\vec{f}(r) = \nabla \cdot A + \nabla \times \vec{B}, \quad (1.4)$$

onde A é uma função potencial escalar e \vec{B} uma função vetorial. Nota-se que, caso o divergente e o rotacional sejam zero em todos os pontos, então o campo deve ser zero ou constante em todos os lugares. Como consequência, o campo pode então ser decomposto em um campo vetorial conservativo (rotacional nulo) e um campo vetorial solenoidal (divergente nulo) (Blakely, 1996). Aplicando o operador divergente em ambos os lados da equação 1.4 prova-se facilmente que, se $\nabla \times \vec{B} = 0$ logo, $\vec{f}(r) = \nabla \cdot A$ e, neste caso, o campo é conservativo. Assim o campo gravitacional pode ser descrito por uma função escalar U dada por:

$$U(P) = \frac{\gamma m}{r}, \quad (1.5)$$

Calculado o potencial, o campo associado a ele pode ser obtido através do seu gradiente, sendo este um método de cálculo muito mais simples que diretamente da Lei da Gravitação. Uma propriedade importante de campos conservativos é que, em regiões livres de fontes, eles obedecem à equação de Laplace, sendo assim harmônicos.

1.1.2 Correções

A magnitude da gravidade depende de cinco fatores: latitude, elevação, topografia, marés e variações de densidade em subsuperfície (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976). A geofísica de exploração busca sempre a definição desse último fator, sendo necessária a remoção dos

outros fatores das medidas gravimétricas, e para isso a aplicação das chamadas correções gravimétricas, detalhadas a seguir.

Correção de Deriva Instrumental

Os gravímetros sofrem variações em suas condições elásticas, resultando em leituras distintas para um mesmo ponto em diferentes instantes. Além disso, as condições ideais de operação precisam ser constantemente verificadas de modo a tornar os resultados do levantamento homogêneo.

Em relação às condições elásticas, a leitura do gravímetro tende a variar com o tempo, mesmo que a aceleração não varie, ou seja, que o aparelho seja mantido no mesmo ponto. Esta variação é denominada de deriva instrumental. A deriva instrumental tem um comportamento diferente se o aparelho estiver estacionado num ponto (deriva estática) ou se estiver em movimento (deriva dinâmica) e as mesmas precisam ser controladas de forma específica. A deriva dinâmica pode ser controlada realizando a leitura final no mesmo ponto ou em outro ponto da rede de referência, num intervalo de tempo não superior ao máximo estabelecido para o aparelho. Já a estática, é recomendada caso haja necessidade de parar, por mais de 1 hora, realizando-se uma leitura ao parar e outra antes de reiniciar o trabalho para controlar a alteração.

Correção da Gravidade Teórica e de Latitude

A gravidade varia com a latitude, devido a forma não esférica da Terra e pelo fato da velocidade angular diminuir do equador para os polos (Kearey, Brooks e Hill, 2009), enquanto o achatamento polar aumenta a gravidade nos polos em relação ao equador pela proximidade ao centro de massa da Terra (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976). Assim a correção é realizada pela equação 1.6:

$$g_T(\text{mGal}) = \frac{g_e(1 - k \sin^2 \varphi)}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 \varphi}}, \quad (1.6)$$

sendo g_e a gravidade do elipsoide de referência em miliGal, φ a latitude, igual a zero no Equador, k é uma constante e ϵ a excentricidade do elipsoide. A correção de latitude é feita subtraindo-se g_T do valor medido.

Correção Atmosférica

A massa da atmosfera não é levada em conta no cálculo da gravidade teórica e deve ser subtraída (Hinze, Aiken, Brozena, Coakley, Dater, Flanagan, Forsberg, Hildenbrand, Keller, Kellogg et al., 2005). A correção atmosférica δg_{atm} usa a altura da estação gravimétrica h , em metros, acima do elipsoide e é dada, em miligais, por:

$$\delta g_{atm} = 0.875 - 9,9 \times 10^{-5}h + 3,56 \times 10^{-9}h^2. \quad (1.7)$$

Correção de Ar Livre

Uma vez que a gravidade varia com o inverso da distância, é necessário corrigir possíveis elevações entre as estações gravimétricas e a superfície de referência (*Datum*). Correção está que é realizada pela equação 1.8 abaixo,

$$\delta g_h(\text{mgal}) = 0,308769108 \times h, \quad (1.8)$$

h em metros. Vale ressaltar que esta não leva em conta a presença de massa entre a estação e o *Datum*.

Correção de Terreno

É responsável por corrigir as influências das irregularidades do terreno na vizinhança das estações. Ela é feita através de um modelo computacional de terreno, que leva em consideração as áreas entorno (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976). É comum utilizar dados disponibilizados, gratuitamente, pelo instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através das Folhas altimétricas ou dados adquiridos durante outros levantamentos regionais.

Correção Bouguer

É realizada pela determinação do efeito de gravidade devido a uma placa de dimensões horizontais infinitas, de espessura finita h , dada pela diferença entre a superfície do elipsoide e a altura da estação, e que possui densidade homogênea ρ . Se a estação está em uma altitude inferior ao *datum*, a correção Bouguer (δg_{BC}) é feita para levar em conta o efeito gravitacional da falta de rochas entre o *datum* e a estação de leitura. Caso contrário, a correção Bouguer considera o efeito gravitacional da existência de rochas entre o *datum* e a estação de leitura.

Essa correção é dada por:

$$\delta g_{BC}(\text{mGal}) = 2\pi G\sigma h = 4,193 \times 10^{-5}\sigma h, \quad (1.9)$$

onde G é a constante gravitacional, σ a densidade da placa em kg/m^3 e h é a altura elipsoidal da estação em metros.

1.2 Método Magnético

A magnetometria é um método geofísico que utiliza informações do campo magnético da Terra para investigação de estruturas em subsuperfície, onde as modificações do campo, causadas por estruturas geológicas que possuem magnetização, são responsáveis pelas chamadas anomalias magnéticas.

1.2.1 Bases Teóricas

Na ausência de um campo magnético externo, materiais com propriedades ferromagnéticas terão orientações aleatórias. Quando exposto a um campo magnético externo, como o campo geomagnético da Terra, as linhas de campo irão rotacionar em direção a ele. Desta forma, a orientação de magnetização do material não será mais aleatória e este é dito magnetizado.

A densidade de fluxo magnético, fluxo magnético por unidade de área e também chamado de indução magnética, é denotado por \vec{B} . Sendo \vec{H} a intensidade do campo magnético, temos:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (1.10)$$

onde, μ é a permeabilidade magnética. No sistema de unidades internacional (SI), \vec{H} é medido em *ampere* por metro (Am^{-1}). A unidade de fluxo magnético é volt segundo (Vs), também conhecida como *Weber*. Dessa forma, \vec{B} é expresso em Vsm^{-2} , mais conhecido como *Tesla* (T). Os campos magnéticos que são aferidos na geofísica são da ordem de nanoteslas ($1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$). Já a permeabilidade magnética (μ) é aferida em ohm metro por segundo (Ωms^{-1}). Para fins de aplicação em geofísica, considera-se que a permeabilidade do ar e das maioria das rochas é igual a do vácuo (μ_0), tendo valor igual a $4\pi \times 10^{-7} \Omega \text{m s}^{-1}$.

A intensidade de magnetização de um corpo é medido pela polarização magnética \vec{M} (conhecida também como intensidade de magnetização ou momento dipolo por unidade de volume) dada em *Ampere* por metro (Am^{-1}). Para campos magnéticos de pequena magnitude, como o geomagnético, \vec{M} é proporcional a intensidade e direção de \vec{H} . Esses são relacionados através de uma constante conhecida como susceptibilidade magnética (χ), que é definida como:

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}}, \quad (1.11)$$

Reescrevendo a indução magnética levando em consideração a magnetização, temos que

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H}, \quad (1.12)$$

A susceptibilidade magnética é a propriedade física mais importante na magnetometria. A resposta de um corpo em subsuperfície é mais intensa quanto maior susceptibilidade.

Os levantamentos geofísicos de magnetometria podem medir a anomalia de campo total ou, somente, um único componente da intensidade de campo magnético (B_i), onde a anomalia de campo total seria dada por:

$$\Delta T = -C_m \hat{\mathbf{F}}_r \cdot \Delta_p \int_R \mathbf{M} \cdot \Delta_Q \frac{1}{r} dv, \quad (1.13)$$

onde ΔT é a anomalia de campo total, r é a distancia do ponto de observação P até o elemento dv da fonte e $\hat{\mathbf{F}}_r$ é o vetor unitário na direção do campo regional.

1.2.2 Correções

Em função do caráter dipolar do campo magnético terrestre, a direção e inclinação do campo variam ao longo da superfície, influenciando no padrão da anomalia gerada em diferentes localizações. Para contornar este problema, transformam-se os dados coletados corrigidos em produtos derivados que auxiliam na interpretação.

Assim como no Método Gravimétrico, é necessário realizar correções para eliminar artefatos derivados da aquisição ou característicos do campo geomagnéticos, que pela sua magnitude, venha mascarar feições de interesse.

Remoção da Variação Magnética Diurna

Essas variações temporais do campo geomagnético são causadas por pulsações geomagnéticas ou micro pulsações e ocorrem randomicamente, possuindo períodos que variam de 1 segundo até um pouco mais de 2 minutos, com amplitudes de 0,1 nT.

A correção da variação diurna é realizada por meio de uma estação de base fixa. Essa irá fazer leituras periódicas do campo magnético ao longo do dia. As diferenças observadas

nas leituras da base são distribuídas entre as estações ocupadas durante o dia, de acordo com o seu horário de observação (Kearey, Brooks e Hill, 2009).

Correção Geomagnética

A correção geomagnética é o equivalente magnético da correção de latitude de levantamentos gravimétricos, que remove o efeito de um campo geomagnético de referência dos dados do levantamento (Kearey, Brooks e Hill, 2009). Pode ser realizada de diversas formas, a mais utilizada é remover o *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Modelos padrões do campo terrestre regional são baseados em observações terrestres e de satélites (Figura 1.2). Eles fornecem uma estimativa do campo como uma função da posição, incluindo altura acima da elipsoide terrestre e do período em que foi realizado o levantamento.

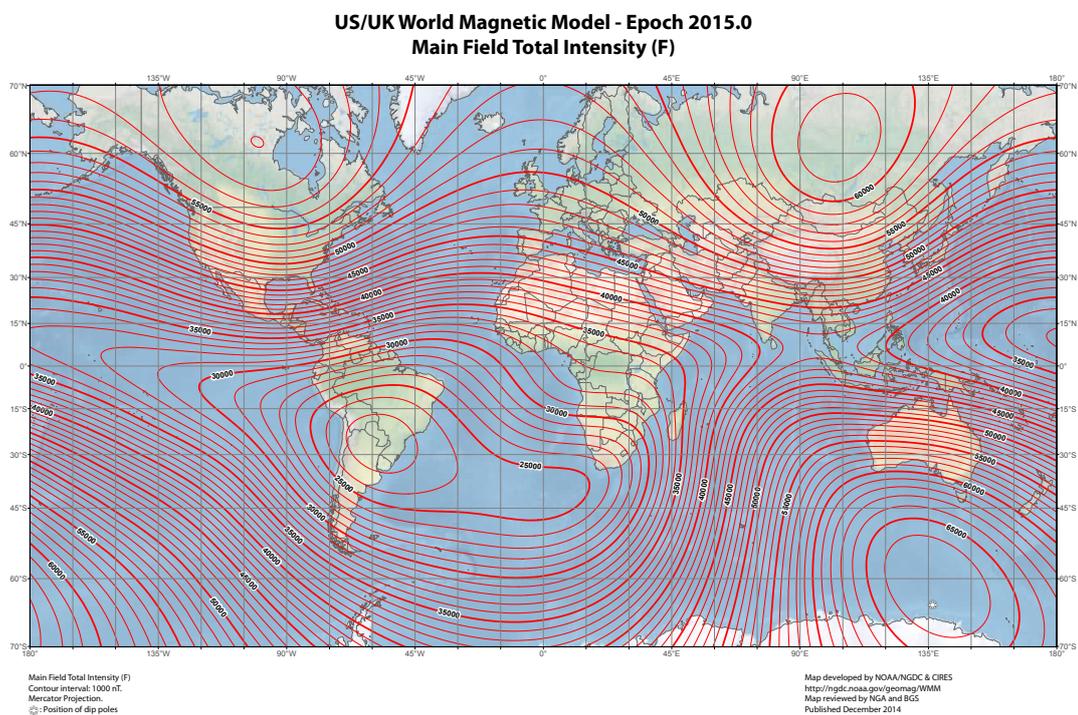


Figura 1.2: Modelo do IGRF 2015 para intensidade Total (Fonte: NOAA).

1.3 Processamento de Dados Potências

A geofísica de exploração é aplicada para encontrar corpos anômalos que possam ter alguma relevância econômica. Com o intuito de amplificar e isolar as respostas desses corpos são utilizadas uma variedade de técnicas matemáticas e computacionais.

1.3.1 Separação Regional-Residual

Para se obter informações específicas de fontes rasas ou profundas se faz necessário a separação do regional-residual, já que os dados geofísicos são referentes às influências de fontes

de variadas profundidades. Sendo fundamental sua realização a priori de qualquer processamento, pois permite o enfoque específico do tipo de pesquisa. O campo residual pode ser obtido de diversas formas, diretamente de filtros de frequências ou indiretamente, a partir da obtenção do regional por continuação para cima e o ajuste polinomial e posterior subtração (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976). Neste trabalho foi utilizada a técnica do ajuste polinomial.

$$\text{Campo Residual} = \text{Campo Original} - \text{Campo Regional} \quad (1.14)$$

É importante ressaltar que este é um conceito relativo, isto é, o residual para este trabalho, pode ser ruído para outros e vice versa. Assim um conceito que varia com o tipo e objetivo do estudo.

1.3.2 Continuação para Cima

Essa técnica é empregada tanto na gravimetria, quanto na magnetometria, com a finalidade de atenuar as anomalias causadas por fontes próximas da superfície em relação a estruturas profundas (Blakely, 1996).

É útil para uma estimativa do campo regional na área em estudo, assim como determinar o quanto um corpo se prolonga na vertical. É um processo muito utilizado por sua estabilidade, sendo o operador de continuação para cima no domínio de Fourier dado:

$$F(uc) = e^{-\Delta z|k|}, \quad (1.15)$$

onde, δz é a distância em que deseja continuar e $|k|$ é o número de onda. A continuação para baixo é o processo inverso e mais instável que a continuação para cima. A continuação pode ser realizada de forma simples, basta aplicar a transformada de Fourier no dado, multiplicar o mesmo pela equação 1.15 e fazer a transformada inversa do resultado (Blakely, 1996).

1.3.3 Derivadas Direcionais

Considerando o eixo vertical z positivo para baixo e que $\delta z > 0$. O filtro ou operador de derivada pode ser expresso no domínio de Fourier por:

$$F(dd) = |k|^n, \quad (1.16)$$

onde n é o grau da derivação e $|k|$ é o número de onda. As derivadas primeira e segunda são as mais utilizadas para interpretação de dados magnéticos, por realçarem as bordas das anomalias e as características mais rasas. Porém, em alguns casos onde o ruído for muito elevado podemos utilizar as semi derivadas como exposto por De Aragão (2014).

1.3.4 Amplitude do Sinal Analítico

A Amplitude do Sinal Analítico é muito utilizado por localizar as bordas das fontes, demarcadas nos maiores valores. É obtido através das derivadas direcionais dos campos potenciais, como demonstrado a seguir:

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\delta CP}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta CP}{\delta y}\right)^2 + \left(\frac{\delta CP}{\delta z}\right)^2}, \quad (1.17)$$

onde CP é o campo potencial. Vale notar que ele também pode eliminar o caráter dipolar das anomalias magnéticas.

1.3.5 Redução ao Polo ou ao Equador

Quando um dado magnético é medido em locais onde a magnetização e o campo não são verticais, uma distribuição de magnetização simétrica irá produzir uma anomalia distorcida, ou seja, irá deslocá-la lateralmente, distorcendo seu formato e até mesmo mudando o seu sinal (Blakely, 1996). Este fato pode ser corrigido através das técnicas de redução do dado, seja ela reduzindo ao polo ou ao equador. Em resumo, consistem em transpor o campo como se este tivesse sido medido no norte magnético ou na latitude zero corrigindo o efeito dipolar nos dados.

A escolha de se reduzir ao Norte magnético ou ao Equador deve ser feito tendo em vista a latitude da região estuda (MacLeod, Jones e Dai, 1993). Para baixas latitudes a Redução ao Equador é a mais indicada, porém, está acaba por alongar os corpos na direção Leste-Oeste e faz se necessário uma correção de amplitudes Norte-Sul.

1.3.6 Gradiente Horizontal Total

O Gradiente Horizontal Total (GHT) é utilizado na detecção de bordas de corpos fontes de anomalias de campos potenciais. Este gradiente irá se posicionar diretamente sobre as bordas do corpo caso essa seja vertical e distante das outras bordas ou fontes (Blakely, 1996).

Terá ainda sua amplitude máxima sobre a borda da fonte e a mínima sobre sua parte central, por ressaltar altas frequências. Desta forma, quanto mais profundo o corpo, menor será a intensidade do sinal. O Gradiente pode ser calculado diretamente das derivadas, conforme mostrado abaixo:

$$|GHT| = \sqrt{\left(\frac{\delta CP}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta CP}{\delta y}\right)^2}, \quad (1.18)$$

onde CP podem ser os campos potenciais, δx é a derivada na direção x e δy na direção y .

1.3.7 Tilt Angle ou Inclinação do Sinal Analítico

A Inclinação do Sinal Analítico (ISA) é uma transformação de fase que pode ser utilizada para detectar fontes magnéticas ou gravimétricas fornecendo informações sobre sua extensão horizontal, sendo útil no mapeamento de lineamentos rasos do embasamento e em alvos de exploração mineral. É definida como a razão entre a Primeira Derivada Vertical (PDV) e o Gradiente Horizontal Total (GHT), isto é:

$$\theta = \arctan \left[\frac{PDV}{GHT} \right], \quad (1.19)$$

onde

$$PDV = \frac{\delta CP}{\delta z} \text{ e } GHT = \sqrt{\left(\frac{\delta CP}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta CP}{\delta y}\right)^2}, \quad (1.20)$$

onde CP pode ser o campo magnético ou o gravimétrico e δx , δy e δz são as derivadas na direções x , y e z respectivamente.

Nota-se que pela natureza do arco-tangente, os valores se limitam de $-\pi/2$ a $\pi/2$, assim independente da amplitude da derivada vertical e da horizontal. Isto faz com que a amplitudes do Inclinação do Sinal Analítico sejam equalizadas, isto é, lineamentos profundo são mapeados com mesma intensidade que os mais rasos (Salem, Williams, Fairhead, Smith e Ravat, 2007). O pico positivo se posiciona sobre as fontes e os limites são demarcados sobre o zero.

1.3.8 Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total

Sendo outro método eficaz de detecção de bordas, tem como objetivo realçar o Gradiente Horizontal Total de anomalias utilizando a inclinação (fase) do sinal analítico, onde a máxima também se localiza sobre as bordas do corpo.

O ISA-GHT fornece uma melhor resolução dos limites dos corpos, pois a fase do sinal analítico equaliza as amplitudes do gradiente horizontal (Ferreira, de Souza, de Barros, Bongioio, de Castro e Romeiro, 2010), ou seja, ao se aplicar o ISA no GHT, sinais provenientes de fontes em qualquer profundidade são equalizados. Sendo facilmente calculado pelas derivadas lineares do GHT, como segue:

$$ISA_GHT = \arctan \left[\frac{\frac{\delta GHT}{\delta z}}{\sqrt{\left(\frac{\delta GHT}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta GHT}{\delta y}\right)^2}} \right]. \quad (1.21)$$

1.4 Ambiguidade

A ambiguidade é um problema inerente aos métodos relacionados a campos potenciais e a sua maior limitação quanto a seu uso isolado (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976). Em resumo, é definida como a incapacidade de se determinar o modelo de subsuperfície (geometria, distribuição de propriedade física e posição) que causará a anomalia medida em superfície. Este problema pode ser demonstrado pela teoria do potencial e é expressa pela terceira identidade de Green para funções harmônicas:

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\frac{1}{r} \frac{dU}{dn} - U \frac{d}{dn} \frac{1}{r} \right] dS. \quad (1.22)$$

A equação 1.22 demonstra que um potencial harmônico pode ser calculado em qualquer ponto de uma região em que ele é harmônico através dos valores do potencial (U) e das suas derivadas normais ao longo da fronteira S dessa região (Blakely, 1996). Este potencial também será harmônico em todas as sub-regiões em que ele é avaliado e, assim, a terceira identidade de Green é válida em todas elas. Logo, o potencial em um ponto pode ser causado por uma infinidade de distribuições superficiais.

Para se contornar este problema, deve-se sempre que possível associar aos dados geofísicos de métodos potenciais a outros e as informações geológicas de caráter regional e local, de modo a limitar os modelos possíveis e gerá-los o mais coerente com a realidade quanto possível.

1.5 Gamaespectrometria

O físico alemão Wilhelm Conrad estudou o fenômeno de luminescência nas paredes de tubos de raios catódicos quando esses eram enrolados por uma cartolina preta e percebeu que, mesmo assim, causavam luminescência em uma fina película de platino-cianeto-bário, ainda que está estivesse em outro comodo. Esse foi o ponto de partida para um grande número de pesquisas, em 1895, para entender esse fato.

Após a compreensão do fenômeno, foram procuradas formas de aferi-lo. Diversos instrumentos foram criados, mas o grande incentivo nesse campo de pesquisa ocorreu devido a necessidade de novos depósitos de Urânio para fins bélicos, dando início em 1947 as primeiras aquisições radiométricas aéreas.

1.5.1 Bases Teóricas

As aquisições radiométricas medem a energia emitida por isótopos instáveis. Essa energia são de três tipos principais (Figura 1.3):

- **Partículas Alfa (α):** São núcleos de hélio (${}^4_2\text{He}$). Desta forma, após um decaimento alfa o núcleo tem seu número de prótons reduzido em duas unidades e sua massa atômica em quatro. As partículas alfa possuem massa e carga por isso são facilmente absorvidas em poucos centímetros da atmosfera. Somente nuclídeos com números atômicos relativamente altos decaem por radiação alfa.
- **Partículas Beta (β):** São elétrons (e^-) que podem ser emitidos quando um nêutron se divide em um próton e um elétron durante certas desintegrações. O primeiro continua dentro do núcleo de forma que o peso atômico permanece constante, mas o número atômico aumenta uma unidade para formar um novo elemento. Ela é facilmente absorvida e só consegue viajar alguns metros na atmosfera.
- **Radiação Gama (γ):** São fótons liberados de núcleos excitados durante as desintegrações. A radiação gama apresenta frequência em torno de 10^{-16} Hz, aproximadamente, e diferem dos raios-X, somente por serem de energia mais alta. Como não possuem carga, nem massa, o poder de ionização dos raios gama é muito mais baixo do que o das partículas α e β e, portanto, seu poder de penetração na matéria é muito maior. Devido as suas características, a radiação gama é a mais viável e disponível para aferição em levantamentos.

Além dessas emissões existe outro processo de menor importância que ocorre em alguns elementos radioativos que também libera energia na forma de raios gama. Este é chamado captura K e se dá quando um elétron da casca mais interna (K) penetra no núcleo. Então, o número atômico decresce e um novo elemento é formado:



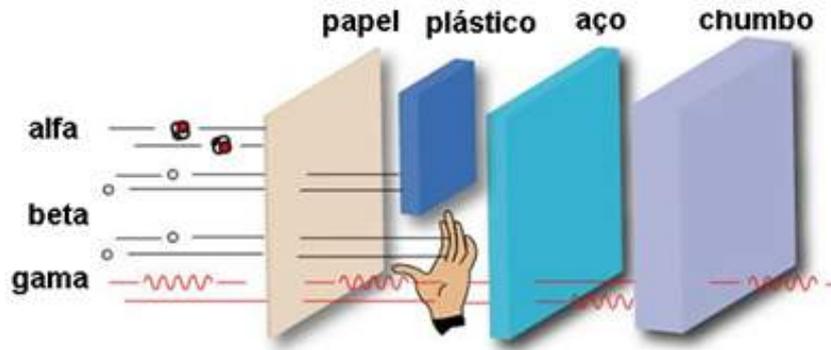


Figura 1.3: Poder penetrativo das radiações (Fonte: Brasil Escola).

As emissões tem capacidades de penetração muito diferentes. Por essas razões não são todas que são detectadas em levantamentos geofísicos. No ar, as partículas alfas tem a capacidade de percorrer poucos centímetros, as betas sendo mais resistentes alcançam alguns decímetros, já os raios gama resistem a varias centenas de metros na atmosfera. Por essas diferenças de alcance, somente as partículas Beta e Gama são utilizadas na geofísica para levantamentos terrestres e aéreos, respectivamente.

As energias de interesse geológico estão entre 0,2 e 2,0 Mev (de Lima, 2014). Todos os elementos com número atômico igual ou superior a 84 são radioativos, entretanto, superiores ao do Urânio (92) são artificiais.

Dentre os mais de 200 nuclídeos radioativos, somente Potássio (K), Urânio (U) e Tório (Th) são utilizados em pesquisas de radioatividade natural da rochas e dos materiais da crosta devido a sua abundância, ordem de grandeza e suas meias vidas, e a possibilidade de detecção por cintilometria gama direta ou por elementos filhos.

A radiação gama utilizada nas pesquisas radiométricas é originada por decaimentos radioativos, um evento aleatório, onde a taxa de decaimento é proporcional ao número de determinado tipo de isótopos presentes num certo instante. A expressão do decaimento radioativo é dada por:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt, \quad (1.24)$$

resolvendo esta equação, podemos obter:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.25)$$

onde, λ é a constante de decaimento radioativo, N_0 é o número de radionuclídeos presentes no tempo $t = 0$ e o N o número de nuclídeos presentes após o tempo t .

A meia vida de um radionuclídeo (T) é definida como o tempo para que metade dos núcleos de um dado isótopo decaiam, ou seja, transcorrido o tempo de meia vida resta metade dos isótopos radioativos originais, assim:

$$T = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (1.26)$$

As atividades radioativas são aferidas atualmente de forma mais comum utilizando se o Becquerel (Bq), que equivale o uma desintegração por segundo (cps).

1.5.2 Correções

As correções que devem ser aplicadas aos dados radiométricos são especificadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), objetivando remover falseamentos dos dados causados pela aeronave, altura de voo entre outras, levando a medidas mais elevadas de um ou mais elementos.

Tempo Morto

Após a realização de ciclo de contagens, o gama espectrômetro necessita de um intervalo para realizar o registro dessas medidas, durante esse período não são feitas novas medições. Esse espaço de tempo recebe o nome de tempo morto. A correção é feita com base no tempo de medida (*Live time*) e seus valores, seguindo a expressão:

$$N = \frac{n}{1 - C_T \times t}, \quad (1.27)$$

onde N representa os valores corrigidos em contagens por segundo (cps), n é o valor das contagens observadas em cps, C_T é a contagem total de todos os canais e t é o valor de tempo morto do equipamento por ciclo.

Correção do Efeito Compton

A correção é feita para eliminar a influência das radiações atribuídas aos canais de mais alta energia nos de menor energia. Ou seja, contribuições do Tório observadas nos canais de Potássio e Urânio, e contribuições do Urânio no de Potássio. Em sistemas, com levantamentos mais precisos o oposto também é realizado, isto é, a influência dos de menor energia nos de maior (Ribeiro, Mantovani e Louro, 2014).

Conversão para Concentração dos Elementos

Para determinar a sensibilidade dos detectores (S) é considerada a razão entre as medidas aéreas (A) e terrestre (T);

$$S = \frac{A}{T}. \quad (1.28)$$

Para calcular a Taxa de Exposição do canal de contagem total (em $\mu\text{R/h}$), tem se a expressão:

$$E = 1,505 \cdot k + 0,0653 \cdot eU + 0,287 \cdot eTh, \quad (1.29)$$

os valores de k , eU e eTh são medidos em terra.

Como o Th e U são radioisótopos não emissores de radiação gama, suas concentrações são determinadas indiretamente pela medição da radiação gama emitida por núclídeos radiogênicos (filhos) pertencentes às respectivas séries de decaimento. Por se tratarem de estimativas indiretas, as concentrações desses radioisótopos, que podem apresentar desequilíbrio radioativo, expressas em parte por milhão (ppm), são denominadas, respectivamente, equivalente de tório (eTh) e equivalente de urânio (eU).

1.5.3 Interpretação

A radiação gama apresenta um maior índice de penetração tanto para fontes naturais quanto para construídas pelo homem. Radionuclídeos individuais emitem raios gama com energia específica característica para cada elemento e isótopo, o que a torna uma ferramenta muito útil no mapeamento de regiões com potencial exploratório ou com litologias indiferenciadas.

A interpretação de dados radiométricos devem levar em consideração uma variedade de mapas que buscam ressaltar características composicionais distintas, ao demonstrar o enriquecimento ou empobrecimento desses elementos. Os principais são os mapas de K, eU e eTh individualmente, os mapas das razões entre os teores e o Fator f . Deve-se porém sempre levar em conta informações da geologia local.

Mapas Razão

A partir das contagens individuais dos radioelementos é possível gerar os mapas de razões entre eles (eU/eTh , eU/K e eTh/K). Os mapas são utilizados para destacar a diferença observada entre as concentrações dos elementos radiométricos em corpos graníticos em uma mesma região ou mesmo identificação de áreas com forte alteração hidrotermal do tipo potássica e/ou sílica (dois tipos de alteração com maior concentração do elemento K). A variação de concentração é resultado principalmente da geologia local (predomínio de um ou outro tipo geoquímico de granitoide), do processo de enriquecimento (por exemplo, por diferenciação magmática e/ou por ação hidrotermal) e pelo grau de intemperismo sofrido (Ribeiro, Mantovani e Louro, 2014).

Fator F

É possível também analisar a razão entre os elementos radiométricos a partir do cálculo do parâmetro F (Gnojek e Přichystal, 1985), o qual é definido por:

$$F_{fat} = \frac{K * eU}{eTh}. \quad (1.30)$$

O mapa do parâmetro F realça o enriquecimento de Potássio e Urânio em relação ao Tório, principalmente quando associado a áreas com alteração hidrotermal (Shives, Charbonneau e Ford, 2000). Áreas com forte intemperismo e alta lixiviação do Potássio tendem a apresentar valores para o parâmetro F muito baixos, enquanto que maciços rochosos que foram submetidos ao enriquecimento de Potássio e Urânio por alteração hidrotermal tendem a apresentar altos valores (Ribeiro, Mantovani e Louro, 2014).

Mapa Ternário

Assim como os mapas de razões, o mapa ternário é utilizado para ressaltar contrastes entre áreas com diferentes concentrações dos três elementos que podem não estar tão evidentes nos primeiros mapas, facilitando assim a interpretação dos dados (Milligan e Gunn, 1997).

O mapa ternário dos elementos radiométricos é gerado a partir da associação de uma determinada cor a cada um dos radioelementos dependendo do padrão de coloração utilizado. O padrão RGB associa as cores vermelho, verde e azul ao Potássio (em %), Tório e Urânio (ambos, em ppm) respectivamente. O padrão CMY por sua vez considera as cores ciano (Potássio), magenta (Tório) e amarelo (Urânio) como base para composição do mapa. As gradações características desses mapas indicam a variação do teor de cada um dos elementos

considerados, a cor branca representa altas contagens dos três elementos na escala RGB, enquanto na CMY é o oposto.

1.6 Modelagem Direta Geofísica

A interpretação quantitativa tem por objetivo caracterizar as respostas geofísicas de maneira direta através da modelagem matemática. Chama-se de modelagem direta o processo de calcular a resposta geofísica para um conjunto de parâmetros (profundidade, propriedade físicas entre outros), a exemplo da figura 1.5, e de modelagem inversa o cálculo desses parâmetros a partir da anomalia geofísica medida.

A modelagem direta foi a metodologia aplicada nesse trabalho, através do pacote GM-SYS no *Oasis Montaj* da Geosoft, que se baseia na clássico artigo de Talwani (Talwani, Worzel e Landisman, 1959).

1.6.1 Bases da Modelagem

A modelagem direta consiste, resumidamente, em calcular a resposta de uma distribuição de subsuperfície e comparar esta aos dados medidos e iterativamente reformular os parâmetros do modelo e de forma repetitiva, até que a resposta se aproxime o máximo possível dos valores medidos, como exemplificado na figura 1.4.

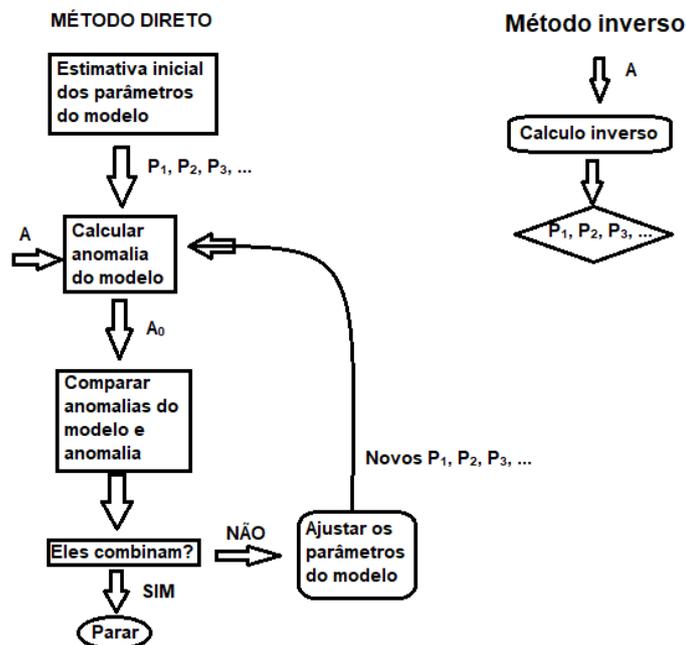


Figura 1.4: Passos da modelagem direta e inversa (adaptado de Blakely, 1996).

Pode parecer uma metodologia simples, porém a geologia em subsuperfície é complexa, e os modelos não carregam com si essa complexidade na maioria das vezes. Fazendo com que as respostas do modelo por mais que se aproximem dos dados reais não representem a subsuperfície de maneira verdadeira, sendo a inclusão de informações externas uma boa solução para esse problema.

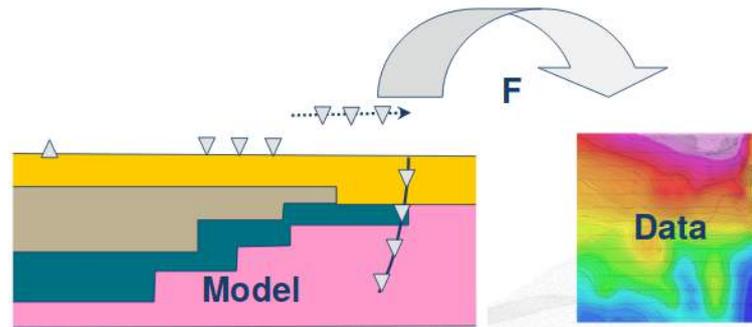


Figura 1.5: Exemplificação da modelagem direta (Fonte: Mira Geoscience).

Essas informações geológicas e geofísicas disponíveis perto ou na própria região de estudo, podem também ser utilizadas com informações a priori para a geração dos modelos. Informações como mapeamento geológico, testemunhos, geoquímica e outros métodos geofísicos, como eletromagnéticos, podem auxiliar na definição de parâmetros e formas dos corpos em subsuperfície.

A modelagem direta é facilmente descrita matematicamente por:

$$\mathbf{d} = \mathbf{F}(\mathbf{m}), \quad (1.31)$$

onde \mathbf{d} é a resposta do modelo, \mathbf{m} é o modelo desenvolvido e \mathbf{F} é o operador que representa as equações que governam o método utilizado (Blakely, 1996).

Capítulo 2

Prospecto Jaguaquara

O município de Jaguaquara está localizado no centro leste da Bahia, possui área de aproximadamente 924.743 Km² (Figura 2.1) e população, de acordo com o senso demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010 de 51.011 habitantes.

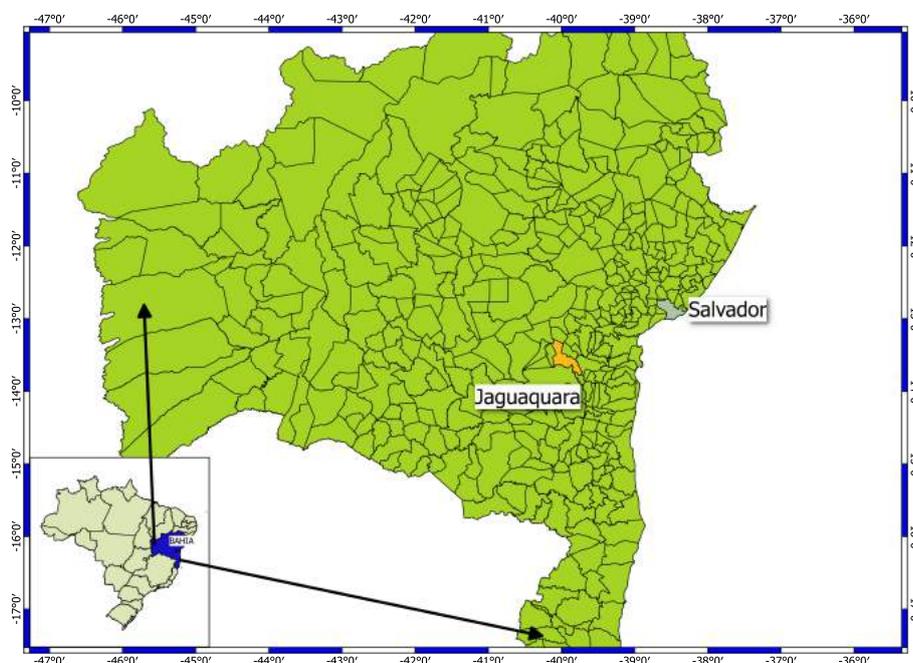


Figura 2.1: Localização do município Jaguaquara, Bahia.

A fim de impulsionar a produção mineira no estado, a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) executa levantamentos aerogeofísicos de alta resolução desde 2000, com o objetivo de prover informações seguras ao setor privado sobre a estrutura geológica do estado, incentivando a descoberta de novas áreas interesse.

A área de pesquisa desse trabalho que compõe o Prospecto Jaguaquara (Figura 2.2), localiza-se a sudoeste do município homônimo, compreendendo uma área de 11,25 Km², tendo sido selecionada do levantamento Rui Barbosa-Vitoria da Conquista devido a uma forte anomalia magnética N20°E, associada à presença de rochas alcalinas fortemente albitizadas, intrudidas em litologias da facie granulítico caracterizadas como charnockitos e enderbitos.

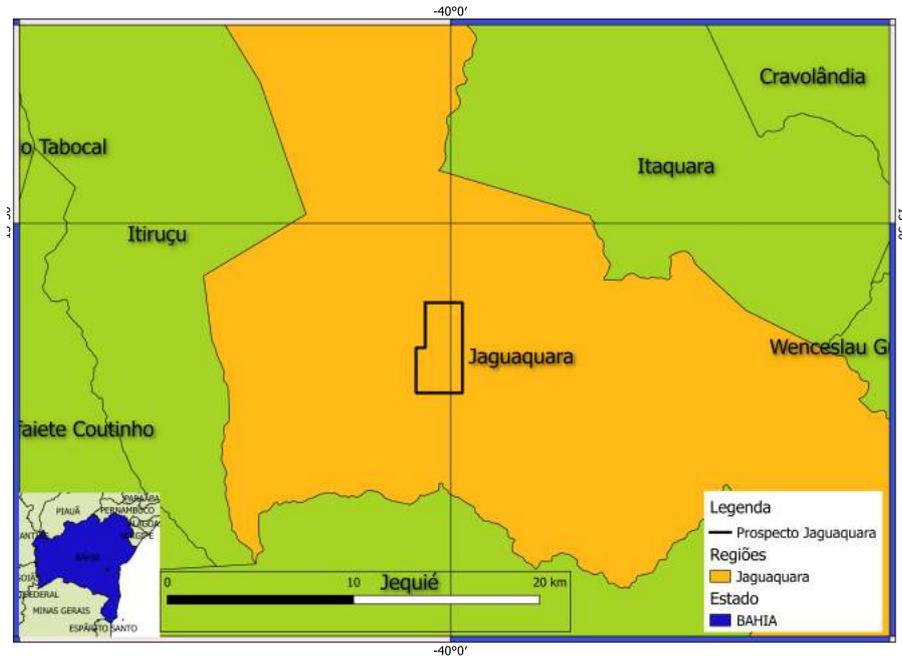


Figura 2.2: Localização do Prospecto Jaguaquara, Bahia.

2.1 Geologia Regional

O encontro do bloco Jequié e do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá (OISC) entidades que fazem parte do embasamento do Cráton do São Francisco (Almeida, Hasui, Brito Neves e Fuck, 1977) gerou uma zona de fraqueza crustal muito favorável à migração de possíveis fluidos mineralizantes. Regionalmente, o Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá apresenta diversas mineralizações em sua extensão, sendo composto por litologias afetadas por metamorfismo de alto grau da facie granulito.

A colisão continental que levou a estruturação dos litotipos da área de pesquisa possui sua história metamórfica deformacional inserida na evolução do Cráton do São Francisco-CSF (Almeida, Hasui, Brito Neves e Fuck, 1977). O setor norte do CSF teve sua mais importante estruturação na chamada Orogênese Paleoproterozóica, considerada responsável pela amalgamação de quatro segmentos crustais arqueanos (Figura 2.3): o Bloco Gavião, o Bloco Jequié, o Bloco Serrinha e o Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá (Barbosa e Dominguez, 1996). A área de estudo dessa pesquisa está inserida mais ao sul, regionalmente, na interface do Bloco Jequié com o Orógeno Salvador-Itabuna-Curaçá (Moraes, Silva, Garrido e Michele, 2014).

A formação do orógeno está relacionada com o cavalgamento do Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá (BISC) sobre o Bloco Jequié, e desse sobre o Bloco Gavião (Figura 2.4). A origem do OISC está relacionada com o estágio final dessa colisão continente-contidente, resultante da edificação de um arco continental e geração da cadeia montanhosa, que hoje tem exposta, somente, sua raiz devido a processos erosivos.

O estágio final, datado de 2,0 Ga, é marcado por intrusões charnockíticas e graníticas, movimentação transcorrente sinistral tardia, exemplos deste evento são a intrusão charnockítica de Brejões, no Bloco Jequié, e múltiplas intrusões graníticas, a norte do OISC (Leite, 2002). A colisão mudou o zoneamento metamórfico original, colocando fácies de mais alto grau sobre as de menor grau metamórfico, de modo a transformar os litotipos do Bloco Jequié

enderbíticos, uma de baixa concentração de TiO_2 , e outra de alto teor de TiO_2 (Fornari e Barbosa, 2017). Litologias diversas ocorrem associadas às rochas granulíticas regionais, em parte supracrustais, compostas por gnaiss gabronorítico, formações ferríferas, quartzito e rochas calcissilicáticas. O Complexo apresenta idades entre 2,81 Ga e 2,68 Ga (método U-Pb) nas suítes charnockítico-enderbíticas (Alibert e Barbosa, 1992) e idades entre 2,47 Ga e 2,71 Ga em gnaisses charnockíticos (Silva, 1992). São encontrados no Complexo Jequié corpos de granitóides intrusivos, constituídos por pequenos stocks de composição granítica a granodiorítica até sienítica.

2.2 Geologia Local

Segundo Silva et al. (2014), o mapeamento geológico realizado (Figura 2.5), foi possível detectar um suíte de rochas alcalinas, intercaladas em rochas granulíticas, afetadas por processos metassomáticos hidrotermais, decorrentes de uma série de falhamentos e cisalhamentos profundos, em multi estágios, que permitiram as ascensões de fluidos hidrotermalizantes, em princípio sódio à cálcio, seguido por fluidos de caráter oxidativos com a presença de magnetita, rico em elementos terras raras (ETR) e radioativos. Neste processo, o sódio promoveu uma albitização extensiva que atingiu em graus variados os litotipos sieníticos até transformá-los em albitos e o cálcio, por outro lado, levou a presença de epidoto e clinzoisita nos epidoto - albititos. Ainda segundo esses autores, foram detectados indícios de sulfetação de cobre (calcopirita e bornita) na encaixante granulítica. A geoquímica de solo revelou anomalias de ítrio e outros ETR e, finalmente, os estudos petrográficos ressaltaram a presença de minerais de Urânio (uraninita) e de fosfato (apatita), além de monazita e zircão hidrotermal (Silva, Moraes, Garrido e Matos, 2014).

A região de estudo é composta por uma cobertura amarelada areno-argilosa quartzosa e pelas unidades geológicas: concreção ferruginosa, veio de quartzo, tremolitito, sienito albitizado, Albitito e charnockito/enderbitito gnaiss com e sem silificação (CBPM, 2015b). A Cobertura Detrítica-Residual é caracterizada por sedimentos areno-argilosos, quartzosos, sub-angulosos e de coloração amarela alaranjada, por vezes com tons avermelhados. Concreção ferruginosa ocorre restritamente, a qual é caracterizada por uma rocha supergênica de granulometria fina, apresentando cor cinza castanho, composta, essencialmente, por fragmentos de quartzo em meio a uma matriz silicosa com limonita e goethita (CBPM, 2015b).

As rochas alcalinas exibem processos de hidrotermalismo, tais como albitização, epidotização e a permeação de fluidos com óxidos de ferro, porém com graus bastante incipientes. Verificou-se, ainda, que nestas rochas, localmente, a presença de óxidos de ferro (magnetita/ilmenita), que foram atribuídos a paragênese original destas. Nessa região os sienitos apresentam coloração rósea a cinza, alternando com porções claras, granulção fina a média, estrutura foliada a bandada, localmente “augen”, composta por feldspato, máficos e opacos. Ocorrem como afloramentos, com foliações, em geral, subverticais de direção NNE-SSO e matações. A unidade de Sienito Albitizado é composta por sienitos com variação local para monzonitos, as quais exibem variados graus de albitização. Estas rochas apresentam foliações, em geral, NE-SW, com mergulho entre 60° e 80° tanto para NO, quanto para SE. São rochas de coloração rosada a esbranquiçada, granulometria fina a média, localmente grossa, estrutura gnáissica a milonitizada, bandamento dada pela alternância milimétrica a centimétrica de bandas com magnetita-ilmenita intercaladas a quartzo + albita + clinopiroxênio / anfibólio sódico (CBPM, 2015b).

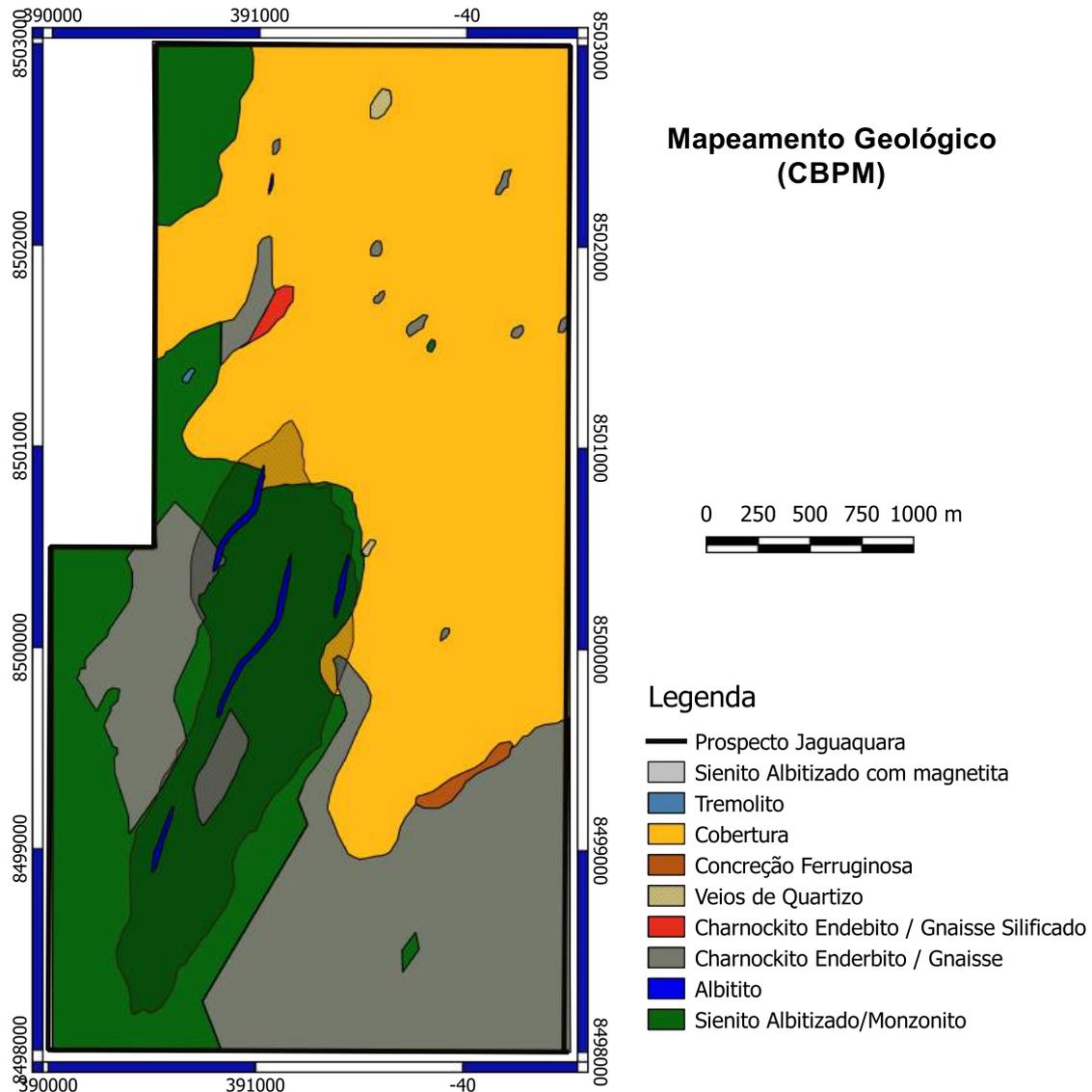


Figura 2.5: Mapeamento Geológico do Prospecto Jaguaquara (Adaptado CBPM (2015b)).

Os Albititos metassomáticos são rochas de coloração cinza a rosada com manchas esverdeadas, granulação fina a média, estrutura deformada a milonitizada. Derivados da rocha alcalina afetada pela intensa série de cisalhamentos profundos, então metassomatizada pela ascensão de fluidos hidrotermais de um protólito de composição sienítica para termos predominantes de albita. Nos poucos afloramentos encontrados, apresentam foliações concordantes com o trend regional, na direção NE-SW, com 85° de mergulho para NO (CBPM, 2015b).

As rochas granulíticas possuem coloração castanha a cinza escura, granulometria fina a muito grossa e estrutura foliada. Possuem composição quartzo-feldspática, associado ao hiperstênio, biotita, anfibólio e, por vezes, granada. O tremolito, ultramáfica metamorfiçada, ocorre isoladamente como blocos de rocha, inseridas na unidade de rochas alcalinas. Apresenta textura nematoblástica, formada por um mosaico de cristais finos a médios de tremolita, parcialmente alterados por intemperismo. Os minerais opacos são euédricos a subédricos, submilimétricos, oxidados, incluso nas tremolitas, sendo representados por restos

de magnetita martitizada (CBPM, 2015b).

Litologias diversas foram encontradas associadas às rochas alcalinas na forma de enclaves. Esses cisalhamentos/falhamentos do tipo multiestágio profundo, relacionados com mineralizações e feições observadas, assemelham-se a paragênese de alteração hidrotermal encontrada em zonas proximais de depósitos oxido-cobre-ouro, identificados na Austrália, relacionadas aos ambientes de iron-oxide-copper-gold (IOCG), de estágios pós-orogênicos ou anorogênicos (Moraes, Silva, Garrido e Michele, 2014).

Capítulo 3

Discussão dos Resultados

Os dados geofísicos terrestres utilizados nessa pesquisa, foram adquiridos pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM). A CBPM cedeu a utilização desses dados a essa pesquisa, para fins acadêmicos, numa parceria que visa promover a integração entre a empresa e a universidade. O software *Oasis Montaj* da *Geosoft* foi utilizado para o tratamento dos dados potenciais e radiométricos, assim como para a modelagem conjunta visando construir modelos de subsuperfície mais coerentes com as respostas obtidas e a geologia local. Alguns mapas foram confeccionados e interpretados usando o software gratuito de georreferenciamento *Qgis*.

3.1 Os Dados Geofísicos

A Companhia Baiana de Pesquisa Mineral promove o setor mineral no estado da Bahia, dentre outras iniciativas, a partir de levantamentos aerogeofísicos regionais de alta resolução, como parte de uma programa plurianual, utilizando os métodos magnéticos e gamaespectrométricos.

Como produto direto dessas iniciativas, nossa área de estudo se insere no Levantamento Ruy Barbosa - Vitória da Conquista (Figura 3.1), que abrange uma área de 41.907 km², recoberta por 94.446 Km de linhas de voo, com 500 metros de espaçamento e direção E-W para as de produção e 5 km entre linhas na direção N-S para as de controle, ambas com uma altura fixada em 100 metros acima do terreno.

Como semi-detalhamento da campanha geofísica citada, os dados terrestres também foram coletados pela CBPM em parceria com a Universidade Federal da Bahia (UFBA), sendo que as medidas magnéticas foram adquiridas com um magnetômetro da *GEM Systems*, modelo GSM-19, as gravimétricas com o gravímetro AUTOGRAV CG5 de fabricação da *Scintrex Geophysics* e as medidas gamaespectrométricas, utilizando o gamaespectrômetro modelo RS-230 BGO Super-Spec. Assim foram realizadas 21 linhas terrestres, com espaçamento de 250 metros no sentido E-W com estações a cada 25 metros (Figura 3.2), possuindo extensão linear total de 47,5 Km, nas quais medidas de topografia, adquiridas com o GPS Hiper L1/L2 integrado da Topcon, também foram realizadas. Os dados radiométricos foram adquiridos em linhas alternadas, resultando um espaçamento de 500 metros entre essas linhas.

Ressaltamos que todas as correções que deveriam ser aplicadas aos dados cedidos pela referida empresa, já haviam sido feitas pela mesma. Os passos seguintes foram sempre no sentido de realçar as características de possíveis alvos para essa pesquisa.

3.2 Pré-processamento Aplicado

Alguns processos matemáticos e computacionais foram utilizados para exibir os dados geofísicos de forma a facilitar a interpretação e atenuar efeitos espúrios

3.2.1 Interpolação

Para confecção dos mapas geofísicos utilizados, os dados foram interpolados utilizando as técnicas de curvatura mínima e de krigagem. Os melhores resultados foram obtidos com a técnica de curvatura mínima, já que esta não criou ruído de baixa frequência. O tamanho da célula foi definido como sendo 1/4 da separação entre as linhas de projeto, 62,5 metros para gravimétrico e magnético (Figuras 3.3 e 3.4) e 125 metros para radiométrico (Figura 3.5).

3.2.2 Filtragem

Executamos uma filtragem preliminar nos mapas potenciais interpolados buscando atenuar ruídos de alta frequência, fruto da interpolação realizada pelo programa ou mesmo devido a aquisição. Tais artefatos, poderiam criar dificuldades na interpretação ou serem intensificados durante os procedimentos mais avançados. Essa filtragem foi realizada utilizando o pacote MAGMAP do *Oasis Montaj*, que permite uma pré-visualização do *grid* filtrado. Assim, analisando os *grids* filtrados, foram escolhido os parâmetros ideais do filtro.

No mapa gravimétrico de anomalia Bouguer (Figura 3.3), foi utilizado o filtro *Butterworth* (Childers, Bell e Brozena, 1999), com os parâmetros da Tabela 3.1.

Esse filtro nos permitiu atenuar uma boa parte do ruído presente, que se apresentavam como pequenos picos de elevada intensidade, gerando então o mapa da figura 3.6, a partir do qual foi realizada a remoção do regional, com a técnica do ajuste polinomial, o resultante foi utilizado para as demais etapas deste trabalho.

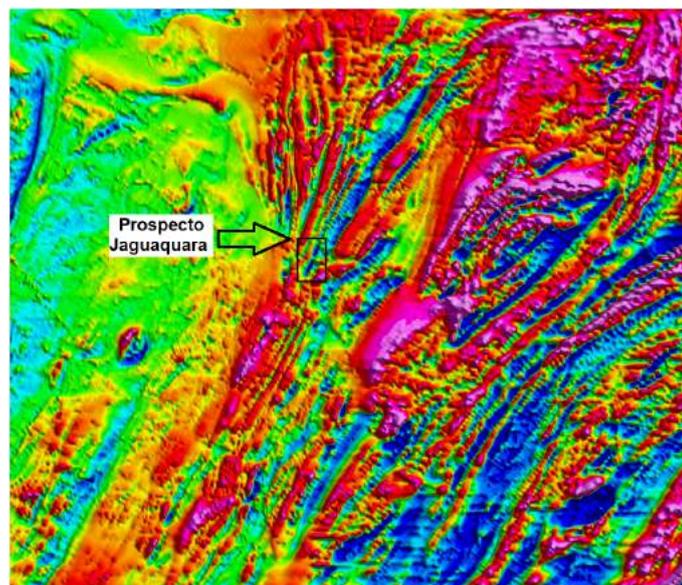


Figura 3.1: Mapa de campo total (nT) do levantamento Aeromagnético, Ruy Barbosa-Vitória da Conquista (adaptado CBPM, 2014).

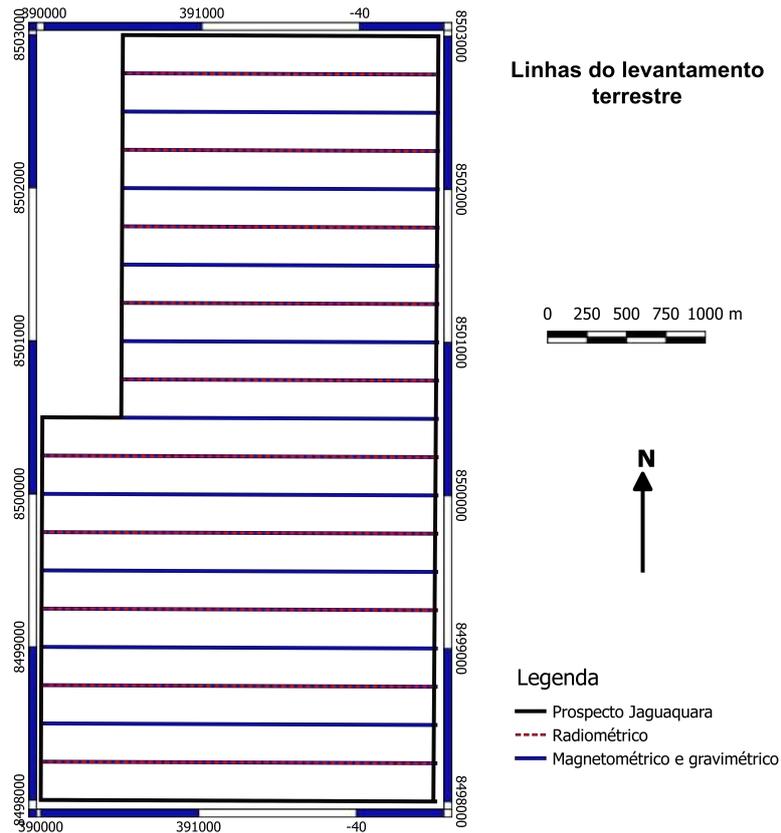


Figura 3.2: Posição das linhas do levantamento de semi-detallhe.

Tabela 3.1: Parâmetros utilizados no Filtro *Butterworth* aplicado aos dados gravimétricos.

Número de onda central	5,6
Grau do filtro	5

O mapa de Campo Magnético Total (CMT) também foi filtrado, porém utilizando a técnica do *cosine roll-off* (Childers, Bell e Brozena, 1999), com os parâmetros da Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Parâmetros utilizados no Filtro *cosine roll-off* aplicado ao Campo Magnético Total.

Número de onda inicial	2
Número de onda Final	4,32
Grau da função cosseno	1

Assim como no caso anterior, foi possível reduzir anomalias isoladas, circulares e de elevada magnitude com difícil representatividade geológica a uma anomalia mais alongada, fato facilmente notado na região nordeste da área, sem perder anomalias que possam vir a ser de interesse (Figura 3.7).

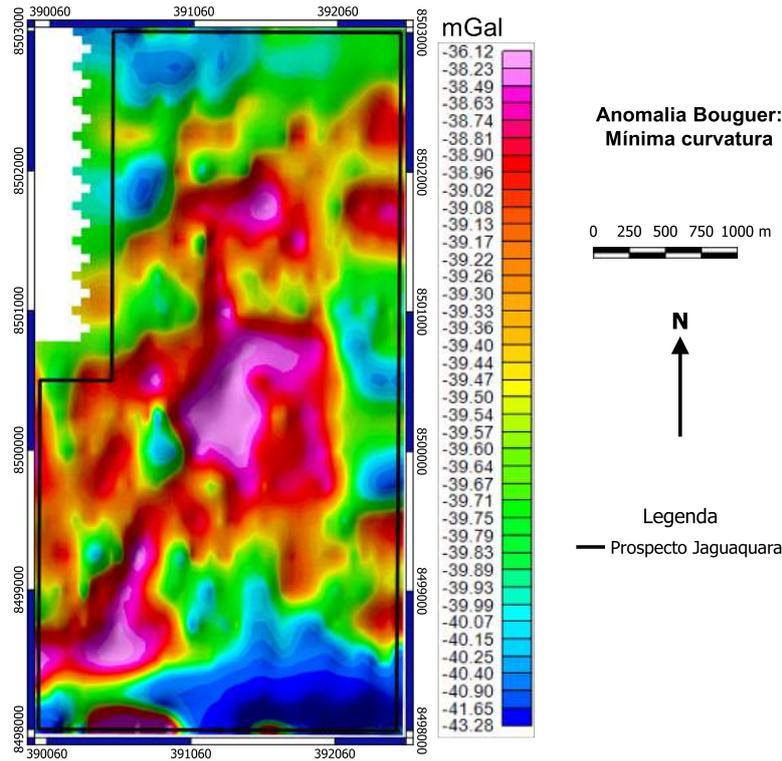


Figura 3.3: Anomalia Bouguer: interpolada por curvatura mínima com células de 62,5 x 62,5 metros.

3.3 Processamento e Interpretação Geofísica

Nos mapas gerados anteriormente foi aplicado um conjunto de processos matemáticos buscando obter mais informações sobre a região, que depois foram relacionados a geologia local para melhor delimitar áreas de maior interesse.

3.3.1 Dados Gamaespectrométricos

Os dados gamaespectrométricos adquiridos foram analisados tendo em vista as estruturas geológicas do local, com o objetivo de discriminar dentro de um mesmo tipo de rocha, locais preferenciais à ocorrência de mineralização. É esperado que o modelo das mineralizações seja do tipo iron-oxide-copper-gold (IOCG) (Moraes, Silva, Garrido e Michele, 2014), sendo assim, originado por fluidos hidrotermalizantes.

Os locais de ação desse fluido hidrotermal podem ser mapeados com a gamaespectrometria por ocasionar o enriquecimento em Potássio e Urânio e empobrecimento relativo em Tório, que não acompanha os primeiros em processos tardios de alteração hidrotermal (Shives, Charbonneau e Ford, 2000). Para evidenciar essas regiões empobrecidas, foi produzido os mapas de razão nos quais Th foi o denominador (Figuras 3.8 e 3.9).

Nas figuras 3.8 e 3.9 foram mapeadas áreas com os maiores valores, isto é, que estão enriquecidas nesses elementos e empobrecidas em Tório. Algumas regiões mostram-se enriquecidas em ambos os casos, para melhor delimitá-las, foi produzido o mapa de Fator F (figura 3.10), usualmente, utilizado no mapeamento de depósitos de Ferro de enriquecimento hidrotermal e este foi correlacionado com os mapas anteriores.

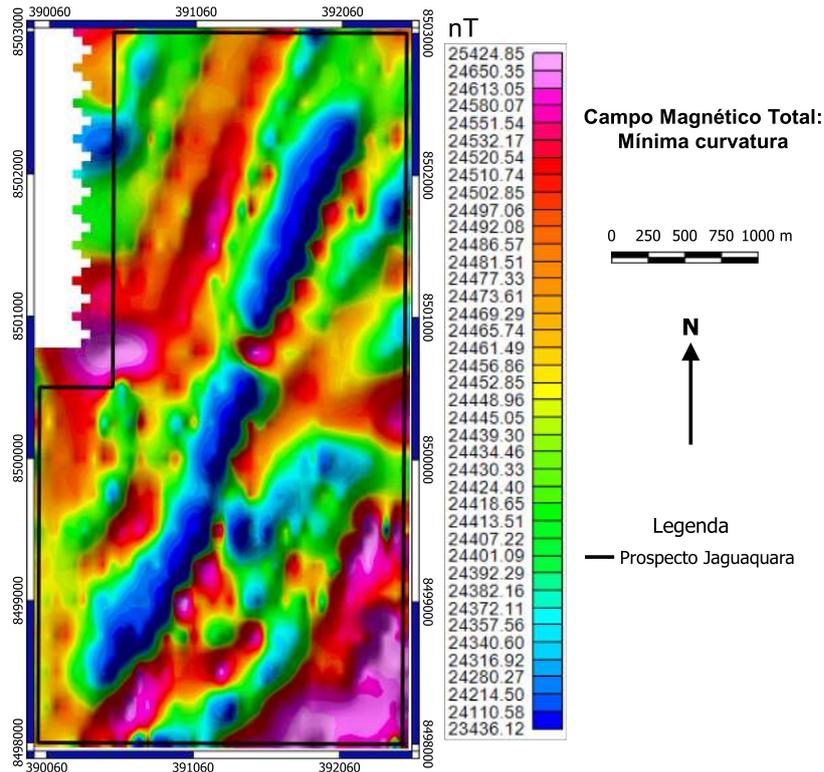


Figura 3.4: Campo Magnético Total: interpolado por curvatura mínima com células de 62,5 x 62,5 metros.

Ao se sobrepor as regiões anteriormente mapeadas, nas figuras 3.8, 3.9 e 3.10, foi possível refinar as limitações de corpos e categorizá-los quanto sua intensidade. Foi então possível notar uma tendência quanto ao posicionamento das categorias. As anomalias de maior intensidade ficaram restritas a oeste seguindo um padrão N-S, as de valor intermediário ao norte com um padrão E-W e as últimas no centro.

O mapa Ternário, mostrado na figura 3.11, foi produzido em escala RGB, e interpretado com o mapeamento geológico local, buscando um melhor entendimento da composição dos corpos aflorantes na localidade. O objetivo era mapear dentro da rocha encaixante granulítica, zonas com anomalias espectrométricas que possam indicar uma possível contaminação hidrotermal.

No mapa ternário (Figura 3.11), é mais uma vez demonstrado que as regiões com maiores concentrações de radiogênicos, indícios de ação por fluidos hidrotermais, está relacionada a área mais a oeste. Na região leste as baixas leituras são fruto da cobertura detrítica presente, uma pequena faixa na região sudeste (8499250N) enriquecida em Potássio que se correlaciona com a concreção ferruginosa mapeada. Ao norte desse mapa também pode-se notar uma faixa com enriquecimento relativo de Tório, que pode ser indício da presença de elementos terras raras, associados a pequenos afloramentos da encaixante granulítica.

Porém deve se notar que como um todo, as concentrações de Potássio e Urânio não são tão elevadas quanto o esperado para o tipo de depósito projetado, com suas medias entorno do padrão para essas rochas. Medidas petrofísicas realizadas demonstraram baixos valores de Urânio e Potássio e intermediários para Tório (CBPM, 2015a).

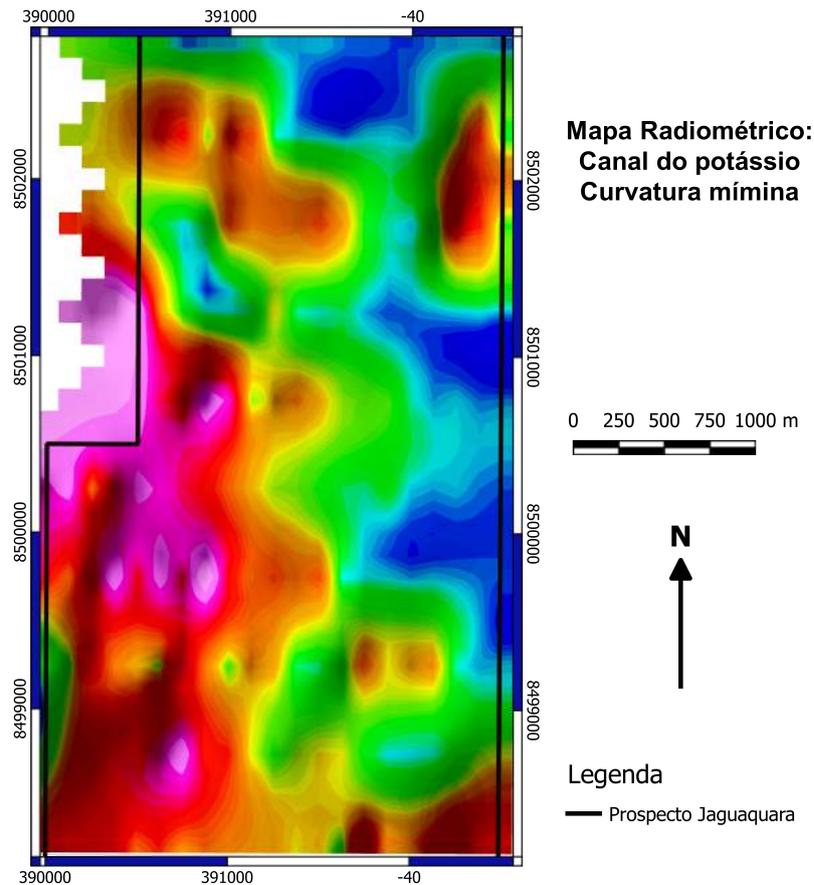


Figura 3.5: Canal Potássio: interpolado por curvatura mínima com células de 125x125 metros.

3.3.2 Dados Magnéticos

O primeiro passo realizado no tratamento dos dados magnéticos foi a Redução ao equador, na busca de uma melhor interpretação de possíveis áreas de interesse. É esperada a presença de magnetização remanescente na região, sendo assim, esse fato será considerado durante a interpretação, selecionando áreas levemente maiores que as anomalias. A Tabela 3.3 foi utilizada como parâmetro de entrada para essas transformações.

Tabela 3.3: Parâmetros do campo indutor cedidos pela CBPM.

Inclinação	-22.96°
Declinação (Azimute)	331.86°

O mapa de campo magnético anômalo reduzido ao equador é mostrado na figura 3.12. Confeccionamos o mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) mostrado na figura 3.13, e que nos permitiu localizar as posições horizontais dos contatos ou limites das fontes magnéticas mais rasas e definir três principais feições lineares no sentido NE-SW.

A aplicação da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) e da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT) aos dados reduzidos ao equador, figura 3.14 e 3.15, nos permitiu extrair uma grande quantidade de lineamentos e sua textura usada para delimitar domínios magnéticos.

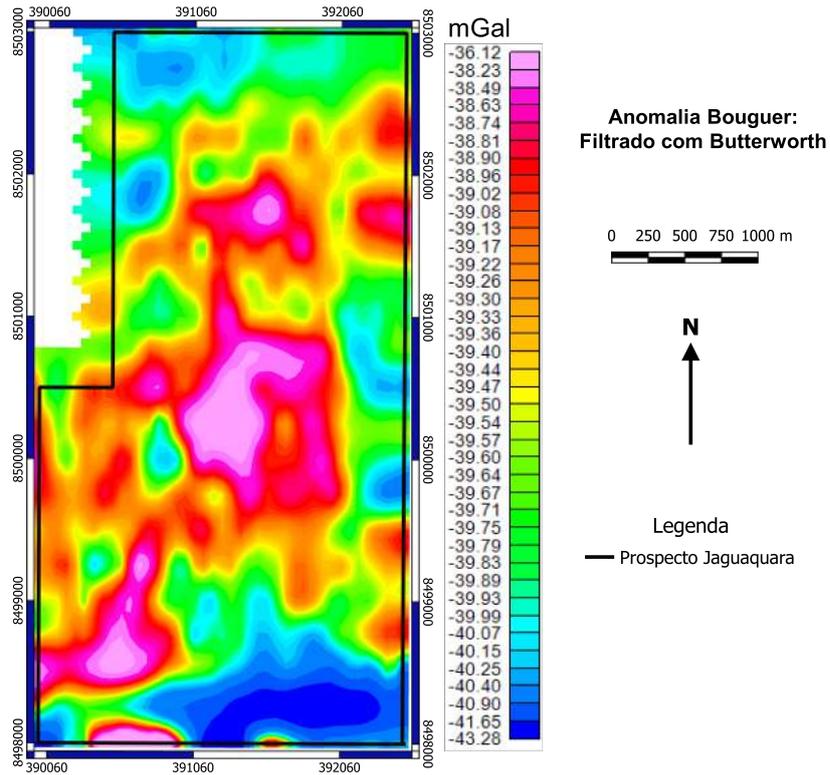


Figura 3.6: Anomalia Bouguer filtrada com *Butterworth*.

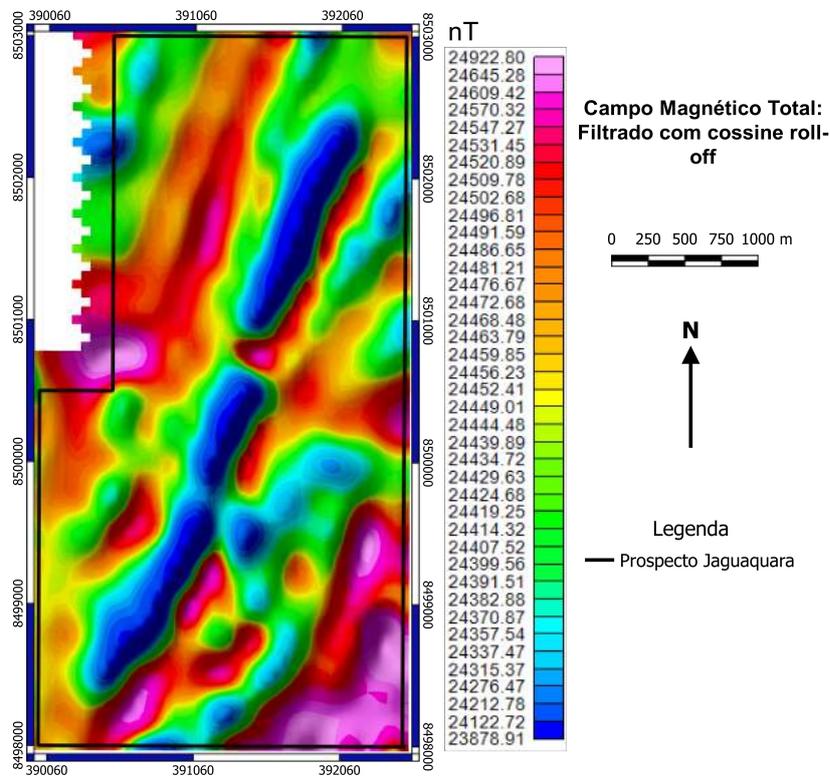


Figura 3.7: Campo Magnético total filtrado com *cosine roll-off* de acordo com os parâmetros da Tabela 3.2 .

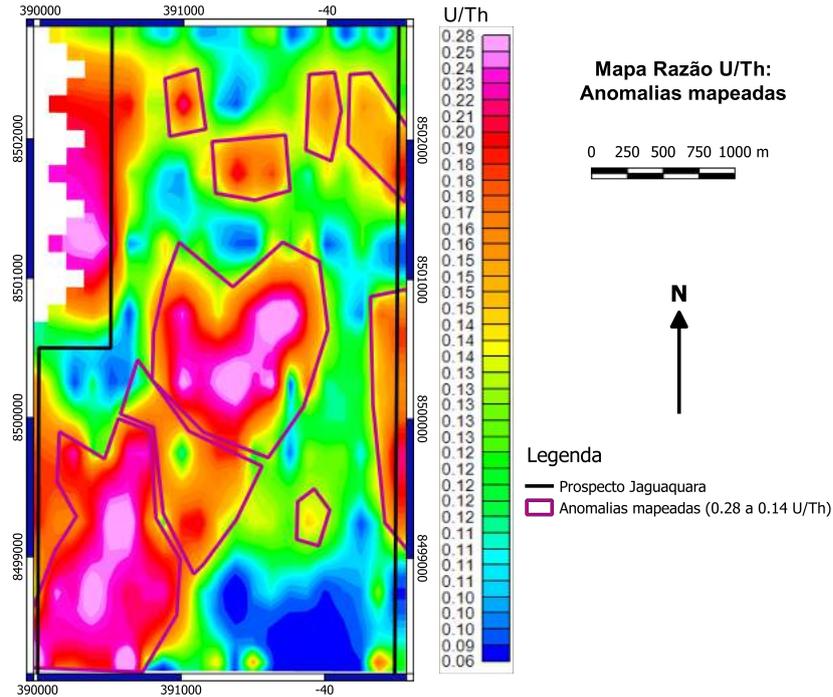


Figura 3.8: Mapa de razão U/Th com as áreas de maior potencial demarcadas.

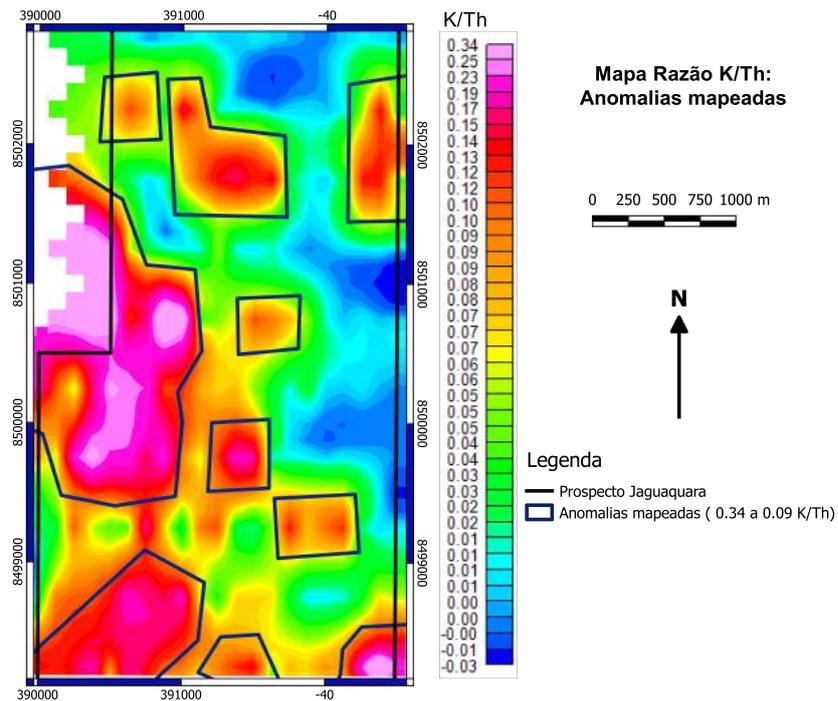


Figura 3.9: Mapa de razão K/Th com as áreas de maior potencial demarcadas.

Primeiro e individualmente, foram marcados possíveis lineamentos magnéticos no ISA e ISA-GHT, em seguida essas informações foram sobrepostas buscando refinar a delimitação, assim como, evidenciar novas feições.

No mapa da Inclinação do Sinal Analítico (Figura 3.14) é possível perceber um *trend* preferencial na direção NE-SW com vários falhamentos semi-perpendiculares ao mesmo. Uma

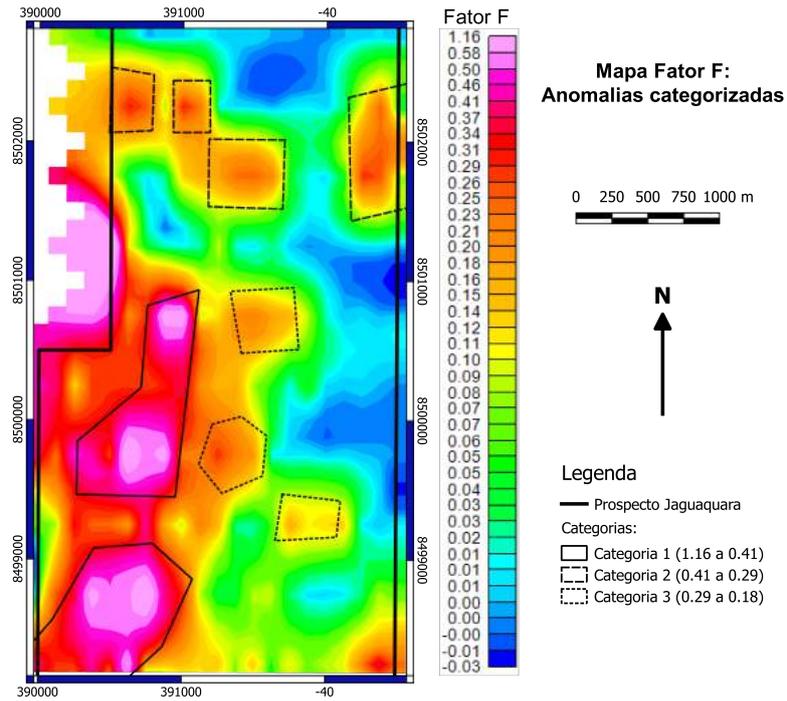


Figura 3.10: Mapa de Fator F com as áreas delimitadas nos mapas de razão.

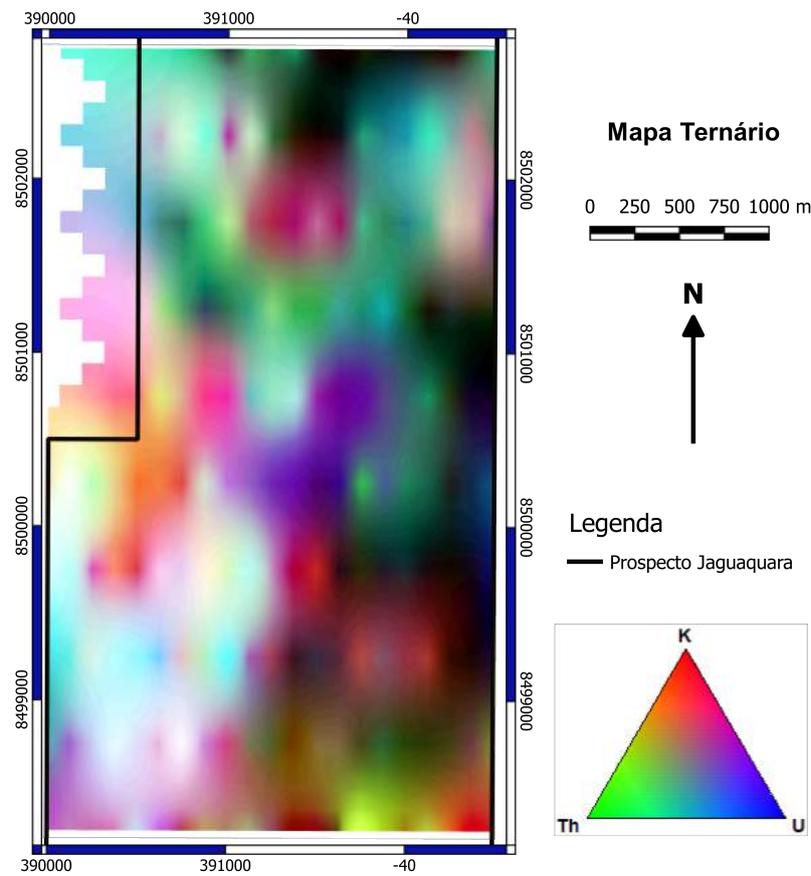


Figura 3.11: Mapa de Ternário do prospecto Jaguaquara.

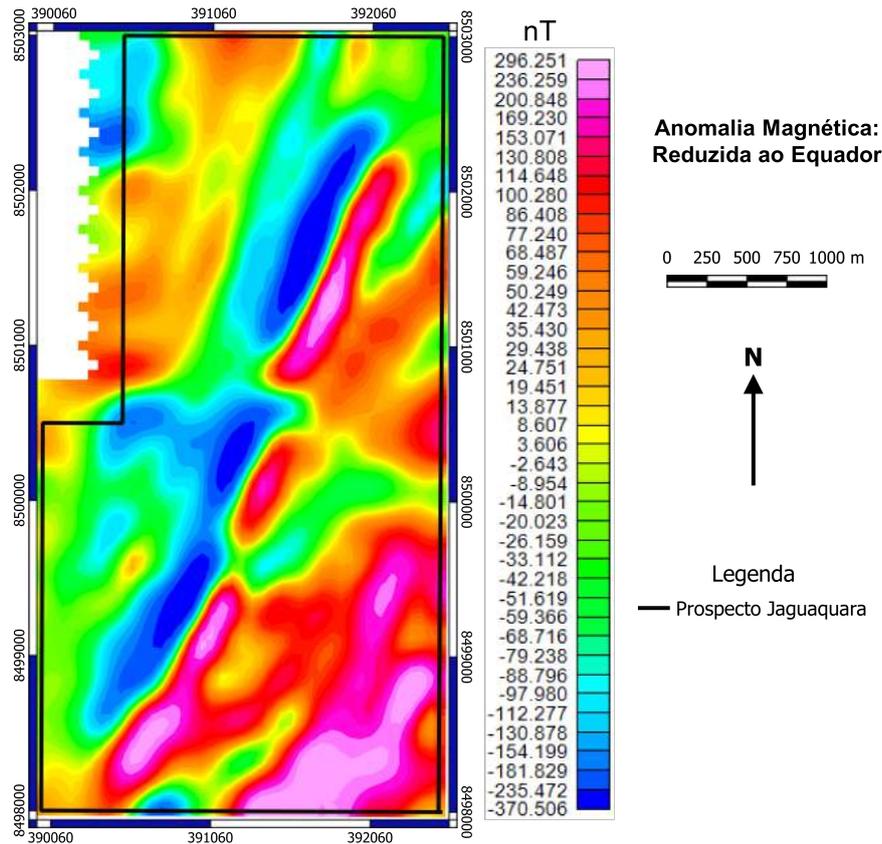


Figura 3.12: Mapa magnético reduzido ao equador com os parâmetros da Tabela 3.3.

falta de linearidade é observada na parte sudeste da região e a oeste tem-se uma zona de lineamentos muito arqueados, ambas fugindo completamente do padrão linear da área.

Já na Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (Figura 3.15) nota-se algumas características dos lineamentos comuns ao ISA. Na região a oeste e parte da sudeste é comum a presença de anomalias curvas que podem ser indício de possíveis eventos dúcteis na região. Na região central há forte presença de falhamentos quase perpendiculares ao *trend* principal, sendo ainda, possível detectar alguns lineamentos na parte sudeste, mesmo que com pouca acurácia.

Dessa análise, então foram selecionados lineamentos que possuíam duas características principais. A primeira, era aparecer em ambos os mapas utilizados, e depois aqueles que possuíam ótima qualidade no mapa em que foram interpretados. Assim, alguns lineamentos foram eliminados e outros levemente deslocados, e ao final foi produzido um mapa de lineamentos magnéticos da área de interesse mostrado na figura 3.16.

Vale destacar as estruturas com direção NO-SE, mapeadas com muita eficiência no ISA, que foram interpretadas como falhamentos, uma clara resposta das estruturas ao campo de tensão secundário da macrorregião, fruto do choque entre os orógenos, que recortam a estrutura principal em três corpos. Além disso, a extrema falta de continuidade das feições magnéticas na região sudeste, que foge completamente do observado no restante da área e que apresenta uma completa falta de coerência nos lineamentos demarcados, nos levou a uma interpretação de vários falhamentos nessa área.

A interpretação do Gradiente Horizontal Total (Figura 3.17) para definição das localizações espaciais das fontes magnéticas na superfícies, foi realizada com a categorização das

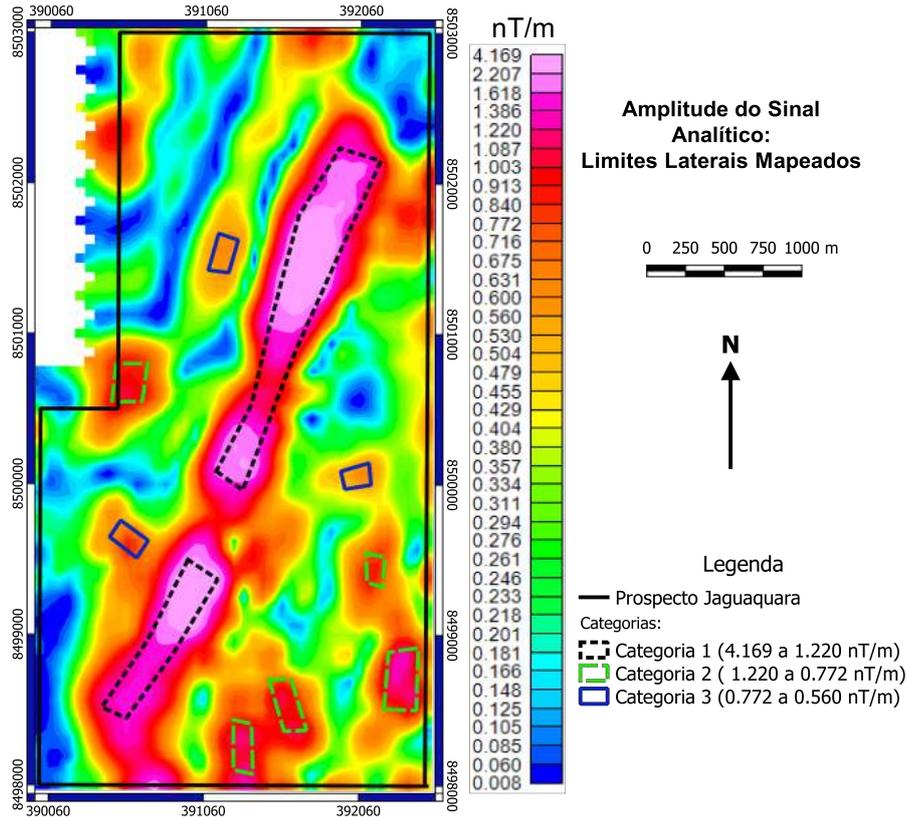


Figura 3.13: Corpos delimitados pela Amplitude do Sinal Analítico categorizados pela profundidade.

anomalias quanto a sua magnitude (categoria 1 contendo as maiores intensidades) essa, vem no sentido de complementar e verificar os resultados obtidos na delimitação com o ASA (Figura 3.13), além de permitir um entendimento inicial sobre as profundidades das fontes.

A composição dos lineamentos mapeados e dos limites laterais dos corpos (Figura 3.18) se mostrou muito positiva por evidenciar o forte controle estrutural na forma e localização dos corpos, como esperado pela geologia. Somente, o grupo interpretado, localizado a SE, não conteve essa relação com os lineamentos. Vale ressaltar, porém que diferente dos outros eles não são alongados na direção dos esforços preferenciais da área, explicado pela variedade na direção dos falhamentos.

A Figura 3.19, mostra uma estimativa geral da profundidade das fontes gravimétricas na região, através do Espectro de Potência. Nessa figura, foi possível notar quatro principais tendências de localização das fontes na região, associadas a 240, 130, 100 e 50 metros de profundidade.

3.3.3 Dados Gravimétricos

Uma análise sistemática dos dados gravimétricos adquiridos e corrigidos para anomalia Bouguer foi conduzida buscando extrair mais informações sobre a região quanto a sua distribuição de massa. Inicialmente foi desenvolvido, usando o mapa de Anomalia Bouguer (Figura 3.20), uma separação inicial entre as anomalias quanto sua intensidade relativa em três grupos, contendo no primeiro as anomalias na faixa de 3.146 e 0.292 mGal e no último as de menor valor. Pode-se observar nessa figura uma forte relação das anomalias mais intensas com o

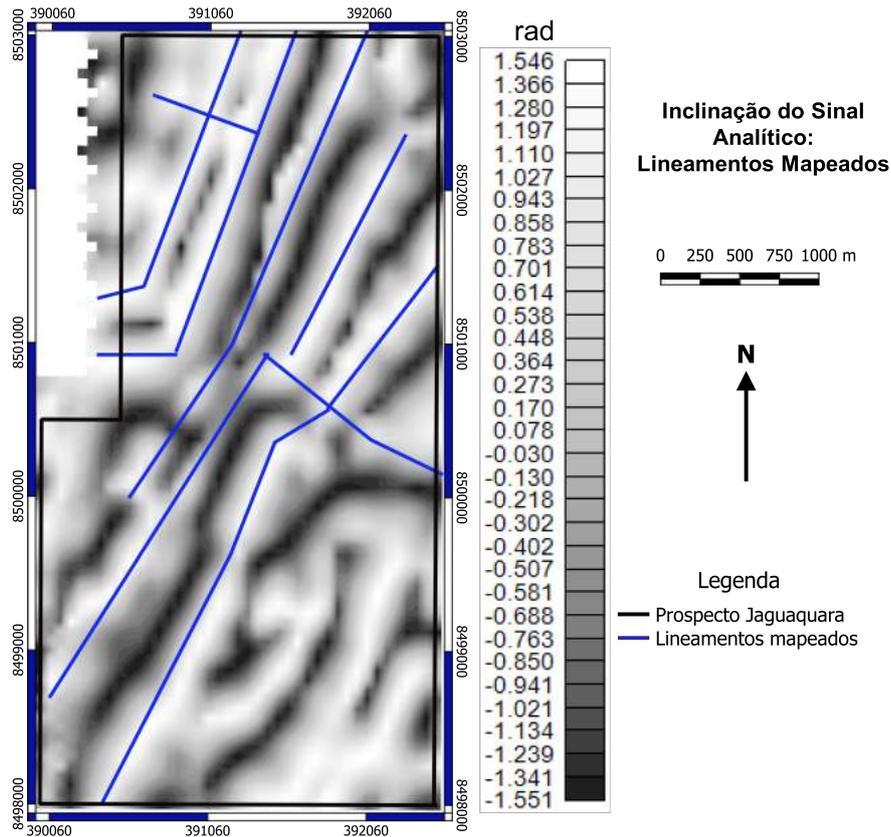


Figura 3.14: Lineamentos mapeadas no Inclinação do Sinal Analítico.

centro da área e alongadas na direção do lineamento principal NE-SW curvando para norte. Destaca-se ainda o forte baixo gravimétrico ao sul.

A partir da anomalia Bouguer filtrada (Figura 3.6), foi calculado a Inclinação do Sinal Analítico (ISA), com o objetivo de delimitar e melhor individualizar as anomalias, por não possuir influência da profundidade. Foi possível demarcar diversos corpos, que antes não haviam sido detectados, assim como melhor limitar os antes mapeados. Várias anomalias consideradas contínuas revelaram-se, na verdade, serem separadas, como no caso da maior anomalia central que foi dividida em três diferentes e o baixo anômalo a sul se demonstrou mais estreito e evidenciando uma anomalia na região.

A Primeira Derivada Vertical foi calculada, porém esta demonstrou um elevado nível de ruído, tentando reduzi-lo foi aplicado a semi derivada vertical (SDV) mostrada na figura 3.22 mas, esta não apresentou novas informações sobre os limites das anomalias, porém, permitiu elencá-las quanto a sua intensidade/profundidade.

Pode-se notar que o ISA foi muito positivo por destacar anomalias tênues e melhorar a divisão primeiramente realizada. Sua associação com a SDV permite um certo entendimento quanto a magnitude das anomalias e até sua profundidade.

Assim como para os dados magnéticos, foi conduzida uma análise inicial das profundidades de topo das fontes realizada com o espectro de potência (Figura 3.23). Onde se nota duas principais tendências na área, uma mais profunda relacionado a 200 metros de profundidade e outra mais rasa a 100 metros, valores dentro da faixa encontrada para os dados magnéticos.

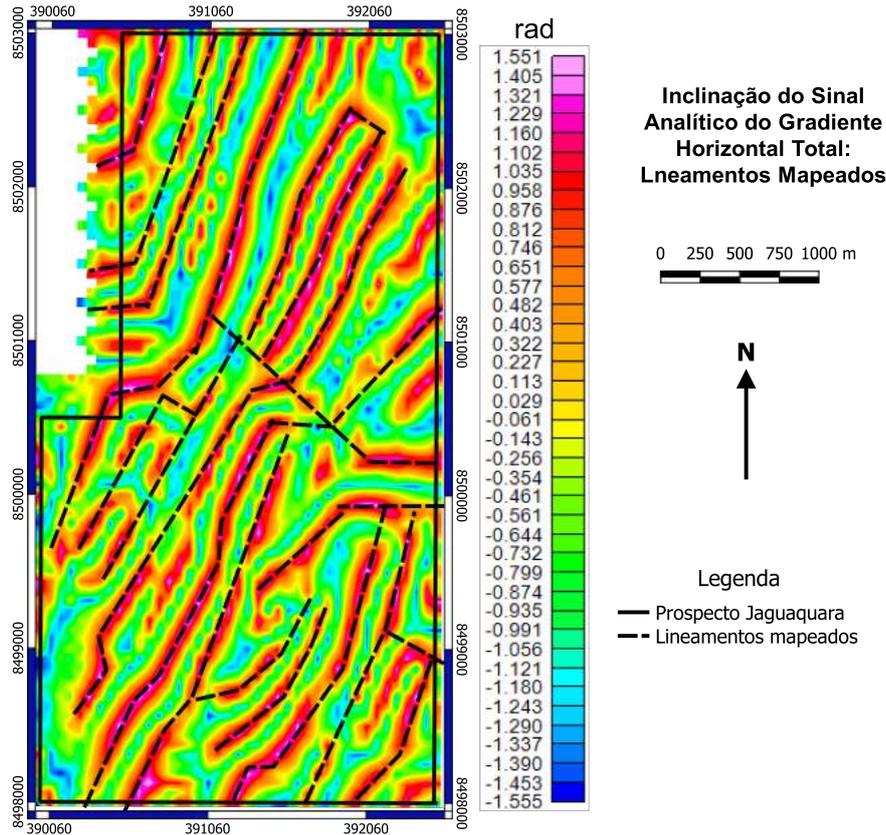


Figura 3.15: Lineamentos mapeadas no Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total.

3.4 Interpretação Geofísica

As diferentes interpretações quanto aos possíveis corpos e estruturas, foram então correlacionadas para determinar áreas de interesse e uma estimativa preliminar da extensão e forma do corpo mineralizado. Os alvos selecionados como prioritários foram aqueles que sobrepõem as anomalias esperadas para este tipo de depósito, isto é magnético, denso e valores anômalos de radiogênicos (cor preta) e os que possuíam apenas altos valores de densidade e susceptibilidade magnética (cor rosa).

As áreas selecionadas foram então sobrepostas a geologia local (Figura 3.24) com o objetivo de melhor defini-los quanto a sua litologia, criar um maior entendimento a cerca do evento geológico, sua possível forma do depósito e eliminar áreas.

É possível perceber a relação entre o Sienito Albitizados e as zonas alvo, além da forte ligação destas zonas com os albititos e a zona com presença de magnetita, assim ficou evidente o vínculo das áreas com a albitização das rochas na região com os eventos que pode se relacionar com o fluido mineralizante.

Algumas zonas que mapeamos como de interesse estão relacionadas aos lineamentos e estruturas direcionadas preferencialmente no sentido NE-SW, que conforme a geologia, esta fortemente associado a possíveis zonas de minério e as estruturas da região (CBPM, 2015b). A zona 3 quando sobrepostas ao mapa ternário demonstraram uma forte conexão ao enriquecimento relativo de Tório, sendo determinadas como zona de possível ocorrência de depósitos de elementos terras raras, porém sua interpretação é precária pela presença de

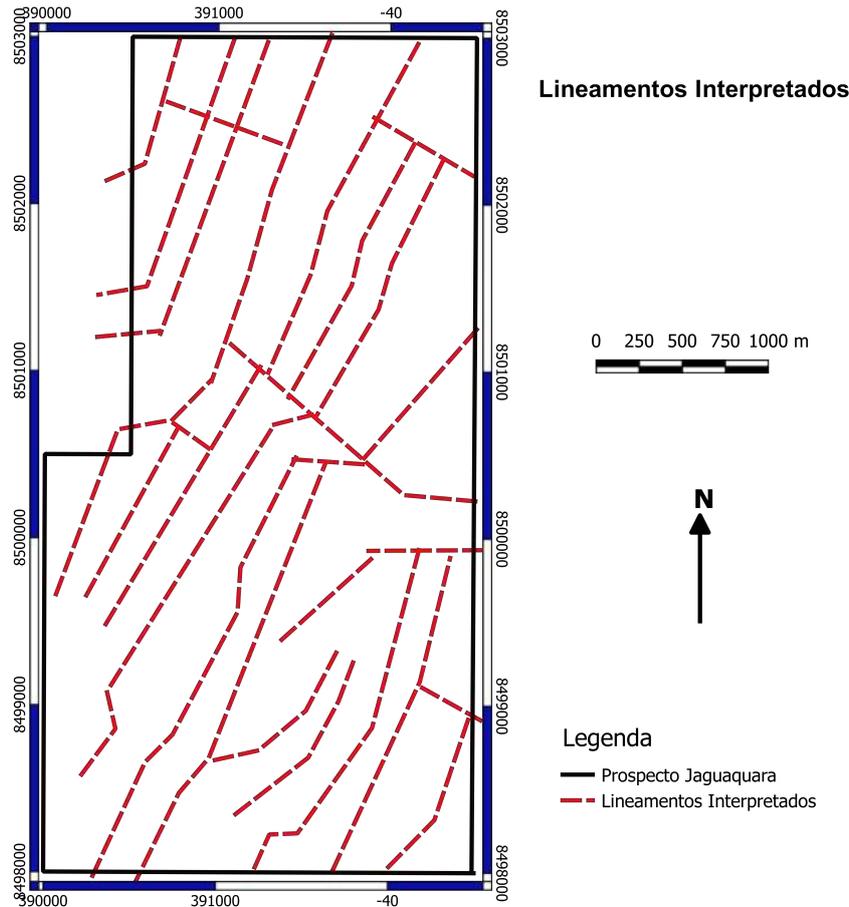


Figura 3.16: Integração dos Lineamentos magnéticos mapeados.

cobertura na região que acaba por mascarar as leituras radiométricas.

Nota-se que a sudeste da região de pesquisa foram alocadas algumas áreas, porém pela pouca correlação estrutural entre elas é de se esperar que sejam blocos isolados intrudidos na encaixante granulítica durante um dos estágios de cisalhamento e que dificilmente serão corpos de interesse econômico devido ao seu volume limitado e a pouca correlação magnética pode indicar a ocorrência de hematita.

A partir do mapa da figura 3.24 foram definidas zonas de maior interesse para o desenvolvimento de uma pesquisa mineral extensiva (Figura 3.25), e a partir daí definimos um perfil geofísico nos dados magnéticos e gravimétricos com o intuito de detectar a extensão lateral e em profundidade de possíveis corpos mineralizados nessa região através de modelagem conjunta bidimensional, em perfil a seccionar a zona demarcada como de maior interesse (Zona 1).

3.4.1 Modelagem Bidimensional do Prospecto Jaguaquara

Para se ter um melhor entendimento dos corpos em subsuperfície, em especial quanto o seu volume e profundidade, foi realizada uma modelagem conjunta buscando assim elaborar uma interpretação mais completa.

Na região não se possui furo de sondagem, assim as propriedades físicas das rochas utilizadas na modelagem, foram selecionadas a partir das informações geológicas cedidas

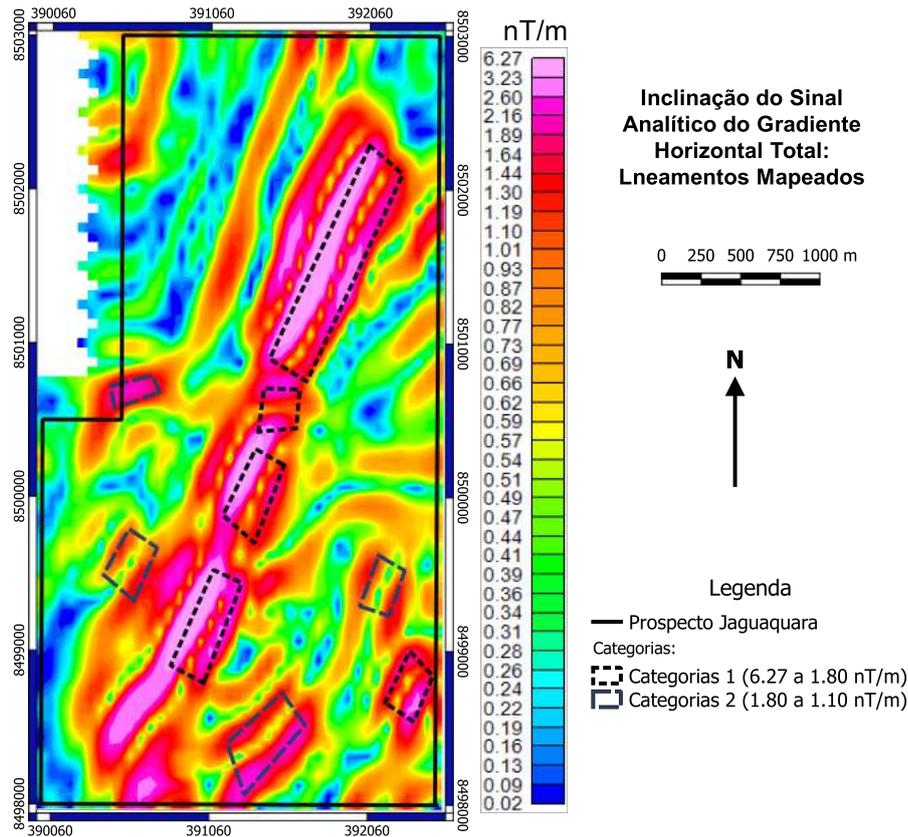


Figura 3.17: Corpos mapeados com o Gradiente Horizontal Total e categorizados conforme magnitude.

pela CBPM, através de medidas de susceptibilidade em superfície (ver anexo I.1) associadas a valores da bibliografia (Telford, Geldart, Sheriff e Keys, 1976).

A modelagem como esperado demonstra corpos magnéticos muito limitados e com profundidades variadas. Fato já esperado pelas interpretações realizadas, ficando assim evidente que a área de pesquisa não possui grande potencial para exploração do minério de ferro (magnetita/ilmenita) assim como a relação das possíveis mineralizações com corpos sieníticos.

Alguns corpos foram adicionados para reduzir o erro na modelagem magnética, mas a sua variação de densidade, foi pequena, porém dentro de uma faixa para um ambiente tectonicamente trabalhado (ver apêndice A.1). Alguns corpos apresentaram susceptibilidade próximas, mas opostas, fruto da inversão linear realizada para compensar simplificações necessárias a modelagem.

Foi notado a presença de áreas magnéticas, mas com baixa densidade, essas sem explicação exata, mas imagina-se que a redução na densidade seja causada pelos falhamentos presentes e/ou que o alto magnético seja fruto de corpos fora da área de estudo. Porém, por uma questão de resolução e possíveis ambiguidades, trabalhos futuros podem ser realizados nas áreas alocadas, adicionando informações de outros métodos geofísicos, para refinar o modelo apresentado e melhor a avaliar o potencial da região.

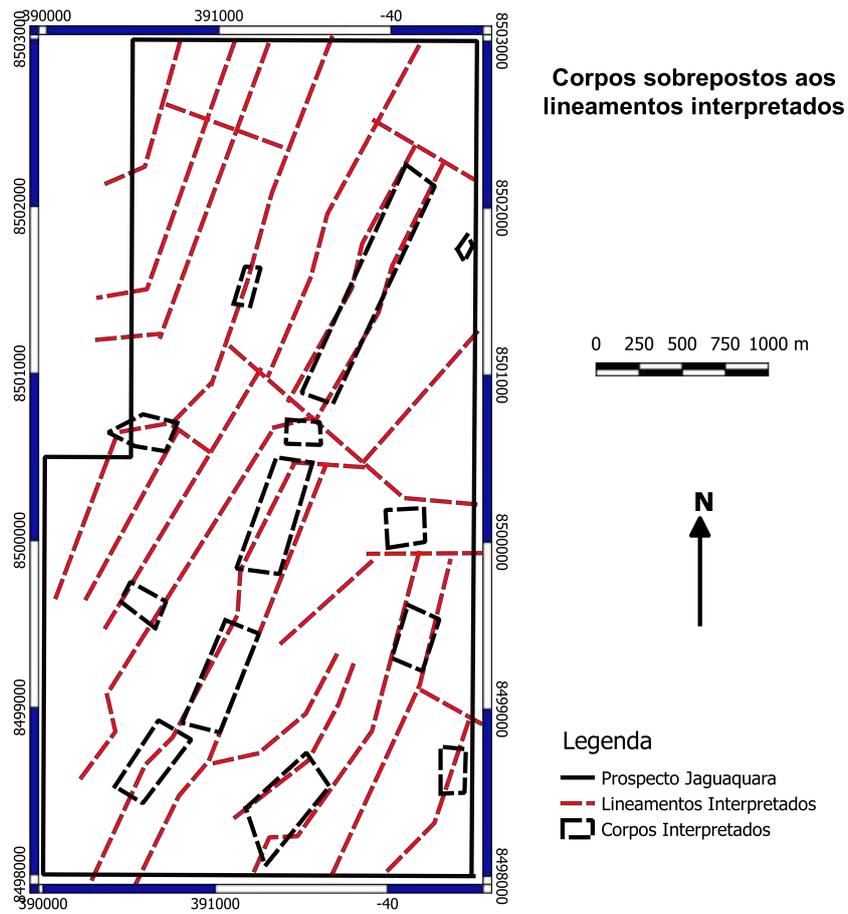


Figura 3.18: Corpos e Lineamentos magnéticos interpretados.

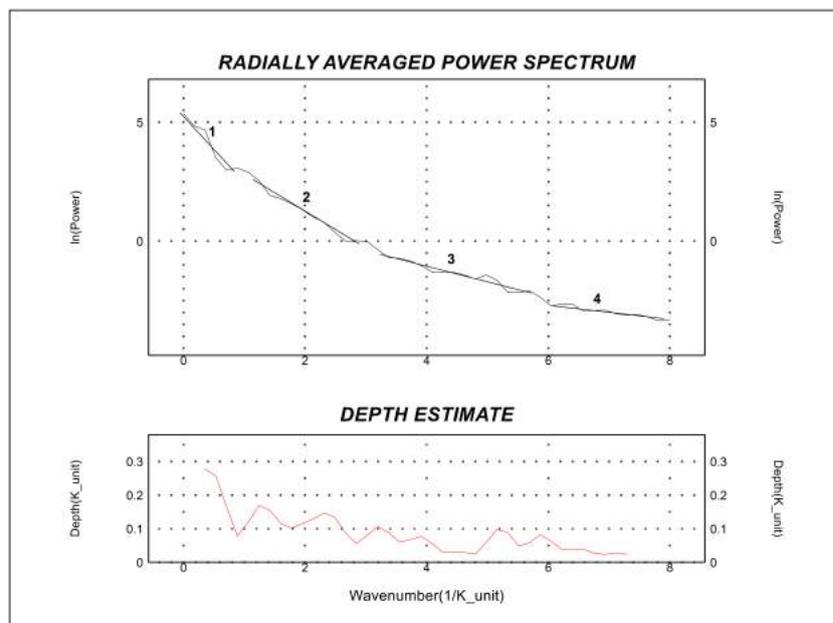


Figura 3.19: Espectro de potência magnético com principais tendências.

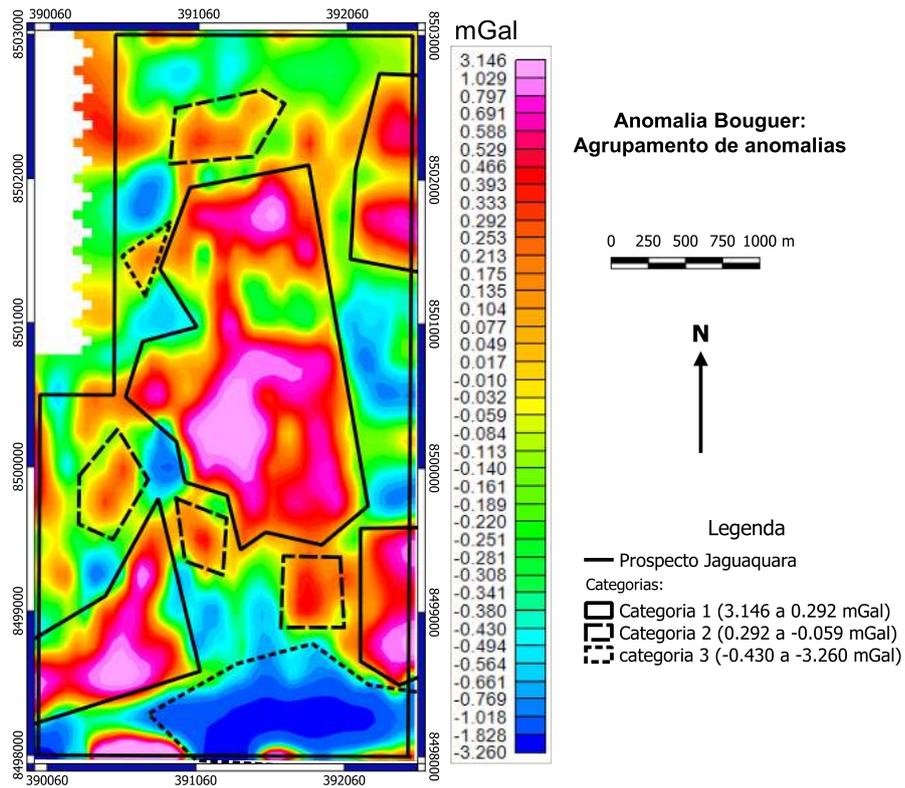


Figura 3.20: Anomalias Bouguer: sub divididas em três grupos conforme intensidade.

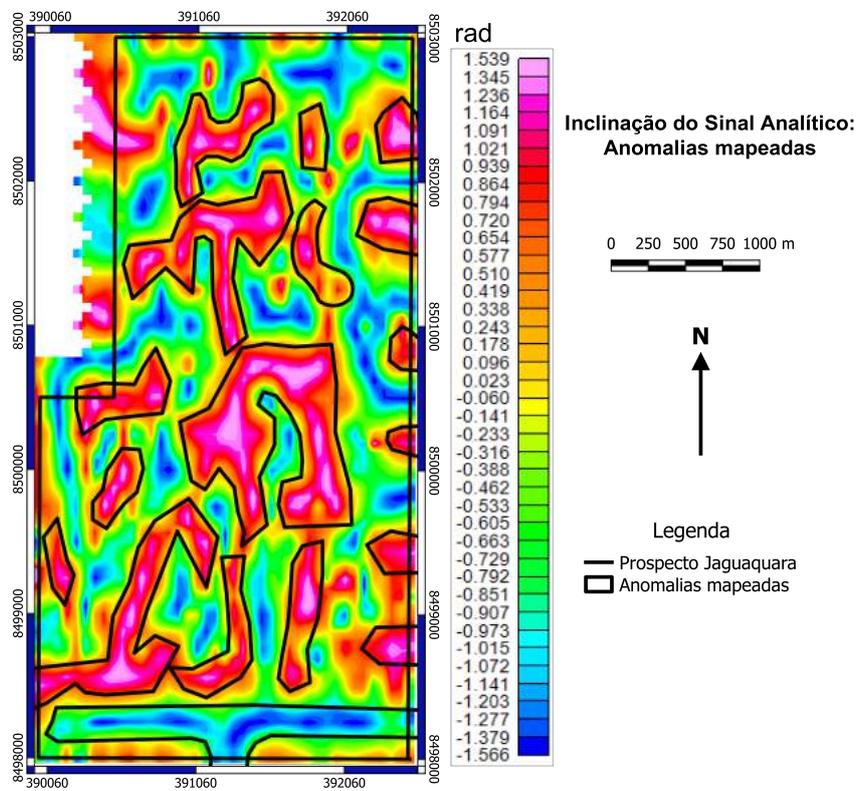


Figura 3.21: Inclinação do Sinal Analítico com anomalias refinadas.

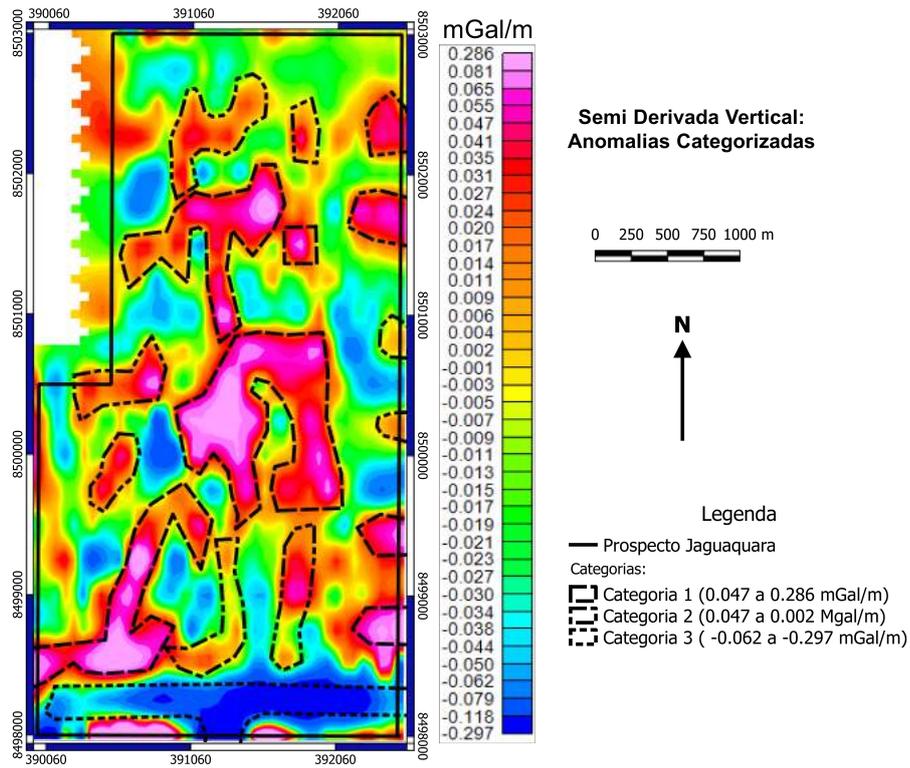


Figura 3.22: Semi Derivada Vertical: anomalias categorizadas quanto a intensidade.

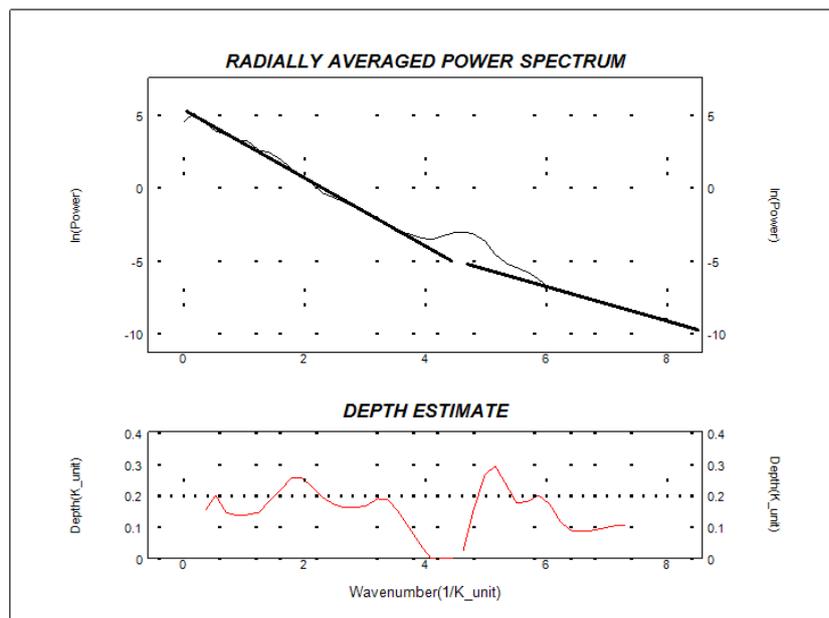


Figura 3.23: Espectro de potência gravimétrico com as 2 principais tendências da região.

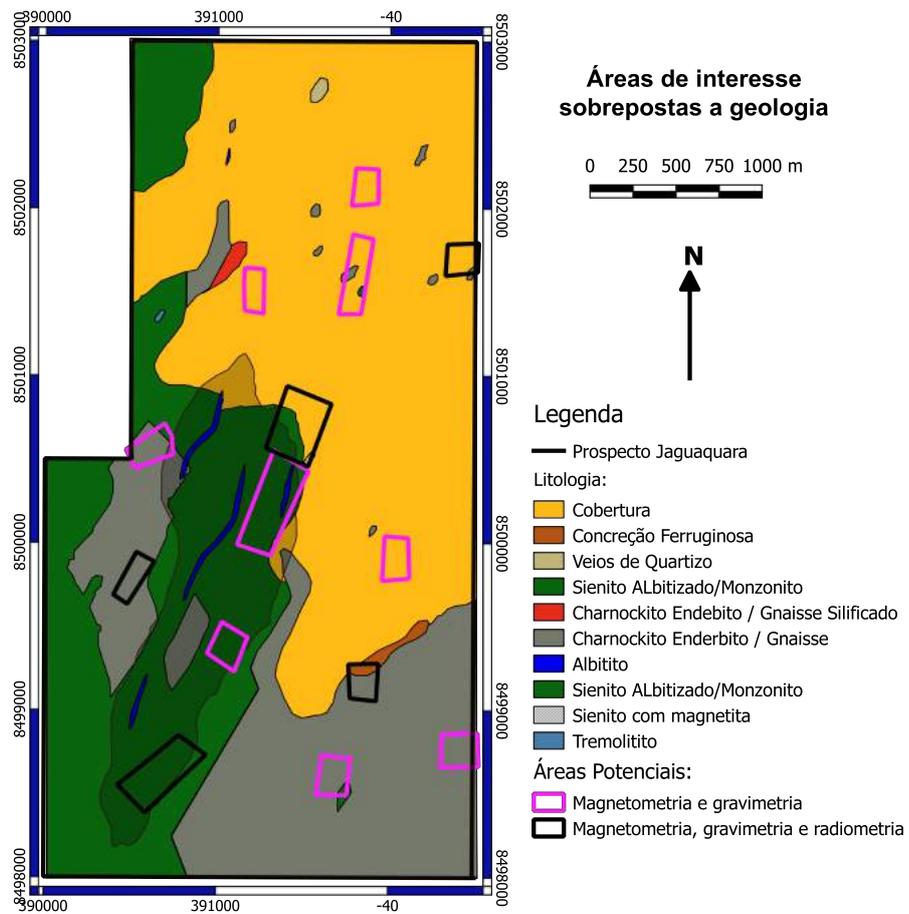


Figura 3.24: Áreas de interesse interpretadas sobrepostas a geologia local.

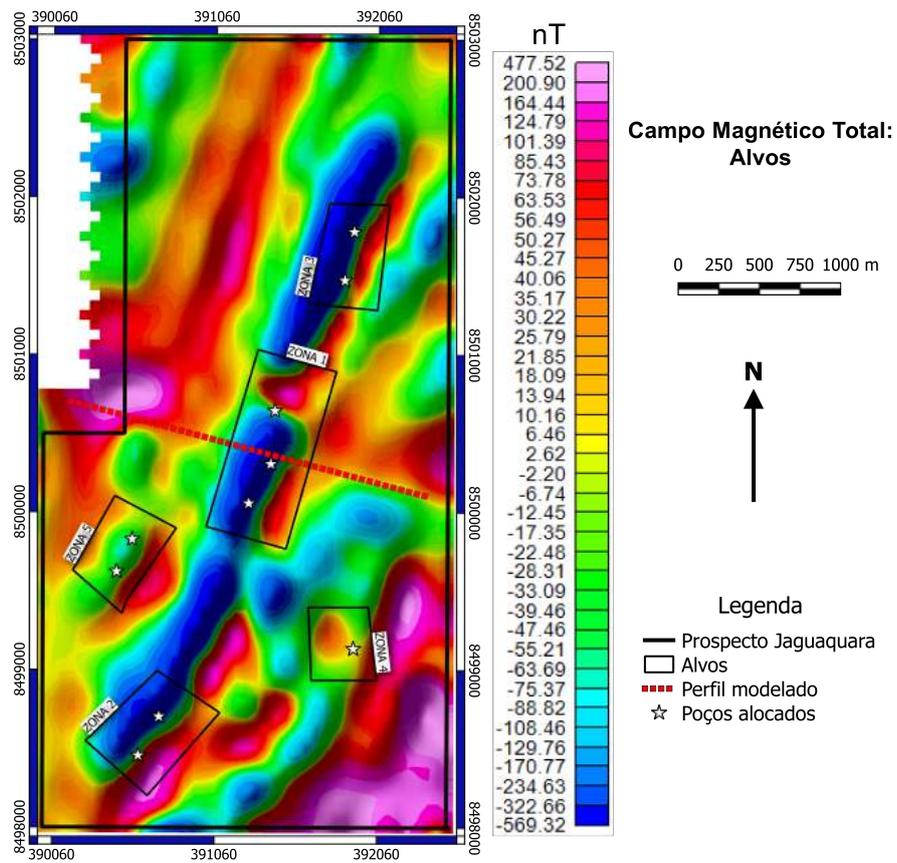


Figura 3.25: Zonas indicadas para extensa pesquisa de detalhe sobreposta ao campo magnético total.

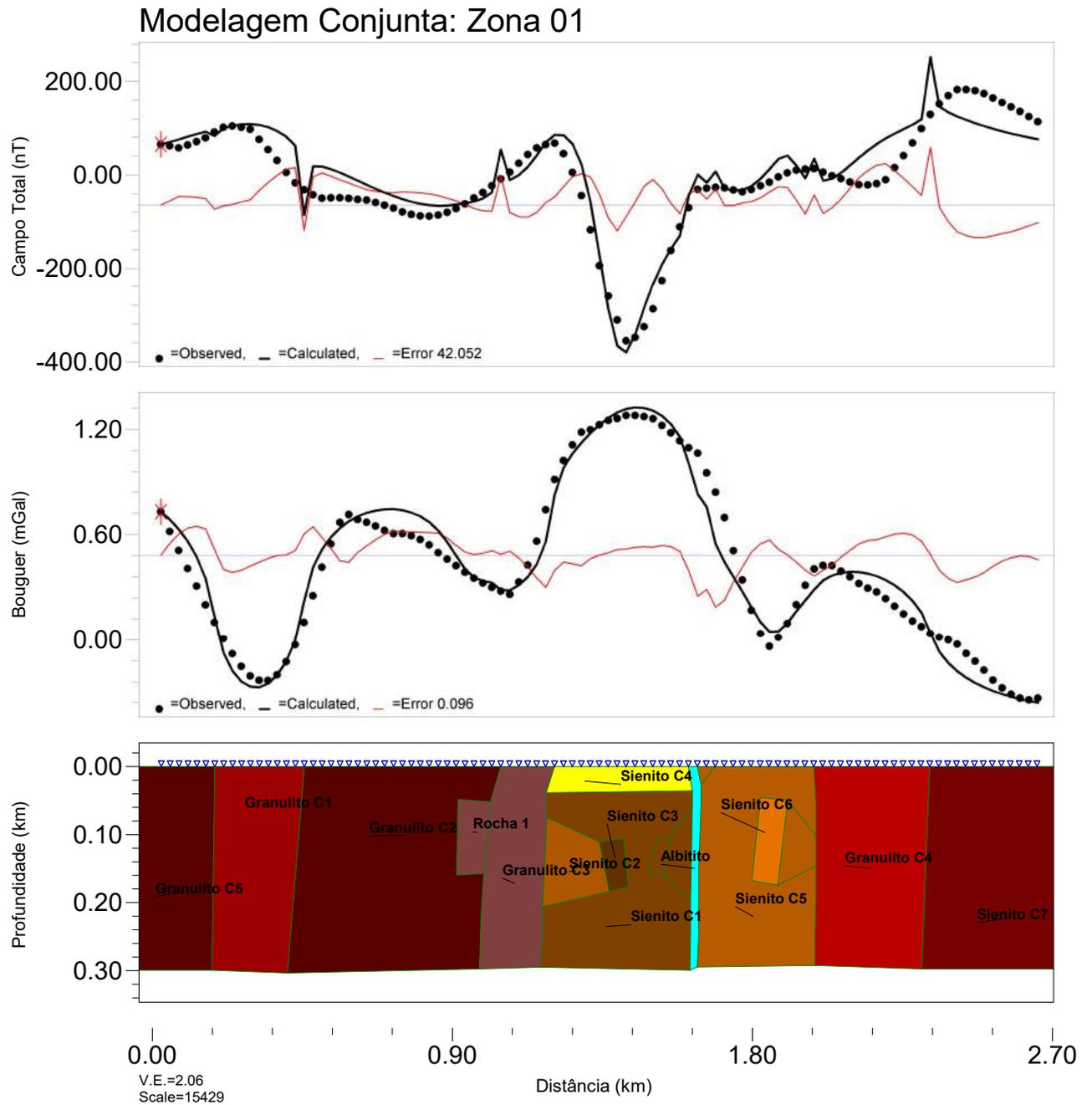


Figura 3.26: Modelagem conjunta em perfil da Zona 1 na direção Lesto-Oeste.

Capítulo 4

Conclusões

A integração das interpretações geofísicas e geológicas permitiu uma avaliação em caráter de semi detalhe a cerca do potencial da região do Prospecto Jaguaquara. Os dados magnéticos e gravimétricos associados ao mapeamento geológico disponibilizado e aos dados radiométricos, permitiram uma interpretação sobre a distribuição e existência de possíveis corpos mineralizados pra ferro.

Com base no modelo metalogenético esperado para o depósito, determinou-se cinco zonas preferenciais. A zona 1 definida como a de maior potencial pela excelente correlação entre os métodos geofísicos gravimétrico, magnético e radiométrico utilizados e com a geologia local. A modelagem conjunta elaborada desta zona corroborou os resultados da interpretação a priori realizada, demonstrando a possível existência de corpos limitados e muito espalhados.

Apesar de toda a análise realizada, a região apresentou um baixo potencial mineral para minério de ferro. Com a ocorrência de corpos que contenham em sua estrutura óxidos de interesse mas que ocorram de forma muito insipiente ou como fruto da gênese natural das rochas.

Porém, o modelo metalogenético projetado sugeri a ocorrência de elementos terras raras (ETR), anomalias gamaespectrométricas de Tório podem estar associadas a esses elementos, sendo detectadas na zona 3 (Figura 3.25), porém será necessária uma pesquisa de campo mais extensiva para determinar a existência e viabilidade destes depósitos, assim como, a ocorrência de outros minerais metálicos possíveis a esse modelo de mineralização como cobre.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e ao geólogo Ives Antonio Garrido pelo apoio através da disponibilização de todos os dados necessários para elaboração deste trabalho.

Em seguida, gostaria de agradecer ao meus amados pais, Neemias e Neildes, e minha bela irma, Núbia, pelo apoio incondicional durante esses anos de aventuras acadêmicas pelas terras da UFBA.

Agradeço ao meu orientador Joelson Batista, por ter me guiado nestes últimos 2 anos, enriquecendo me com um pouco do seu conhecimento sobre o estranho mundo da geofísica e por me instigar a vencer minhas barreiras do conhecimento. E aos professores e mestres da UFBA, Colégio Anchieta e Escola Aplicação que tiveram um papel fundamental na formação de quem sou hoje.

Um agradecimento especial aos meus companheiros/amigos/parceiros de 2015, que tive o prazer de conhecer em uma manha sorridente na aula de calculo, e que foram sem duvidas um dos mais importantes pilares para que eu não mete-se o louco e que assim como eu se apaixonaram pela geofísica e pela farmácia, dito isto fica aqui meu agradecimento nominal a David Lenon, Jonathas Oliveira, Rafael Inácio e a João Ricardo.

Atila Saraiva pelo seu caráter diferenciado da nossa amizade, que ao longo destes anos, foi se tornando algo para a vida toda. Essa pessoa única merece um paragrafo só dele, suas loucuras faziam nossos trabalhos serem 10 e minhas simplicidades permitia acabar a tempo, uma combinação que rendeu boas risadas e umas notas de se orgulhar.

Aos meus amigos da vida toda, Ícaro, Danilo, Barreto, Leovegildo, Vítor, Gabriel, Luiz Fernando uma agradecimento por me aguertar a tantos anos. Por ultimo, mas não menos importante um abraço especial aos seres únicos que esse curso adicionou a minha vida e que muito a marcaram cada um a sua maneira. Deixo a todos, essa frase profunda: DALE DELE, DELE DOLE.

Apêndice A

Propriedades Físicas do Modelos

Tabela A.1: Propriedades físicas utilizadas para a realização da modelagem conjunta.

Rocha	Densidade (g/cm³)	Susceptibilidade Magnética (SI)
Granulito C1	2.50	0.0000013
Granulito C2	2.70	0.0000064
Granulito C3	2.60	0.0000031
Granulito C4	2.67	-0.00000792
Granulito C5	2.70	0.00000073
Sienito C1	2.76	-0.00000735
Sienito C2	2.60	-0.00000298
Sienito C3	2.75	0.0002972
Sienito C4	2.80	0.0000031
Sienito C5	2.64	-0.00000537
Sienito C6	2.33	-0.000008
Sienito C7	2.58	-0.0000128
Albitito	2.68	0
Rocha 1	2.43	0.00000427

Referências

- Alibert, C. e Barbosa, J. (1992) Ages u-pb déterminés à la shrimp sur des zircons du complexe de jequié, craton du são francisco, bahia, brésil, Societé Géologique de France, éd., 14e RST, Toulouse, Abstract, p. 4.
- Almeida, F. d.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. d. e Fuck, R. (1977) Províncias estruturais brasileiras, Simpósio de Geologia do Nordeste, **8**(1977):363–391.
- de Aragão, O. C. A. (2014) Imageamento tipo sun shading utilizando derivadas fracionarias de dados gravimétricos do prospecto jaguaquara, Trabalho de Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Barbosa, J. F. e Dominguez, J. M. L. (1996) Geologia da Bahia: texto explicativo, Governo do Estado da Bahia, Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração
- Barbosa, J. S. F.; Correa-Gomes, L. C.; Marinho, M. M. e Silva, F. C. A. d. (2003) Geologia do segmento sul do orógeno itabuna-salvador-curaçá, Revista Brasileira de Geologia, pp. 33–47.
- Blakely, R. J. (1996) Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge university press.
- CBPM, C. B. d. P. M. (2015a) Relatório do Projeto Consolidação de Áreas: Prospecto Jaguaquara.
- CBPM, C. B. d. P. M. (2015b) Relatório Interno de geologia do Prospecto Jaguaquara.
- Childers, V. A.; Bell, R. E. e Brozena, J. M. (1999) Airborne gravimetry: An investigation of filtering, Geophysics, **64**(1):61–69.
- Ferreira, F. J. F.; de Souza, J.; de Barros, A.; Bongioiolo, S.; de Castro, L. G. e Romeiro, M. A. T. (2010) Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. parte i-aplicação a dados sintéticos, In: *IV Simpósio Brasileiro de Geofísica*.
- Fornari, A. e Barbosa, J. S. (2017) Litogeoquímica do batólito enderbítico-charnockítico do complexo jequié, na região de laje e mutuípe, bahia, Revista Brasileira de Geociências, **24**(1):13–21.
- Gnojek, I. e Přichystal, A. (1985) A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern moravia (czechoslovakia), Geoexploration, **23**(4):491–502.
- Hinze, W. J.; Aiken, C.; Brozena, J.; Coakley, B.; Dater, D.; Flanagan, G.; Forsberg, R.; Hildenbrand, T.; Keller, G. R.; Kellogg, J. et al. (2005) New standards for reducing gravity data: The north american gravity database, Geophysics, **70**(4):J25–J32.
- Kearey, P.; Brooks, M. e Hill, I. (2009) Geofísica de exploração, Oficina de Textos.

-
- de Lima, O. A. L. (2014) Propriedades Físicas das Rochas, SBGF.
- MacLeod, I. N.; Jones, K. e Dai, T. F. (1993) 3-d analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes, *Exploration Geophysics*, **24**(3/4):679–688.
- Milligan, P. e Gunn, P. (1997) Enhancement and presentation of airborne geophysical data, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**(2):63–75.
- Moraes, A.; Silva, E. d.; Garrido, I. e Michele, S. (2014) Rochas alcalinas de jaguaquara: Um ambiente do tipo iocg?, In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 47, SBG.
- Ribeiro, V. B.; Mantovani, M. S. e Louro, V. H. A. (2014) Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico, *Terræ Didactica*, **10**(1):29–51.
- Salem, A.; Williams, S.; Fairhead, D.; Smith, R. e Ravat, D. (2007) Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives, *Geophysics*, **73**(1):L1–L10.
- Shives, R. B.; Charbonneau, B. e Ford, K. L. (2000) The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry—recognition of alteration related to mineralization detecting ore using grs and k alteration, *Geophysics*, **65**(6):2001–2011.
- Silva, E. d.; Moraes, A.; Garrido, I. e Matos, V. (2014) O prospecto jaquaguara: Características geológicas e perspectivas metalogenéticas preliminares, In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 47, SBG.
- Silva, M. d. G. (1992) Evidências isotópicas e geocronológicas de um fenômeno de crescimento crustal transamazônico no cráton do são francisco, estado da bahia, In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 37, pp. 181–182.
- Talwani, M.; Worzel, J. L. e Landisman, M. (1959) Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the mendocino submarine fracture zone, *Journal of geophysical research*, **64**(1):49–59.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. e Keys, D. A. (1976) *Applied Geophysics*, Cambridge Un. Press, Cambridge.

Anexo I

Medidas petrofísicas

ROCHA	ESTAÇÃO		GRUPO	GAMAESPECTOMETRIA				SUSCEP. MAGNÉTICA K(s)X10 ⁻³
	X	Y		CTEX (R/H)	K (%)	eU 9 (ppm)	eTh (ppm)	
Sienito Brechado Silicificado	391224	8499754	1	162.5	1	1.7	9.6	4.727
Quartzo Sienito Epidotizado	391168	8499637	1	172.5	1.4	1.5	8.55	0.432
Sienito	390557	8499249	1	165	1.05	1.55	7.85	0.188
Sienito	390800	8498762	1	174.5	1.1	1.75	9.85	0.240
Sienito Albitizado Silicificado	390605	8498501	1	162	1.1	1.1	9.1	0.393
Monzonito Albitizado	390347	8498495	1	166	1.05	1.3	9	0.172
Sienito Albitizado	390685	8499506	1	160	1	1.25	9.7	0.044
Sienito Albitizado Silicificado	390783	8499001	1	175	1.45	1.45	10.4	0.266
Sienito Albitizado e Epidotizado	391066	8500251	1	176	1.3	1.3	10.9	8.043
Sienito Albitizado	390465	8498750	1	174.5	1.2	1.55	9	0.087
Monzonito Albitizado	390453	8498267	1	173.5	1.1	1.55	9.3	0.011
Sienito	391320	8499619	1	165.5	1.65	1.05	9.35	0.008
Albitito	390934	8500691	1	172.5	1	1.8	8.6	0.086
Albitito silicificado	390879	8500706	1	172.5	0.95	1.7	9.45	0.311
Granito	390516	8502294	2	175	1.45	1.65	10.25	5.503
Sienito	390693	8502293	2	180	1.3	1.1	9.65	4.610
Sienito	390101	8500481	2	170	0.95	1.9	8.65	0.887
Granito	392566	8499549	2	165	1.05	1.65	8.9	11.300
Monzonito Albitizado	390072	8500157	2	162.5	1	2.05	8.65	0.446
Monzonito	390669	8500752	2	180	1.5	1.55	11.05	0.388
Monzonito	390384	8501159	2	185	1	1.9	10.55	0.020
Granito Alcalino Gnaiss	390374	8501120	2	167.5	0.95	1.25	9.85	0.081
Protomilonito	390575	8501268	2	160	1.3	1	9.3	0.006
Anfibolito Granito Gnaiss	391264	8500288	3	174.5	1.5	1.4	11.45	8.903
Chamokito	391024	8501845	3	164.5	1.25	1.25	10.05	3.973
Enderbitito Gnaiss	390428	8500249	3	160	1.05	1.05	9.05	4.713
Enderbitito Gnaiss	391479	8499749	3	160	1.05	1.3	8.85	1.813
Granada Chamokito Gnaiss c/ sulfetos	391082	8501658	3	175	1.25	1.75	9.65	0.131
Chamokito	391399	8499576	3	167.5	1.2	1.25	9.4	8.360
Chamokito	390360	8499251	3	167.5	1.2	0.9	9.25	1.410
Chamokito Gnaiss	392214	8498264	3	165	1.4	1	9.15	7.980
Chamokito Gnaiss	390532	8499996	3	170	1.15	1.3	9.45	0.834
Chamokito Alterado	390747	8500360	3	175	1.35	0.95	10	0.049

Figura I.1: Medidas petrofísicas realizadas em amostras de campo.