



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

**GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO**

**MÉTODOS DA ELETRORRESISTIVIDADE E  
POLARIZAÇÃO INDUZIDA APLICADOS À  
PROSPECÇÃO MINERAL NO ALVO TAPIRANGA,  
MIGUEL CALMON, BAHIA**

**ÉRDESON SOARES FARIAS**

**SALVADOR – BAHIA**

Setembro – 2017

Método da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados à prospecção mineral no Alvo Tapiranga, Miguel Calmon, Bahia

por

ÉRDESON SOARES FARIAS

Orientadora: Dra. Susana Silva Cavalcanti

Coorientador: Me. Florivaldo Oliveira Sena

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora



The image shows three handwritten signatures in blue ink, each placed over a horizontal line. The top signature is the most legible and appears to be 'Florivaldo Oliveira Sena'. The middle signature is more stylized and less legible. The bottom signature is 'Ives Antonio de Almeida Garrido'.

Me. Florivaldo Oliveira Sena - Coorientador

Dr. Marcos Alberto Rodrigues Vasconcelos

Me. Ives Antonio de Almeida Garrido

Data da aprovação: 13/09/2017

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

***Arthur Schopenhauer***

Dedico este trabalho primeiramente  
a Deus, que me deu força em todos  
os momentos.

A meu tio Salatiel Farias, que me  
deu a oportunidade de estudar,  
a meu filho Caio Gabriel S. Farias  
que é minha motivação maior  
e aos amigos, pelo o apoio  
incondicional.

# RESUMO

Os métodos da eletrorresistividade e polarização induzida foram utilizados no Alvo Tapiranga, localizado na região oeste do Município de Miguel Calmon, no Estado da Bahia, visando identificar zonas de possíveis ocorrências de mineralização, tais como metais base. Foram executadas por técnicos da LASA cinco linhas P1, P2, P3, P4, e P5, em linhas definidas, abertas e piqueteadas pela CBPM, usando a técnica do caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo, sendo que as linhas P1 e P4, também foram perfiladas com a mesma técnica, porém com o arranjo polo-dipolo. A integração dos dados geofísicos possibilitou a construção de mapas de planta ou mapas de contorno e seções de resistividade e polarização induzida para análise de detalhamento do Alvo. A avaliação dos resultados da geofísica terrestre foi feita de acordo com o objetivo caracterizando o conjunto da elevada cargabilidade e baixa resistividade. As zonas que apresentaram esta resposta geofísica foram tratadas como zonas favoráveis a ocorrência de metais base e as demais como zonas não favoráveis.

# ABSTRACT

The methods of electrical resistivity and induced polarization were used in the target, called as Tapiranga, located in the western region of Miguel Calmon City, in the State of Bahia, in order to identify zones of possible occurrences of mineralization, as base metals. Were executed by LASA technicians five lines P1, P2, P3, P4, and P5, in defined lines, open and stacked by CBPM, using the electrical profiling technique with the dipole-dipole arrangement, with lines P1 and P4, were also profiled with the same technique, but with the pole-dipole arrangement. The integration of the geophysical data made it possible to construct plant maps or contour maps and sections of resistivity and induced polarization for detailed analysis of the target. The evaluation of the results of terrestrial geophysics was done according to the objective characterizing the set of high chargeability and low resistivity. The zones that presented this geophysical response were treated as zones favoring the occurrence of base metals and the others as unfavorable zones.

# ÍNDICE

RESUMO . . . . .	iii
ABSTRACT . . . . .	iv
ÍNDICE . . . . .	v
ÍNDICE DE FIGURAS . . . . .	vii
INTRODUÇÃO . . . . .	1
<b>CAPÍTULO 1</b> Características da Área de Estudo . . . . .	2
1.1 Aspectos Geológicos . . . . .	3
1.1.1 Bloco Gavião . . . . .	4
<b>CAPÍTULO 2</b> Métodos Geofísicos Elétricos . . . . .	13
2.1 Eletrorresistividade . . . . .	13
2.2 Polarização Induzida . . . . .	15
2.2.1 Principais Mecanismos de Polarização Induzida nas Rochas . . . . .	15
2.2.2 Medidas de Polarização Induzida . . . . .	17
2.2.3 Operações de Campo . . . . .	20
2.2.4 Principais Fontes de Ruídos no Método IP . . . . .	21
2.2.5 IP na Mineração . . . . .	23
2.3 Potencial Espontâneo (SP) . . . . .	23
<b>CAPÍTULO 3</b> Metodologia . . . . .	24
3.1 Aquisição de Polarização Induzida e Resistividade (IP/R) . . . . .	24
<b>CAPÍTULO 4</b> Processamento e Interpretação dos Dados . . . . .	26
4.1 Processamento . . . . .	26
4.2 Interpretação . . . . .	28
4.2.1 Mapas Geofísicos do Alvo Tapiranga . . . . .	28
4.2.2 Interpretação Integrada . . . . .	36
4.2.3 Pseudo-Seções . . . . .	39
4.2.4 Seções invertidas . . . . .	49
<b>CAPÍTULO 5</b> Conclusão . . . . .	60

<b>Agradecimentos</b> . . . . .	61
<b>Referências</b> . . . . .	62

# ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Localização e vias de acesso. . . . .	2
1.2	Mapa mostrando os grandes compartimentos tectônicos do Cráton do São Francisco. 1: Embasamento arqueano/Paleoproterozoico com sequências <i>Geenstone Belt</i> de Mundo Novo (preto). 2: Unidades Mesoproterozoico. 3: Unidades Neoproterozoica. 4: Cobertura Fanerozoicas. 5: Limites do Cráton do São Francisco. 6: Cinturões de dobramentos brasileiros, FA, BS FRG, FRP, FRPT e FS. Modificado de: Barbosa e Sabaté (2002) . . . . .	4
1.3	Mapa geológico do <i>Geenstone Belt</i> de Mundo Novo. Fonte: (Garrido et al., 2002) . . . . .	7
1.4	Mapa geológico do Alvo Tapiranga, mostrando os perfis ao longo das quais os dados elétricos foram analisados. Fonte: (Garrido et al., 2002) . . . . .	12
2.1	Mecanismo de polarização de eletrodo . . . . .	16
2.2	Geração do efeito de polarização de membrana associado com: (a) estreitamento dentro do canal poroso e (b) partículas de argila ao longo das paredes dos poros . . . . .	17
2.3	Aplicação de um pulso de corrente com polaridade alternada e medição da voltagem mostrando o efeito de polarização induzida no domínio do tempo. .	18
2.4	Medida da cargabilidade no domínio do tempo. . . . .	19
2.5	Esquema de arranjo dipolo-dipolo utilizando a técnica do caminhamento elétrico	20
2.6	Esquema de arranjo pólo-dipolo utilizando a técnica do caminhamento elétrico	21
4.1	Exemplo de modelo de bloco que gera uma seção . . . . .	27
4.2	Mapa geofísico de Cargabilidade Cole-Cole. . . . .	30
4.3	Mapa geofísico de Resistividade Calculada. . . . .	31
4.4	Mapa geofísico do Fator Metálico. . . . .	33
4.5	Mapa geofísico de IP Average. . . . .	34
4.6	Mapa geofísico do Potencial Espontâneo. . . . .	35
4.7	Mapa geofísico do Tau ou Constante de Relaxação. . . . .	37
4.8	Mapa geológico do alvo Tapiranga com anomalias geofísicas. . . . .	38
4.9	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P1 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo. . . . .	40
4.10	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P1 perfilada com o arranjo polo-dipolo. . . . .	41

4.11	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P2 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo. . . . .	42
4.12	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P3 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo. . . . .	45
4.13	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P4 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo. . . . .	46
4.14	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P4 perfilada com o arranjo polo-dipolo. . . . .	47
4.15	Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P5 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo. . . . .	48
4.16	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P1 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . .	50
4.17	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P1 perfilada com o arranjo polo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . . .	51
4.18	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P2 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . .	53
4.19	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P3 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . .	54
4.20	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P4 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . .	56
4.21	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P4 perfilada com o arranjo polo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . . .	57
4.22	Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P5 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos. . .	59

# INTRODUÇÃO

No Brasil a mineração é um dos setores de suma importância para a manutenção, desenvolvimento e crescimento econômico do país. Nesse setor, o conjunto de atividades desenvolvidas é denominado de pesquisa mineral, e compreende uma série de etapas de planejamento direcionados para o objetivo de interesse, que variam desde a forma de ocorrência no meio geológico, métodos, procedimentos de investigação e projeções comerciais. As ferramentas disponíveis compreendem métodos diretos como: sondagem, amostras de rochas, análises químicas e métodos indiretos como: análise de sensores remotos e métodos geofísicos (Maranhão, 1985).

A eletrorresistividade possui diversos campos de atuação, sendo o seu principal uso voltado para pesquisa de água subterrânea. Outras aplicações como mineração, contaminação e geotecnia também faz uso deste método. O método da polarização induzida é amplamente aplicado em pesquisa mineral, devido a elevada polarizabilidade dos minerais disseminados no meio geológico.

Os dados para o desenvolvimento deste trabalho foram fornecidos pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e foram coletados em Tapiranga, distrito pertencente a cidade de Miguel Calmon no Estado da Bahia. Este foi um dos alvos selecionados para o levantamento terrestre de detalhe após o levantamento aerogeofísico.

Para o processamento foram utilizados os softwares Oasis Montaj da Geosoft e o Res2dInv da Geotomo. Os resultados são apresentados na forma de mapas de plantas ou mapas de contorno e pseudo-seções invertidas da cargabilidade e da resistividade aparente. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os dados verificando as possibilidades de existências de mineralizações, bem como metais básicos (Zn, Cu e Pb).

# CAPÍTULO 1

## Características da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no distrito de Tapiranga, município de Miguel Calmon Estado da Bahia, situado entre as coordenadas,  $40^{\circ}49'00''$  e  $40^{\circ}68'00''$  de latitude Sul, e  $11^{\circ}28'06''$  e  $11^{\circ}43'40''$  de longitude Oeste (Figura 1.1). O município tem uma extensão territorial de  $1.587,976 \text{ km}^2$  e uma população em torno de 26.475 habitantes (IBGE, 2010). A sede do município está a uma altitude de 544 m acima do nível do mar, e dista 367 km da cidade de Salvador. A cidade de Miguel Calmon tem divisas com os municípios de Jacobina ao norte, Mundo Novo e Piritiba à sul, Várzea do Poço à leste e Morro do Chapéu à oeste. O acesso rodoviário pode ser feito através da BR-324 até a cidade de Feira de Santana, em seguida pela BA 052 passando por Mundo Novo até o entrocamento com a BA 421, a partir desta segue-se pela BA 131 até Miguel Calmon. A ligação entre a sede municipal e a área de estudo é feita pela BA-422 sentido leste e dista 27 km da sede municipal.

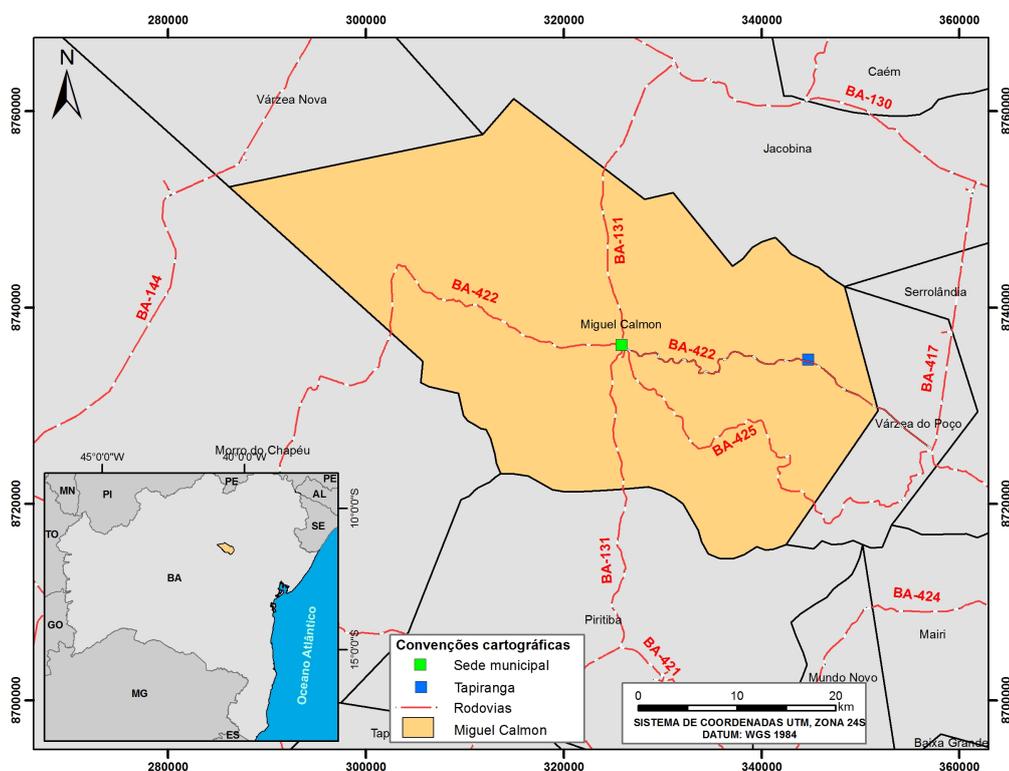


Figura 1.1: Localização e vias de acesso.

O clima da área de estudo é do tipo seco a sub-úmido nas regiões de relevo mais acidentado, e semi-árido nas regiões de relevo mais colinoso, a temperatura média anual varia entre a máxima de 29 °C e a mínima de 19 °C, e o período chuvoso vai de novembro a março, com índice pluviométrico anual variando entre o máximo de 2.128 mm e o mínimo de 143 mm, já o relevo, segundo King (1957) exhibe três ciclos de desnudação: Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu. Da atuação dos processos relacionados aos referidos ciclos, condicionada, primordialmente, ao arcabouço litoestrutural e, subordinadamente, às condições climáticas e cobertura vegetal, resultaram as três grandes unidades geomorfológicas observadas: pediplanos cimeiros, zona de relevo fortemente acidentado a montanhoso e zona de relevo colinoso com cristas residuais.

São identificadas quatro tipos de vegetação na área: Caatinga, Floresta Caducifólia, Campos Gerais e Matas em Galeria e Ciliar. A Caatinga é o tipo de vegetação predominante na área onde ocorrem espécimes de tipos arbóreos, representados por Baraúna, Juazeiro, Umburana, Angico, Jurema e Umbuzeiro. A Floresta Caducifólia ocorre nas vertentes úmidas, principalmente nas bordas do relevo fortemente acidentado e é representada por vegetação de médio a grande porte. Os Campos Gerais localizam-se no topo da serra de Jacobina e constituem um agrupamento vegetal silvestre e arbustos retorcidos bastante espaçados. Matas em Galeria e matas ciliares restringem-se ao longo dos principais rios como Jacuípe, Capivari e Itapicuru Mirim e são representadas por vegetação arbórea.

As atividades econômicas de Miguel Calmon (inclusive o Distrito de Tapiranga) restringem-se à agricultura de subsistência (feijão, milho, laranja, mandioca e cana-de-açúcar). A mineração é um setor econômico, com destaque para exploração da mina de barita no distrito de Itapura.

## 1.1 Aspectos Geológicos

A área de estudo encontra-se posicionada na interface norte do Bloco Gavião, especificamente na região do *Greenstone Belt* de Mundo Novo (GBMN), sobre o Granito Cachoeira Grande que está entre a Serra Campestre e a Serra Azul. Todos esses agrupamentos geológicos junto com o Bloco Serrinha (BS), Bloco Uauá, Bloco Jequié, Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (CISC) e Cinturão Salvador Esplanada compõe integralmente o Cráton do São Francisco (CSF).

O CSF abrange, além do Estado da Bahia, estados de Sergipe, Pernambuco, Goiás e Minas Gerais (Almeida, 1977), delimita-se pelas faixas neoproterozóicas Riacho do Pombal e sergipana a norte, Brasília a sul e oeste, Rio Preto a noroeste e Araçuá a sudeste (Almeida, 1981) (Figura 1.2). O Cráton do São Francisco pode ser descrito geotectonicamente como um agrupamento de estruturas geológicas originado por incessante mecanismo tectônico devido

a desenvolvimentos crustais e/ou colisões continentais do final do Paleoproterozóico (Barbosa e Sabaté, 2003). É constituído pelas seguintes litologias: terrenos graníticos, gnáissicos, migmatíticos de idade arqueana de alto a médio grau metamórfico, sequências vulcanossedimentares do tipo *Greenstone Belt*, formado durante o arqueano e o paleoproterozóico (Bastos Leal, 1998).

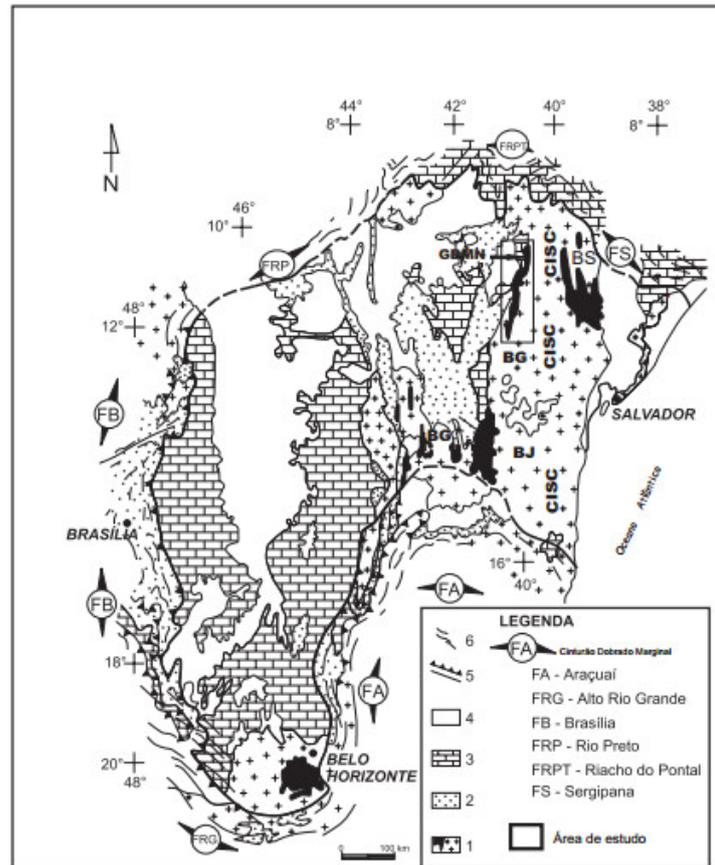


Figura 1.2: Mapa mostrando os grandes compartimentos tectônicos do Cráton do São Francisco. 1: Embasamento arqueano/Paleoproterozoico com sequências *Greenstone Belt* de Mundo Novo (preto). 2: Unidades Mesoproterozoico. 3: Unidades Neoproterozoica. 4: Cobertura Fanerozoicas. 5: Limites do Cráton do São Francisco. 6: Cinturões de dobramentos brasileiros, FA, BS FRG, FRP, FRPT e FS. Modificado de: Barbosa e Sabaté (2002)

### 1.1.1 Bloco Gavião

O Bloco Gavião (BG) representa o segmento crustal mais antigo e de maior exposição do embasamento arqueano e paleoproterozóico do Cráton do São Francisco (CSF). Além dos granitóides Serra do Meio, Jaguarari, Flamengo, Cachoeira Grande, Carnaíba e Campo Formoso, o BG é composto basicamente de rochas graníticas, granodioríticas e migmatíticas, e hospeda várias sequências vulcanossedimentares arqueanas e/ou paleoproterozóica, com idades radiométricas variando entre 3,5 e 2,7 Ga (Leal et al., 2012).

De acordo com Sabaté e Marinho (1982), o BG é um extenso segmento geológico da parte oeste do embasamento do Cráton do São Francisco na direção N-S, sendo protegido por coberturas Mesoproterozóico e Neoproterozóico à norte.

No decorrer do Paleoproterozóico (c.a 2,3-2,0 Ga), o BG se envolveu em colisão com os segmentos crustais denominados de Bloco Serrinha, Itabuna-Salvador-Curaçá e Bloco Jequié, onde, de acordo com Barbosa e Sabaté (2002), o deslocamento dos blocos ocorreram na direção NW-SE. As evidências da colisão podem ser encontradas na presença de rochas pré a sin tectônicas como também em elementos estruturais, nos referidos segmentos crustais (Barbosa e Sabaté, 2003).

Para Barbosa et al. (2016), o Bloco Gavião é constituído por uma associação de ortogneisses, leptinitos e anfibolitos, de segmentos vulcanossedimentares, equilibrados na fácies xisto verde. Estudos recentes mostram que a maioria destas sequências são *Greenstone Belt* e foram denominados de Contendas Mirante, Umburanas e Mundo Novo (Marinho, 1991).

### **Complexo Mairi**

Esse complexo é caracterizado por rochas tonalito-granodiorito-graníticas migmatizadas e gnaissificadas com remanescentes isoladas de sequências supracrustais, além dos anfibolitos e corpos estreitos de rochas máficas/ultramáficas. Esse conjunto litológico constitui o embasamento do Greenstone Belt de Mundo Novo e da sequência dentrítica da serra de Jacobina (Melo, 1991).

### **Complexo Saúde**

Para Couto et al. (1978) e Melo et al. (1995) o Complexo Saúde encontra-se na marginal da Serra de Jacobina e, é, representado principalmente por paragneisses aluminosos que incluem os Kinzigitos (rochas metamórfica de composição pelítica), leptitos, quartzitos, quartzobiotita-xistos e conglomerados além de rochas calcissilicáticas. O Complexo Saúde caracterizado por Couto et al. (1978) como uma associação litológica composta, principalmente, de biotita gnaisses, granada leptitos, metaconglomerados, quartzo-sericita xistos, cianita xistos e tremolita-clorita-xistos (Couto et al., 1978).

### **Complexo Itapicuru**

Para Melo et al. (1995) esse complexo constitui um cinturão de rochas vulcanosedimentares de baixo grau metamórfico e de idade arqueana a paleoproterozóica. Esse complexo foi incluso no *Greenstone Belt* de Mundo Novo, por Mascarenhas e Silva (1994) e de idade paleoproterozóica.

O Complexo Itapicuru foi definido por Couto et al. (1978), a qual engloba quatro formações: Formações Bananeiras e Cruz das Almas (Leo et al., 1964), Serra do Meio e Água Branca (Griffon, 1967), atribuindo-lhe uma posição estratigráfica inferior ao Grupo Jacobina. Para Couto et al. (1978), o Complexo Itapicuru compreende filitos/filonitos, xistos a sericitamoscovita, clorita e biotita, silexitos, metabasitos, metaultrabasitos, formações ferríferas e manganésíferas, metassiltitos e quartzitos, às vezes, com níveis meta-conglomeráticos, com afinidades litoestruturais bastantes intrincadas. Todo este conjunto litológico se encontra fortemente deformado e fraturado, metamorfozizado na fácies xisto-verde. Posteriormente, o complexo foi redefinido com a inclusão das unidades Itapura (sedimentar) e Mundo Novo (Vulcanossedimentar paleoproterozóica) por Melo et al. (1995).

### ***Greenstone Belt* Mundo Novo (GBMN)**

O *Greenstone Belt* de Mundo Novo (GBMN) (Figura 1.3) encontra-se inserido na região centro-leste da Bahia entre os metassedimentos do Grupo Jacobina e tectonitos do Bloco Gavião com o Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (Barbosa e Sabaté, 2002). Foi definido como sendo uma entidade geotectônica referente ao Complexo Mairi (Loureiro, 1991) ou ao Bloco Gavião (Sabaté e Marinho, 1982), porção integrante do Cráton do São Francisco, entidade geotectônica comportando o embasamento, ao qual se associam terrenos-greenstone e cinturões móveis de médio e alto graus metamórficos (Almeida, 1977). Os conjuntos litológicos pertencentes ao GBMN comparáveis aos xistos, verdes, do Complexo Itapicuru e fácies anfíbolito do Complexo Saúde (Melo, 1991). O GBMN apresenta as seguintes subdivisões litológicas regionais do embasamento: sequência inferior, sequência média e sequência superior.

A sequência inferior é formada por litologias máficas-ultramáficas na porção que aflora na região do Complexo Saúde, rochas ultramáficas do Grupo Jacobina e sill máficos-ultramáfico do Campo Formoso e Socotó, inserido no norte do BG. Na sequência média a litologia é do tipo vulcânico-máfica. Nessa sequência é possível também destacar rochas vulcânicas félsicas e sedimentares que se refere basicamente a região de Mundo Novo (Loureiro, 1991). A sequência superior é caracterizada como sendo sedimentar, intercalações de rochas vulcânicas intercaladas no metassedimentos.

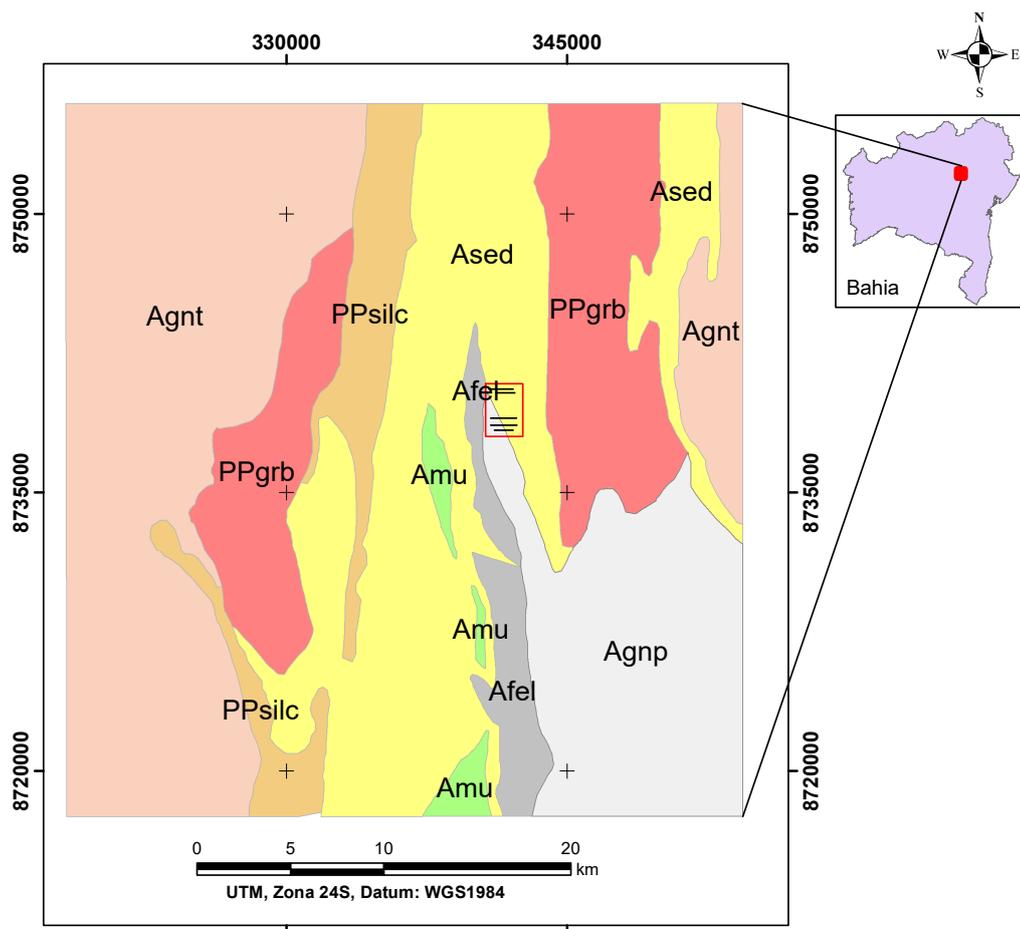


Figura 1.3: Mapa geológico do *Geenstone Belt* de Mundo Novo.

Fonte: (Garrido et al., 2002)

### Domínio Vulcânico Máfico/Ultramáfico (Amu)

No domínio ultramáfico, Mascarenhas e Silva (1994) relatam a existência de rochas ultramáficas encaixadas como lascas tectônicas no Grupo Jacobina, formando a base da sequência do GBMN. Esse domínio também é identificado pelas rochas na Serra do Cantagalo, com feições de paleotexturas ígneas e vulcânica e pelo sill diferenciado com camadas

extensa de cromititos de Campo Formoso e Socotó encaixados no Complexo Mairi Tonalítico-Trochjemítico-Granodioríticas (TTGs) relacionada ao Complexo Mairi.

Para Souza et al. (1996), o domínio ultramáfico está representado por corpos situado a leste de Miguel Calmon, interposto no domínio sedimentar do GBMN, por um conjunto de rochas metaultramáficas (cristais prismáticos, grossos de tremolita) e calcissilicáticas e um pequeno corpo à sudoeste de Jequitibá, relacionado com as rochas do Complexo Mairi.

No domínio máfico comporta-se os metabasaltos com pillow lavas que ocorrem em Pindobaçu. faixas são descontínuas e situadas a nordeste de Piritiba, na forma de um bumerangue, a norte em contato com o domínio sedimentar do GBMN e, a sul, em contato por falha de empurrão com o corpo granítico de Areia Branca. Também são observadas faixas menores e estreitas a sudeste do povoado de Tapiranga, na estrada que liga este povoado ao de Itapura e a nordeste de Piritiba (Lagoa da Onça) interpostas, respectivamente, em gnaisses aluminosos e rochas do Complexo Mairi (Roig et al., 1992). Esse domínio é caracterizado por um conjunto litológico de rochas metamáficas, calcissilicáticas, formações ferríferas bandadas, metacherts, mármore, metasedimentos, gnaisses aluminosos subordinamente de metaultramáficas. Na região de Palmerinha esse domínio tem a forma de bumerangue e ocorre em contato a norte com metarenitos do domínio metasedimentar do GBMN e, a sul, em contato por falha de empurrão com corpos granítico de Areia Branca.

### **Domínio de Vulcânicas Félsicas (Afel)**

Esse domínio representa basicamente à unidade Mundo Novo, e, é constituída por Rochas vulcânicas intermediárias, com intercalações de sedimentos psamíticos, pelíticos e químico-exalitos (Loureiro, 1991). As rochas vulcânicas Félsicas encontra-se posicionadas a sul de Mundo Novo, como uma extensa faixa laminada na forma de punhal que se afina sentido sul, e pode se verificada nos cortes de estrada Mundo Novo-Morro do Chápeu (BA-052) e Mundo Novo-Piritiba (BA-421). A leste exhibe-se em contato por falha com gnaisses aluminosos, e, a oeste e norte também exhibe-se contato por falha com rochas do Complexo Mairi.

Segundo Mascarenhas et al. (1998), as rochas desse domínio são do tipo metavulcânicas félsicas, com coloração cinza-médio, granulação fina, fenocristais de quartzo e pagioclásio imersos numa matriz fina cisalhada, algumas vezes, com faixas de silificação seguindo a foliação, pelas metavulcânicas máficas comporta-se metabasaltos formado de actinolita, pagioclasio, quartzo e opacos, com textura amigdaloidal, localmente com composição andesítica e possivelmente komatiítica, com intercalações de composições ferríferas bandadas sulfeto e sílicato (grunerita, quartzo e opacos, biotita-quartzo-grafita xisto, rochas calcissilicáticas,

metatufos félsicos e/ou metassedimentos aluminosos (andaluzitaestauroлита-granada-biotita-quartzo xisto), além dos metassedimentos aluminosos compreendendo metagrauvas arcosianas e, mais raramente biotita plagioclásio gnaiss, contendo subordinadamente, faixas metachert turmalínífero, formações ferríferas bandadas e metabasaltos (actinolita plagioclásio e opacos) exibindo estrutura semelhante a pillow lavas deformadas.

### **Domínio Sedimentar (Ased)**

Nesse domínio compreende-se a maior expressão superficial pertencente do GBMN, ocorrendo como uma faixa irregular iniciada a norte de Mundo Novo e se estende bordejando o Grupo Jacobina em toda a extensão oriental da serra homônica. É caracterizado por uma associação lítica representada por metarenitos, metarcóseos, metarenitos conglomeráticos, metaconglomerados, xistos ferro-manganesíferos, calcissilicáticas e metatufitos (Garrido et al., 2002).

A influência deste domínio com os paragnaisses da fácies anfibolito localizados a sul de Mundo Novo não é muito evidente, aparentemente é brusco e de natureza tectônica provocada por zona de cisalhamento, a qual coloca, lado a lado, rochas de graus metamórficos discrepantes. O domínio é determinado por uma associação lítica, diferenciada ou não, representada por metarenitos, metarcóseos, metarenitos conglomeráticos, metaconglomerados, xistos, xistos ferro-manganesíferos, calcissilicáticas e metatufitos (Garrido et al., 2002).

### **Domos Gnáissicos-Magmatíticos de TTG's do Complexo Mairi**

Estas estruturas Dômicas de TTG's bimodais Tonalítico-Thondhjemítico-Granodioríticos e diorítico-gabroícos, ocorre em toda a área condicionada a sequência vulcanosedimentar do *Greenstone Belt* (Mascarenhas et al., 1998). Ganham mais destaque na região oriental do greenstone, principalmente na região de Saúde, entre Vázea Grande e a estrada Capim Grosso-Jacobina, onde são inseridas pelo granito de Cachoeira Grande, e a leste de Mundo Novo, além de Ruy Barbosa onde engloba porções não completamente assimiladas de charnoquitos e enderbitos. Esse tipo de rocha é metamorfizada na fácies anfibolito, nesse caso, o domo representa uma extensão norte do Complexo Jequié.

Para Loureiro (1991), os gnaisses migmatíticos que indentificam o Complexo Mairi mostram os elementos constituintes característicos de tipos de litológicos originado por fusão: a fração mesossomática/paleossomática é contituída por biotita-(hornblenda)-gnaisses tonalíticos, thondhjemíticos e granodioríticos e por metabasitos gabro-dioríticos localmente anfibolizados; o melnosoma é caracterizado por biotita, enquanto que o leucossomática é caracterizada por monzogranitos. As rochas apresentam estruturas bandadas, embora tenha sido individualizados estruturas diatexiticos. Estruturalmente as rochas apresentam deformações

complexas com padrões de interferências dos tipos domos e bacia, e bumerangue, além de dobramentos incongruentes entre si, e dobras intrafoliares (Loureiro, 1991).

Segundo Loureiro (1991), geoquimicamente os termos intermediários a ácido (TTG's) são semelhantes aos *grey gneisses* arqueanos, com elevados teores de sílica e caráter metaluminoso a levemente peraluminosos. São vistos como produtos de fusão parcial da crosta toleítica quente, os restos são representados pela inclusões gabro-dioríticas que compõem a suíte bimodal.

### **Corpos Graníticos de Feições e Naturezas Diversas**

Os granitos e rochas ígneas ou magmáticas, intrusiva ou plutônicas, são de grão fino não metamórfico, médio ou grosseiro, compostas essencialmente pelos minerais: quartzo, mica e feldspato, tendo como minerais acessórios mica, hornblenda, zircão e outros minerais.

Os corpos graníticos e/ou granitóides ocorrem desde Campo Formoso, Flamengo, Jaguarari, Carnaíba, a norte, e Itaberaba, a sul da área, formando um alinhamento que foi definido pelos mesmos autores como o Cinturão Jacobina-Contendas-Mirante (Sabaté et al., 1990). Geoquimicamente estes granitos/granitóides são natureza peraluminosa, sendo distinguidas com base no comportamento de elementos-traço. São formados por quatro corpos alongados na direção meridiana, localizados nas imediações de Piritiba, em Miguel Calmon, Itapicuru e adjacentes a Serra de Jacobina. O granito de Miguel Calmon geralmente é caracterizado pela cor cinza, granulação média, quase sempre com pórfiros subeudrais e eudrais de feldspato branco com tamanho máximo de 3 cm, e constituído basicamente por granodiorito, ocorrendo subordinadamente monzogranitos, em geral são tipos de rochas que apresentam coloração rosada a cinza, composta predominantemente por plagioclásio, quartzo, k-feldspato e biotita.

Esse tipo de rocha também está associado a ortognaisses bimodal de idade arqueana e metamorfizado na fácies anfibolito alto, está intrudido no Complexo Mairi englobando uma determinada área de paragnaisses kinzigíticos até então desconhecida, além das rochas metabásicas-metaultrabásicas (Loureiro, 1991).

As formações graníticas de Miguel Calmon faz contato através de zona de cisalhamento contracional (este contato encontra-se exposto no povoado Cabral, sudeste de Miguel Calmon), com os metassedimentos do Grupo Jacobina: Formação Serra do Córrego, constituído por sequência de quartzitos e conglomerados que estão relacionados a sistemas de leques aluviais e planícies aluviais, com as paleocorrentes fluindo de leste para oeste; Formação Rio do Ouro (sequência de quartzitos).

## Grupo Jacobina

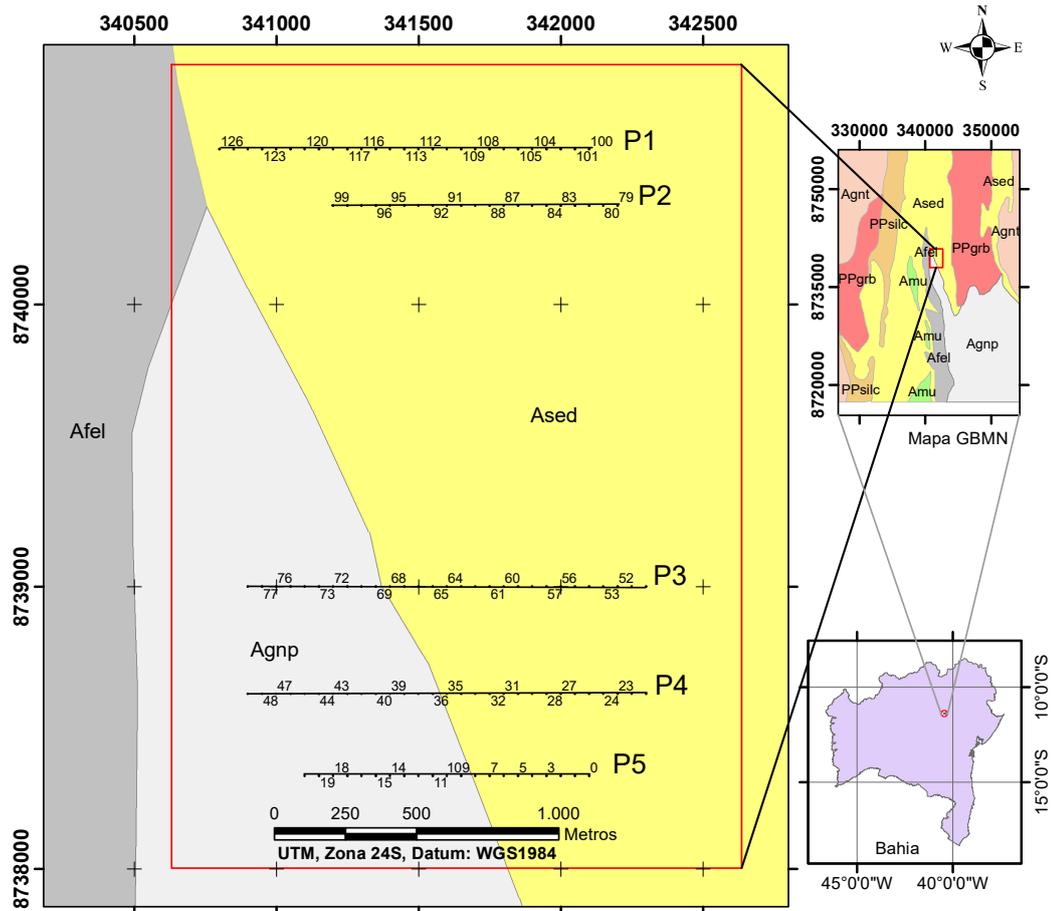
A Serra de Jacobina é de idade paleoproterozóica, e suas principais formações são: Rio do Ouro, Bananeiras, Cruz das Almas e Serra do Córrego (Leo et al., 1964). Segundo Sampaio et al. (1995), a Formação Cruz das Almas foi subdividida em: Formação Cruz das Almas, com presença de xistos com níveis de quartzitos, Formação Serra do Meio, com presença de quartzitos, conglomerados com cianita e andalusita xistosa e Formação Água Branca, com presença de xistos com níveis de quartzo, filitos e formação ferríferas, com indícios de mineralizações manganésíferas.

O Grupo Jacobina limita-se com o Complexo Mairi, com os granitóides de Miguel Calmon e com o Complexo Itapicuru, por uma zona de cisalhamento contracional. A litologia descrita no Complexo Mairi e no Complexo Itapicuru constitui o embasamento do Grupo Jacobina (Sampaio et al., 1995). Neste grupo é possível destacar as mineralizações de ouro, na Serra do Córrego (constituída por sequências de quartzitos e conglomerados, esse último com mineralizações auríferas, segregado em duas partes conglomeráticas, com espessura variando de centímetros a metros, podendo atingir quilômetros), a qual sua formação deposicional está relacionada a sistemas de leques aluviais e planícies aluviais. A Formação Rio do Ouro é formada por uma sequência de ortoquartzitos puros de granulação fina a média, brancos, cinza e esverdeados, recristalizados e raramente friáveis, ocorrem na sua parte basal, níveis delgados e descontínuos de metaconglomerado. A sedimentação dos ortoquartzitos se deu em ambiente marinho raso, dominado por marés. Veios de quartzo pouco espessos, alguns deles com concentrações auríferas, cortam essas rochas quartzíticas (Barbosa et al., 2012).

## Alvo Tapiranga

O alvo Tapiranga selecionado pela CBPM a partir do levantamento aerogeofísico eletromagnético e magnético utilizando o sistema Eletromagnético Questem 450 realizado entre 1998 e 1999, pela Lasa World Science. Visando identificar mineralizações de sulfeto maciços em ambiente vulcanogênico do tipo *Greenstone Belt* (?).

O alvo Tapiranga está representada geologicamente por rochas metassedimentares e paragneisses aluminosos (Figura 1.4) (Garrido et al., 2002). Os metassedimentos são constituídos principalmente de metagravauca arcoseanas e faixas com níveis grafitosas e subordinadamente metacherts, formações ferríferas e raros níveis de metabasaltos e vulcânicas félsicas. Observa-se no mapa que das cinco linhas perfiladas a P1 e P2 estão sobrepostas totalmente sobre o domínio sedimentar, enquanto que as linhas P3, P4 e P5 estão sobrepostas parcialmente sobre o domínio sedimentar e o paragneisses aluminosos.



**Legenda**

- |   |  |
|---|--|
| <span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> Alvo Tapiranga | <b>Geologia</b>  |
| · Pontos  | <b>Unidades geológicas</b>   |
| — Linhas  | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; vertical-align: middle;"></span> Ased-Domínio Sedimentar          |
|   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: grey; vertical-align: middle;"></span> Afel-Domínio de vulcânicas félicas |
|   | <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightgrey; vertical-align: middle;"></span> Agnp-Paragneisses aluminosos  |

Figura 1.4: Mapa geológico do Alvo Tapiranga, mostrando os perfis ao longo das quais os dados elétricos foram analisados. Fonte: (Garrido et al., 2002)

## CAPÍTULO 2

# Métodos Geofísicos Elétricos

Os métodos geofísicos são caracterizados por serem não invasivos. Constituem-se técnicas indiretas de investigação das estruturas geológicas do subsolo através da aquisição e interpretação de dados obtidos de modo a caracterizar o contraste das propriedades físicas dos materiais da subsuperfície. Neste trabalho foi utilizado o método elétrico, e se divide em: Resistividade (R), Polarização Induzida (IP) e Potencial Espontâneo (SP). Neste capítulo será abordado com um aprofundamento maior o método da polarização induzida, o qual foi empregado neste trabalho.

### 2.1 Eletrorresistividade

O método da eletrorresistividade consiste na determinação da resistividade elétrica dos materiais de subsuperfície. O método pode ser aplicado através de duas técnicas: a sondagem elétrica vertical (SEV) e o caminhamento elétrico (CE). A escolha da técnica geoeletrica varia de acordo com o objetivo da pesquisa. A SEV consiste em investigar discontinuidades verticais em uma seção geológica, o princípio da técnica consiste em injetar corrente elétrica no solo através de dois eletrodos de corrente acoplados no solo denominados de A e B, sendo a diferença de potencial medida através dos eletrodos de potencial M e N localizados entre os eletrodos de corrente, A e B (Ward, 1990). A medida que A e B são deslocados, e mantendo fixos M e N, a profundidade de investigação aumenta. A resistividade do meio pode ser calculada através da seguinte expressão.

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

onde

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (2.2)$$

$\Delta V$  é a diferença de potencial medido, entre os dois eletrodos M e N, I é a corrente injetada, por A e B, e K é o fator geométrico que depende das posições dos eletrodos de corrente e de potencial, sendo aplicado em qualquer configuração de quatro eletrodos.

O caminhamento elétrico constitui em investigar limites laterais, o princípio da técnica consiste no deslocamento de todo o arranjo, mantendo uma distância fixa entre os eletrodos de corrente A e B e os de potencial M e N ao longo de uma linha de perfil. Dentre várias vantagens em empregar, destaca-se: a determinação de fraturas ou fissuras, a determinação de plumas de contaminação no solo, a avaliação de infiltração em barragens.

Na prospecção geoeletrica, a resistividade elétrica de uma rocha é uma das propriedades físicas mais relevantes e tem por objetivo medir a dificuldade de transporte de cargas livres pelo meio. No entanto os minerais que compõem as rochas são muito resistentes a passagem da corrente elétrica (Telford et al., 1990). Na tabela 1, são apresentados alguns tipos de materiais geológicos e seus respectivos valores de resistividades e condutividades.

Tabela 1: Tipos de materiais geológicos e faixa de resistividade.

Fonte: Telford et al. (1990).

Materiais	Resistividade (ohm.m)	Condutividade (mS/m)
Granito(úmido e seco)	$4,5 \times 10^3 - 1,3 \cdot 10^6$	0,0008 - 0,22
Gabro	$10^3 - 10^6$	0,001 - 1
Xisto	$20 - 10^4$	0,1 - 50
Mármore	$10^2 - 2,5 \times 10^8$	0,000004 - 10
Quartzito	$10 - 2 \times 10^8$	0,000005 - $10^2$
Argilito	10 - 800	1,25 - $10^2$
Calcário	$50 - 10^7$	0,0000001 - 20
Argila(úmida e seca)	$1 - 10^2$	$10 - 10^3$
Areia(úmida e seca)	$1 - 10^4$	$1,0 - 10^3$
Água Doce(20 °C)	80	12,5
Água Subterrânea	0,5 - 300	3,3 - 2000
Água Salgada	0,1 - 1	$10^3 - 10^4$
Água do Mar	0,2	5000
Ferro	$9 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^4$
Cobre	$2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^4$
Solo	1 - 10	$10^2 - 10^3$

## 2.2 Polarização Induzida

### 2.2.1 Principais Mecanismos de Polarização Induzida nas Rochas

A polarização induzida é um fenômeno ocasionado pela corrente elétrica injetada no meio, provocando um retardo na voltagem de resposta (Sumner, 1976). Assim como no método da eletroresistividade, tem-se a corrente injetada através de dois eletrodos de corrente (A e B) e a diferença de potencial é medida por dois eletrodos de potencial (M e N). Se a corrente injetada no meio for cessada, um campo elétrico é gerado e não desaparece bruscamente, mas sim de uma maneira lenta, no entanto ocorrerá um decaimento da voltagem em um determinado tempo, tem-se o chamado fenômeno da polarização induzida (IP) ou sobretensão, que foi estudado por Schlumberger (Parasnis, 1973).

Há duas causas principais do fenômeno da polarização induzida, ambas relacionadas a processos eletroquímicos: a polarização de eletrodo e a polarização de membrana.

#### Polarização de Eletrodo

A polarização de eletrodo ou sobrevoltagem é muito importante na presença de minerais metálicos nas rochas, esse fenômeno depende, entre outros fatores, de uma fonte de corrente externa, das características do meio, como a porosidade, que é um fator limitante, já que oferece caminho para a condução eletrolítica. Depende também da concentração mineral, tendo uma resposta mais rápida nos minerais disseminados, já que é um fenômeno superficial, do que nos minerais maciços (Telford et al., 1990).

Considere uma rocha porosa e um grão de mineral metálico, no qual o mineral bloqueia o poro da rocha e uma voltagem é aplicada a cada lado do espaço poroso, as cargas positivas e negativas são empurradas em sentidos opostos do grão. No entanto, os íons positivos e negativos concentram-se de cada lado do grão, fazendo com que ocorra a liberação do elétrons para o grão. Como a passagem dos elétrons é muito mais rápida que o fluxo dos íons no eletrólito, os íons se acumulam nos lados do grão e geram um aumento de cargas (Figura 2.1). Quando ocorre a remoção da corrente, a distribuição do íons é alterada voltando ao estado inicial durante um intervalo de tempo. (Telford et al., 1990).

#### Polarização de Membrana

A polarização de membrana é outra forma de armazenar cargas elétricas, por diferença de mobilidade de íons. Existem duas formas de ocorrer a polarização de membrana. Uma dentro do poro e a outra está associada a presença de argila no poro, tal como em arenitos impuros (Reynolds, 2011).

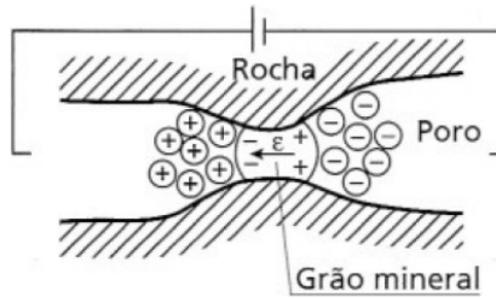


Figura 2.1: Mecanismo de polarização de eletrodo (Kearey et al., 2013)

Grande parte dos minerais de argila existentes nas rochas possuem carga total negativa em suas superfícies exteriores em contato com o fluido interporoso. Os íons positivos concentram-se nessa interface, enquanto que, as cargas negativas sofrem repulsão dela. Caso a concentração de íons positivos exceda o estreitamento do poro nessa região, o deslocamento dos íons será dificultado na presença de uma voltagem aplicada. Portanto, acarretará uma concentração de íons negativos e positivos de cada lado bloqueado e gerando uma diferença de potencial (Figura 2.2a). Enfim, quando ocorre o desligamento da voltagem aplicada, a concentração dos íons volta ao normal provocando, conseqüentemente, uma voltagem residual durante um certo tempo.

A segunda forma de ocorrência da polarização de membrana está associada a existência de partículas de argila nas rochas. O mineral em sua superfície possui cargas negativas, atraindo os íons de cargas positivas, gerando nuvens carregadas com cargas positivas dentro do poro. Na presença de uma voltagem aplicada, as cargas negativas são bloqueadas pelas nuvens carregadas positivamente, gerando uma diferença de concentração (Figura 2.2b). Quando a voltagem é interrompida, os íons retornam as suas posições iniciais gerando também, uma voltagem residual (Reynolds, 2011).

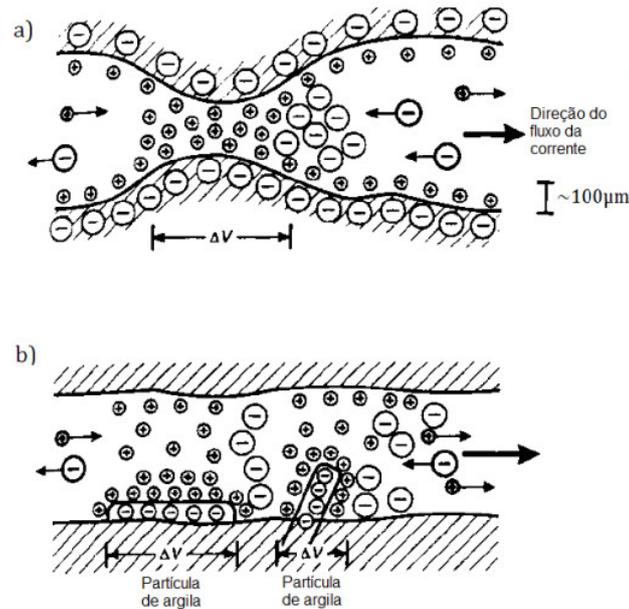


Figura 2.2: Geração do efeito de polarização de membrana associado com: (a) estreitamento de camada porosa e (b) partículas de argila ao longo das paredes dos poros (Reynolds, 2011)

### 2.2.2 Medidas de Polarização Induzida

As medidas de polarização induzida podem ser efetuadas de duas maneiras diferentes: domínio da frequência e domínio do tempo. A depender do domínio a ser empregado, os parâmetros medidos podem ser representados na forma de diagramas ou na forma espectral.

#### Domínio da Frequência

As técnicas no domínio da frequência são feitas em várias frequências e envolvem a medição da resistividade aparente ( $\rho$ ) e da fase ( $\alpha$ ) com as frequências, que normalmente variam logaritmicamente (base 2).

$$\rho = \rho_0 e^{i\alpha} \quad (2.3)$$

Normalmente duas medições são comumente feitas: Efeito percentual de frequência (PFE) e o fator metálico (MF). O PFE pode ser calculado através da equação 2.4.

$$PFE = 100 \frac{(\rho_{f_1} - \rho_{f_n})}{\rho_{f_n}} \quad (2.4)$$

onde  $\rho_{f_1}$  e  $\rho_{f_n}$  são as resistividades aparentes nas frequências de medida que variam de  $f_1$  a  $f_n$ . O MF pode ser calculado através da equação 2.5.

$$MF = 2\pi \times 10^5 \frac{(\rho_{f_1} - \rho_{f_n})}{\rho_{f_1} \rho_{f_n}} \quad (2.5)$$

Esse fator normaliza o PFE com respeito à resistividade das frequências mais baixas e, conseqüentemente, remove, até certo ponto a variação do efeito IP com a resistividade da rocha circundante (Kearey et al., 2013).

## Domínio do Tempo

O princípio básico consiste na aplicação de pulsos de corrente elétrica no meio através de dois eletrodos, após o desligamento da fonte de corrente, é medida o decaimento da voltagem. A fonte deve ser mantida ativa por determinado tempo (4 a 100s), que deve ser suficiente para que o estado estacionário seja mantido. O decaimento da voltagem pode durar por um certo tempo (variando de minutos a horas).

Uma maneira básica de medir o efeito de polarização induzida no domínio do tempo (Figura 2.3) é determinar a razão entre a voltagem primária  $V_P$ , antes do desligamento da fonte de corrente, e a voltagem observada  $V_{ON}$  em um certo instante após o desligamento da fonte de corrente elétrica. Esse parâmetro é denominado de Polarizabilidade Aparente ( $P_a$ ), e pode ser representado por:

$$P_a(\%) = \frac{V_P}{V_{ON}} 100 \quad (2.6)$$

as voltagens em milivolts (mV).

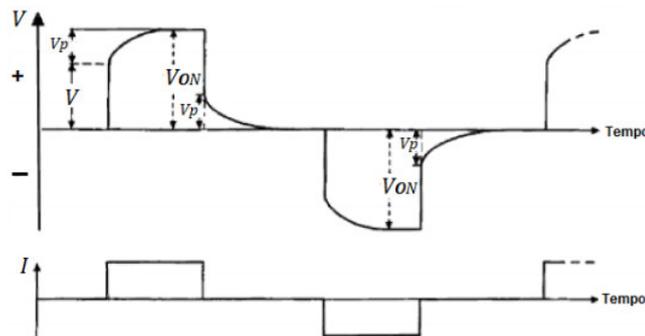


Figura 2.3: Aplicação de um pulso de corrente com polaridade alternada e medição da voltagem mostrando o efeito de polarização induzida no domínio do tempo. Adaptado de (Reynolds, 2011)

No método IP, a cargabilidade é a propriedade física de medição e tem por objetivo medir a absorção de cargas elétricas pelo meio e, faz uso da corrente medida no domínio do tempo. Pode ser avaliada através da área sob a curva de decaimento da voltagem em um intervalo de tempo,  $\Delta t = t_2 - t_1$  e normalizar o resultado por  $V_{ON}$ . Esse parâmetro

representa a cargabilidade  $M$  e é dada em  $mVs/V$ , e pode ser calculada através da seguinte expressão.

$$M = \frac{1}{V_{ON}} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt. \quad (2.7)$$

O valor da cargabilidade  $M$  pode ser obtido conforme a figura 2.4.

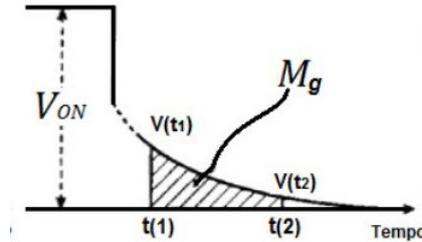


Figura 2.4: Medida da cargabilidade no domínio do tempo. Adaptado de Reynolds (2011)

### Parâmetros Cole-Cole

O método da Polarização Induzida Espectral (SIP) engloba diversas técnicas vistas como adicionais às da resistividade e cargabilidade dos habituais levantamentos de IP. O SIP normalmente faz uso dos modelos de impedância Cole-Cole para investigar os efeitos da polarização induzida no domínio do tempo ou da frequência.

O efeito IP tem sido estudado cada vez mais através do modelo de impedância Cole-Cole e, é bem aceito no meio científico. Após ter sido bastante testado, o modelo de impedância Cole-Cole tem apresentado resultados satisfatórios. Segundo Pelton et al. (1978), a impedância complexa  $Z(w)$  em  $\Omega.m$  para uma fonte de polarização induzida, pode ser determinada através da seguinte expressão.

$$Z(w) = \rho_0 \left[ 1 - M \left( 1 - \frac{1}{1 + (iw\tau)^c} \right) \right] \quad (2.8)$$

Onde  $\rho_0$  é a resistividade aparente em  $\Omega.m$ ,  $M$  é a cargabilidade em  $Volts/Volt$ ,  $\tau$  é a constante de tempo ou relaxação em  $s$ , em alvos convencionais o  $\tau$  está relacionado com o tamanho os grãos dos minerais polarizáveis,  $\omega$  é a frequência angular em  $s^{-1}$  e  $c$  o expoente adimensional que descreve a forma das curvas de decaimento no domínio do tempo ou no domínio da frequência, geralmente varia de 0,1 a 0,5. Os valores de  $c$  e  $\tau$  normalmente são escolhidos após a comparação de várias curvas de decaimento, a qual a partir do melhor ajuste, é determinada a melhor curva de decaimento e os valores são definidos de forma que viabilizam os cálculos da cargabilidade.

### 2.2.3 Operações de Campo

Os equipamentos de campo, normalmente, são: transmissor, gerador, receptor, eletrodos e cabos. As operações de campo são bem parecidas ao método da eletrorresistividade, o equipamento IP no domínio do tempo é semelhante ao aparato do equipamento de resistividade, porém a corrente usada é cerca de 10 vezes aquela usada em um arranjo de resistividade e os aparelhos são maiores e mais elaborados. Na prática as configurações mais usadas são: dipolo-dipolo, polo-dipolo e Schlumberger.

#### Dipolo-Dipolo (DD)

Na prática o levantamento com arranjo dipolo-dipolo pode ser utilizado através da técnica do caminhamento elétrico (CE), o princípio básico consiste em quatro eletrodos, dois eletrodos transmissores de corrente (A e B) e dois receptores (M e N) que registra a diferença de potencial, a separação entre os eletrodos de corrente é a mesma entre os eletrodos de potencial, o ponto de interseção entre o centro de AB e centro de MN é um múltiplo deste espaçamento ( $n=1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$ ). Os levantamentos de IP com o arranjo dipolo-dipolo, usados neste trabalho juntamente com o arranjo pólo-dipolo, foram feitos com o caminhamento elétrico. A técnica usualmente é feita ao longo de perfis (picadas), no início da linha é posicionado A e B, as leituras são feitas através de pares sucessivos de eletrodos M e N, com espaçamentos iguais, tal procedimento é ilustrado na figura 2.5.

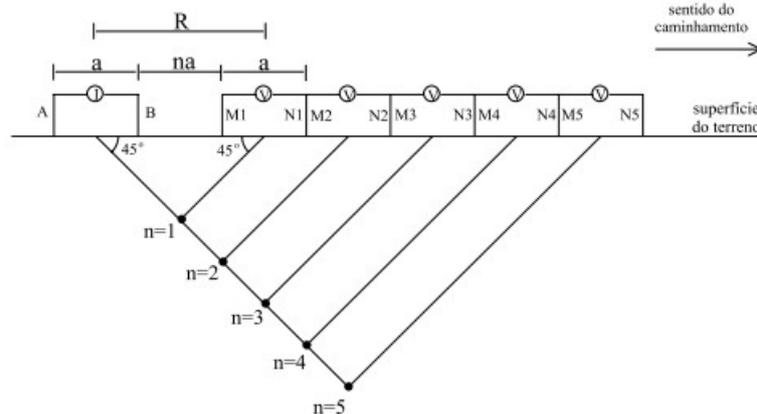


Figura 2.5: Esquema de arranjo dipolo-dipolo utilizando a técnica do caminhamento elétrico (Gandolfo e Gallas, 2007)

A resistividade aparente para arranjo dipolo-dipolo pode ser calculada através da expressão 2.1, no entanto, o que muda é a configuração dos eletrodos para o cálculo do fator geométrico ( $K$ ), que pode ser calculado através da expressão geral 2.2 para uma configuração de quatro eletrodos.

## Pólo-Dipolo (PD)

O arranjo de eletrodo pólo-dipolo segue quase o mesmo princípio do arranjo dipolo-dipolo, a diferença é que o eletrodo de corrente B que fecha o circuito é mantido fixo e a uma distância muito grande, denominada de infinito, que corresponde de dez a vinte vezes a maior distância entre os eletrodos da extremidade do arranjo que permanecem na linha do levantamento (Telford et al., 1990). O arranjo pólo-dipolo consiste basicamente de três eletrodos móveis ao longo de um perfil de caminhamento, um de corrente denominado de A e dois de potencial denominado de M e N, o espaçamento entre M e N é mantido constante. O procedimento com o arranjo pólo-dipolo é ilustrado na figura 2.6.

Semelhante ao arranjo dipolo-dipolo, as medidas são feitas ao longo de uma linha, mantendo-se fixo o eletrodo de corrente A, e deslocando apenas os eletrodos de potencial M e N. A medida que a distância entre A e MN aumenta, a profundidade de investigação aumenta, a após uma sequência de leituras os três eletrodos são deslocados a uma certa distância.

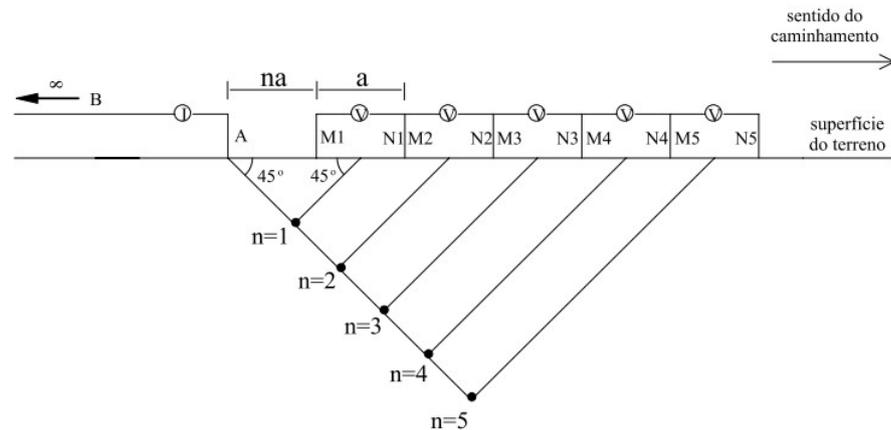


Figura 2.6: Esquema de arranjo pólo-dipolo utilizando a técnica do caminhamento elétrico (Gandolfo e Gallas, 2007)

Neste trabalho, os arranjos usados foram o dipolo-dipolo e o pólo-dipolo, utilizando a técnica do caminhamento elétrico, com o método da polarização induzida (IP).

### 2.2.4 Principais Fontes de Ruídos no Método IP

As fontes de ruídos num levantamento IP podem resultar de vários fenômenos, e estão ligados a fontes naturais, artificiais, correntes telúricas e ao acoplamento de circuitos elétricos (Sumner, 1976). Este último está relacionado à interações entre transmissores e receptores, e os principais são: Acoplamento Resistivo, Acoplamento Capacitivo e Acoplamento Indutivo

ou Eletromagnético.

Os ruídos artificiais são oriundos de aparelhos elétricos de corrente contínua que, normalmente operam próximos da área do levantamento ou em áreas povoadas. Esses equipamentos causam interferência na medida da voltagem registrada pelo receptor. Geralmente é necessário que em áreas ruidosas, o levantamento de dados IP, seja realizado no período noturno ou nos finais de semana ou feriados, pois os ruídos são menores.

Já os ruídos naturais podem ser oriundos de ventos próximos superfície, podendo causar interferência de ruído devido as oscilações no cabo receptor. Esses efeitos de ruídos podem ser minimizados, fixando os cabos no solo. Outro ruído natural são os fenômenos elétricos atmosféricos, proveniente de descargas atmosféricas, consiste na emissão de pulsos eletromagnéticos de alta frequência quando comparados às frequências realizadas no estudos de IP.

As correntes telúricas, são energia de baixa frequência que incide na superfície da terra como pequenas pulsações que causam pequenas variações do campo magnético, esse fenômeno é oriundo do movimento dos íons do vento solar na magnetosfera que geram pulsos eletromagnéticos. Essa energia tende a mascarar as medidas de IP. Vários são os métodos para minimizar o efeito da corrente telúrica, um deles está na escolha do arranjo podendo optar pelo dipolo-dipolo ou Schlumberger, a qual tem como vantagem o aumento do sinal para uma mesma corrente injetada (Millett, 1967). Outro método para minimizar o efeito desse ruído é a filtragem no domínio da frequência, onde são usados filtros analógicos do tipo passa-alta para diminuir o conteúdo de frequência associado ao ruído.

Acoplamento de circuitos elétricos, se refere ao acoplamento resistivo, que consiste na medida da resistividade do meio. A corrente injetada no meio e a voltagem medida nos receptores, estão inteiramente ligados através das litologias do meio e a interpretação do acoplamento resistivo registrado determina a resistividade aparente da subsuperfície. Já o acoplamento capacitivo, a depender do arranjo usado e de como os cabos de transmissão e recepção são distribuídos, o sistema se comporta como um capacitor, no entanto, as correntes de deslocamento podem interferir nas medidas de IP. Portanto, para diminuir o efeito do acoplamento capacitivo, é recomendado que se use frequências baixas. Por fim o acoplamento Indutivo ou Eletromagnético, onde o transmissor e o receptor funcionam como um enrolamento primário e secundário, de um circuito. O acoplamento se dá através de ondas eletromagnéticas, a qual uma corrente primaria é induzida no campo secundário, gerando uma variação de potencial em um dos domínios. Para minimizar o efeito do acoplamento eletromagnético é necessário que o espaçamento entre os eletrodos ou as frequência sejam menores (Sumner, 1976).

### 2.2.5 IP na Mineração

A condução da corrente elétrica em uma estrutura geológica pode ocorrer basicamente de duas formas, a primeira por condução eletrônica, por meio de transporte de elétrons na matriz da rocha através de minerais metálicos, agregação dos minerais, impurezas, entre outros, e a segunda por condução eletrolítica em um meio aquoso através dos íons dissolvidos nos fluidos contidos nos poros, fraturas ou fissuras, falhas (Ward, 1990).

O IP pode ser aplicado extensivamente em diversos estudos, sendo o principal uso voltado para exploração mineral, devido a alta taxa de sucesso em localizar depósitos minerais de baixo teor, como, sulfetos disseminados que tem um forte efeito IP. Na indústria as medidas de Polarização Induzida são sempre acompanhadas de medidas de Resistividade, para identificar os corpos polarizáveis e os corpos condutivos.

## 2.3 Potencial Espontâneo (SP)

O método SP baseia-se na medição das diferenças de potencial naturais que geralmente existem entre quaisquer dois pontos no solo. As diferenças de potencial em dois pontos quaisquer pode ocorrer devido vários mecanismos eletroquímicos (Potencial de mineralização, potencial de eletrodo, potencial de difusão e potencial de fluxo ou eletrofiltração) e estão associadas a correntes elétricas naturais que existem o subsolo (Parasnis, 1973).

As medidas de SP normalmente variam de uma fração de um milivolt até algumas dezenas de milivolts, por vezes pode atingir algumas centenas de milivolts. Os valores elevados de SP, podem ser observados sobre corpos de minério de sulfeto, grafite, magnetita dentre outros minerais condicionados eletronicamente. Além da mineração, valores altos de SP também estão associados ao fluxo de água no subsolo, portanto, sua aplicação na hidrogeologia é de grande importância (Parasnis, 1973).

As medidas de SP são bastante simples. Qualquer milivoltímetro com uma impedância de entrada suficientemente alta pode ser conectado aos eletrodos acionados a uma certa distância no solo e lido. Os eletrodos devem ser não polarizáveis (por exemplo, Cu em solução de  $\text{CuSO}_4$ ). Os procedimentos para levantamentos de SP, podem ser feitos de duas maneiras: a primeira, manter os eletrodos à uma certa distância fixa e, deslocar o par ao longo da linha, a segunda, um eletrodo referência é mantido fixo, enquanto o outro é deslocado para diferentes pontos ao longo da linha.

## CAPÍTULO 3

# Metodologia

O presente trabalho diz respeito ao levantamento geofísico terrestre do Alvo Tapiranga. Este alvo foi selecionado através do aerolevanteamento geofísico com os métodos eletromagnético, magnético e gamaespectrométrico, visando caracterizar e selecionar ambientes potencialmente portadores de mineralizações. Segundo a Garrido (1999), o aerolevanteamento cobriu a região de Mundo Novo numa área de 1.503,94 km<sup>2</sup>, perfz um total de 8.323,10 quilômetros lineares e foi executado pela contratada Lasa Engenharia e Prospecção S. A.(LASA).

Com os resultados do aerolevanteamento a CBPM selecionou 65 alvos para checagem com a geofísica terrestre. O Alvo Tapiranga foi o escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, visando testar as técnicas de interpretação e treinamento em software de processamento de IP e Resistividade.

No processamento dos dados foi utilizado o software Oasis Montaj, desenvolvido pela Geosoft. O Oasis Montaj é um programa que permite o processamento de um grande volume de dados espaciais. Permite ainda efetuar tarefas de processamentos complexos como: inversão de dados, interpolação de dados, edição de mapas, edição e integração de dados de diversas naturezas, por exemplo, dados magnéticos, gravimétricos, elétricos etc.

No processamento dos dados de IP/R foi utilizado o software RES2DINV da Geotomo a fim realizar as inversões. Para edições dos mapas geológico regional e local e dos mapas geofísicos foi utilizado o software ArcGis 10.1 da Esri.

### 3.1 Aquisição de Polarização Induzida e Resistividade (IP/R)

A aquisição de dados (IP/R) foi executada por técnicos da LASA, em linhas definidas, abertas e piqueteadas pela CBPM nas áreas selecionadas pelo seu corpo técnico, sendo utilizados os arranjos Dipolo-Dipolo e Polo-Dipolo com espaçamento entre eletrodos de potencial (MN) de 50 metros e 10 níveis de investigação.

O levantamento geofísico de IP/R no Alvo Tapiranga foi realizado através em cinco perfis P1(8.740.550N), P2(8.740.350N), P3(8.739.000N), P4(8.738.620N) e P5(8.738.330N),

a localização dos perfis é mostrada na figura 4.2. Visando o melhoramento na definição dos resultados das cinco perfilagens realizadas com o arranjo dipolo-dipolo, também foram perfiladas as linhas P1 e P4 com arranjo polo-dipolo. Estes trabalhos totalizam 8,60 km de perfilagens (linha) nesta área de pesquisa (Garrido, 2000). Os perfis de IP e Resistividade para os dois arranjos aparecem nas figuras 4.8 a 4.14.

Durante todo o levantamento de IP/R foi utilizado o sistema IP Espectral no domínio do tempo da IRIS Instruments, constituído por um Receptor ELREC-PRO e ou SYSCAL-PRO, um Transmissor VIP4000 de 4 KVA e um gerador de alimentação de 6.5 KVA. Além dos eletrodos de potencial do tipo não polarizável (cerâmica) e eletrodos de corrente de aço inoxidável foram utilizados também para aquisição dos dados baterias, carregadores, rádios, telefone de satélite, cabos, ferramentas e outros materiais necessários ao levantamento. Visando minimizar a resistência de contato entre os eletrodos de corrente (AB) e o solo, durante o levantamento, os eletrodos de aço inoxidável foram aterrados com solução salina (Garrido, 2000).

Para cada leitura de cargabilidade (M) foi determinada também a Resistividade Aparente, Fator Metálico (MF), Cargabilidade Cole-Cole (Mcc), parâmetro Tau e leituras do Potencial Espotâneo (SP).

Os dados de IP/R para o desenvolvimento deste trabalho foram fornecidos sem fins lucrativos e comerciais pela empresa Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) no formato XYZ e GDB. Os arquivos XYZ e GDB foram convertidos para o formato AscII para serem lidos e processados pelos software utilizados na interpretação (RES2DINV, GEOSOFT e ARCGIS).

## CAPÍTULO 4

# Processamento e Interpretação dos Dados

### 4.1 Processamento

Os dados foram cedidos pela CBPM em arquivos no formato GEOSOFT (GDB) E subdivididos em cinco linhas perfiladas (P1, P2, P3, P4 e P5) com o arranjo dipolo-dipolo; duas linhas perfiladas (P1 e P4) com o arranjo polo-dipolo. Os dados de plantas e dados topográficos, estão subdivididos em dois arquivos com o mesmo formato (GDB) e já foram filtrados através do filtro de Fraser. O Filtro de Fraser tem maior aplicação em dados de VLF, embora, possa ser utilizado em outros tipos de dados. O processo de filtragem, consiste no somatório simples do valores de leituras obtidos em duas estações consecutivas, e deixa os dados apropriados para confecções de mapas de contorno. Segundo Fraser (1969), o filtro foi desenvolvido para satisfazer os seguintes critérios:

- 1- Deslocar de 90 graus os dados de inclinação, para converter o *crossover* em pico positivo;
- 2- Atenuar o grande comprimento de onda, para aumentar a resolução da anomalia local;
- 3- Não aumentar os ruídos randômicos nos dados; e
- 4- Ser de fácil aplicação.

Para elaboração dos mapas geofísicos dos diversos parâmetros dos temas IP Average (IP-Avg), Resistividade calculada (ResCal), Potencial Espontâneo (SP), Cargabilidade Verdadeira (Mcc), Fator Metálico (MF) e Tal, foi utilizado o software Oasis Montaj: Interactiv™ da Geosoft (licença da UFBA). Nenhum ajuste nos dados se fez necessário, pois os mesmos já estão no formato de leitura do software. Os dados foram interpolados utilizando o Método da Mínima Curvatura com Interpolação Linear.

Os mapas de plantas normalmente são feitos para obter uma visão geral das condições superficiais da área de estudo. A interpretação é qualitativa e a profundidade alcançada é proporcional ao espaçamento de eletrodo. Neste trabalho foram construídos seis mapas geofísicos referentes aos parâmetros mencionados anteriormente. Os arquivos do Geosoft foram exportados para o formato TIFF e interpretados no software ArcGis.

A partir disso foi feita uma interpretação dos mapas geofísicos integrada com o mapa geológico da área de pesquisa. Dos resultados obtidos foi possível destacar e identificar as zonas de interesse referentes as propriedades dos parâmetros registrados, que podem estar

relacionadas a possíveis mineralizações.

Os dados brutos de Resistividade e IP Average (médio), foram plotados em forma de pseudo-seções utilizando o software Oasis Montaj: Interactiv™ da Geosoft, usando o pacote ip.omn. A partir disso foi feita uma interpretação das variações dos parâmetros.

Para a inversão dos dados de IP/R foi usado o software RES2DINV da Geotomo (licença da UFBA), e apresentado sob a forma de seção espaçamento x profundidades (elevações), sob a forma do modelo de inversão em termos de resistividade e cargabilidade. O software é projetado para o processamento de grandes conjuntos de dados em duas dimensões, adquiridos através das técnicas geoeletricas. O processo de inversão baseia-se numa série de blocos retangulares (Figura 4.1), a disposição dos blocos é ligada à distribuição dos pontos dos dados da pseudo-seção, ou seja, uma seção gerada pelos dados coletados em profundidades. O programa ainda permite remover pontos repetidos de forma automática ou através de um display.

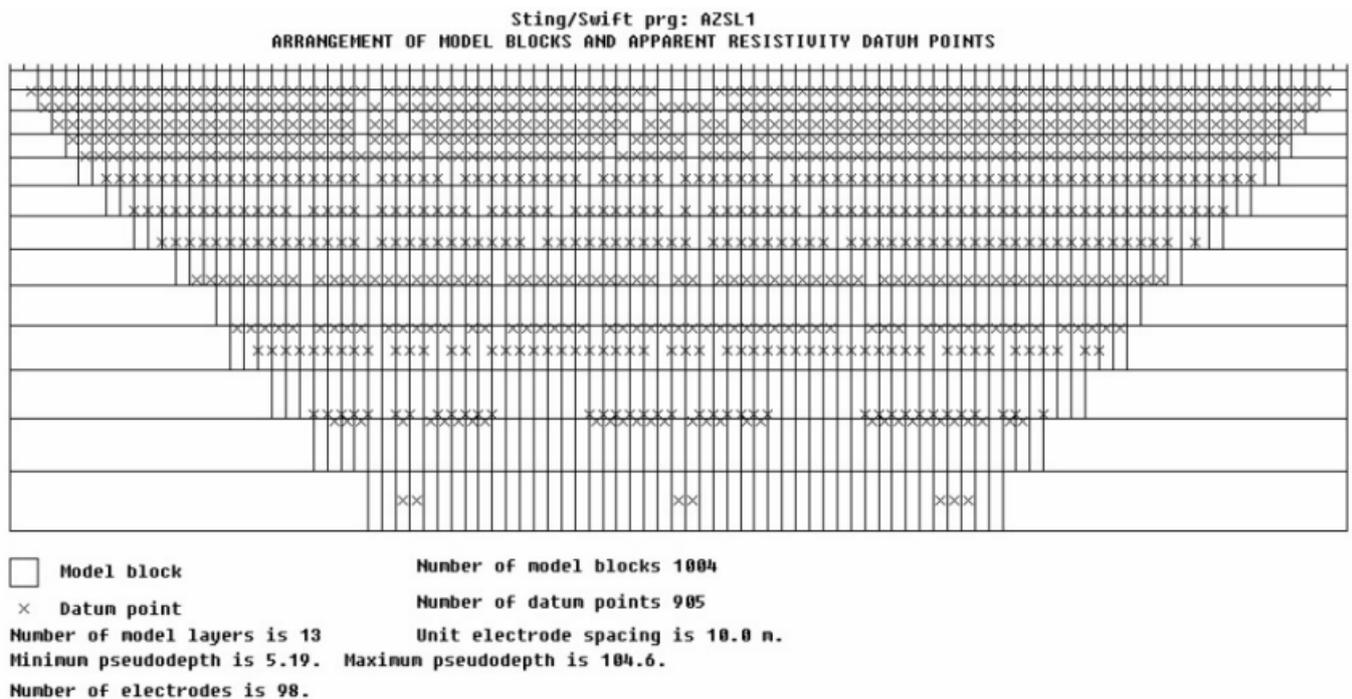


Figura 4.1: Exemplo de modelo de bloco que gera uma seção (Loke, 1997).

Para a realização do procedimento de inversão utilizando o software RES2DINV foi necessário a conversão dos dados para o formato .dat. Os dados utilizados neste trabalho, como explicado anteriormente, estavam dispostos no formato de arquivos GDB e foram transformado no formato AscII utilizando uma rotina do Geosoft. Para a utilização do software de inversão, os dados GDB foram reorganizados manualmente pelo autor para o formato de leitura do RES2DINV (.dat) usando uma planilha eletrônica do excel. Em seguida foram removidos os pontos repetidos e salvos no formato de texto (.txt) e, por último

alterando a extensão para o formato .dat, que pode ser lido pelo programa RES2DINV.

## 4.2 Interpretação

Os resultados do levantamento de IP/R conjugados, são apresentados neste tópico sob forma de mapas de contorno e de pseudo-seções e seções invertidas da cargabilidade e de resistividade aparente. Para integrar os dados das Linhas P1 a P5 os parâmetros foram interpolados com o algoritmo usando a mínima curvatura com distância de alcance superior a 500 m, de forma a tornar a imagem contínua, entre as linhas mais afastadas.

Apresenta-se a seguir a interpretação das linhas P1, P2, P3, P4 e P5 com arranjo dipolo-dipolo. As linhas P1 e P4 também foram perfiladas com o arranjo polo-dipolo. O objetivo da interpretação foi identificar zonas favoráveis a possíveis ocorrências de sulfetos de metais básicos (Zn, Cu e Pb). O método utilizado (IP) é amplamente empregado em pesquisas de sulfetos, caracterizado pelo conjunto da elevada cargabilidade e baixa resistividade. Sendo assim, as zonas que apresentarem as respostas geofísicas relevantes com as propriedades investigadas, serão interpretadas como zonas favoráveis a possíveis ocorrências de sulfetos.

### 4.2.1 Mapas Geofísicos do Alvo Tapiranga

Foram identificadas quatro zonas geofísicas (Z1, Z2, Z3 e Z4) no alvo Tapiranga. Essas zonas foram traçadas e interpretadas através do software ArcGis e, são mostradas nos mapas de Cargabilidade Cole-Cole (Mcc), Resistividade (Res-Cal), Fator Metálico (MF), IP Average (IP-Avg), Potencial Espontâneo (SP) e Tau ou Constante de Relaxação (Figura 4.2 a 4.7). Em todos os mapas construídos foram traçadas as zonas de cargabilidade (zonas hachuradas) para comparação. Discutiremos a seguir cada um dos parâmetros investigados.

#### Mapa de Cargabilidade Cole-Cole (Mcc)

No mapa de cargabilidade Cole-Cole (Mcc), (Figura 4.2), foi possível identificar duas zonas (Z1 e Z2), com cargabilidade alta, que podem ser interpretadas como possíveis zonas de interesse para ocorrência de mineralizações, ou nível estratigráfico grafitoso. A zona Z1, estende-se da linha P1 até a linha P4, com extensão em torno de 2.200 metros de comprimento com tendência NW-SE dentro da unidade geológica do domínio sedimentar. A zona Z1 encontra-se delimitada na linha P1 entre os pontos 112-108; na linha P2 entre os pontos 92-88; na linha P3 entre os pontos 58-55 e na linha P4 entre os pontos 27-25. A espessura média calculada do corpo está em torno de 173 metros. Sendo o condutor com cargabilidade mais elevada nas linhas P1 e P2.

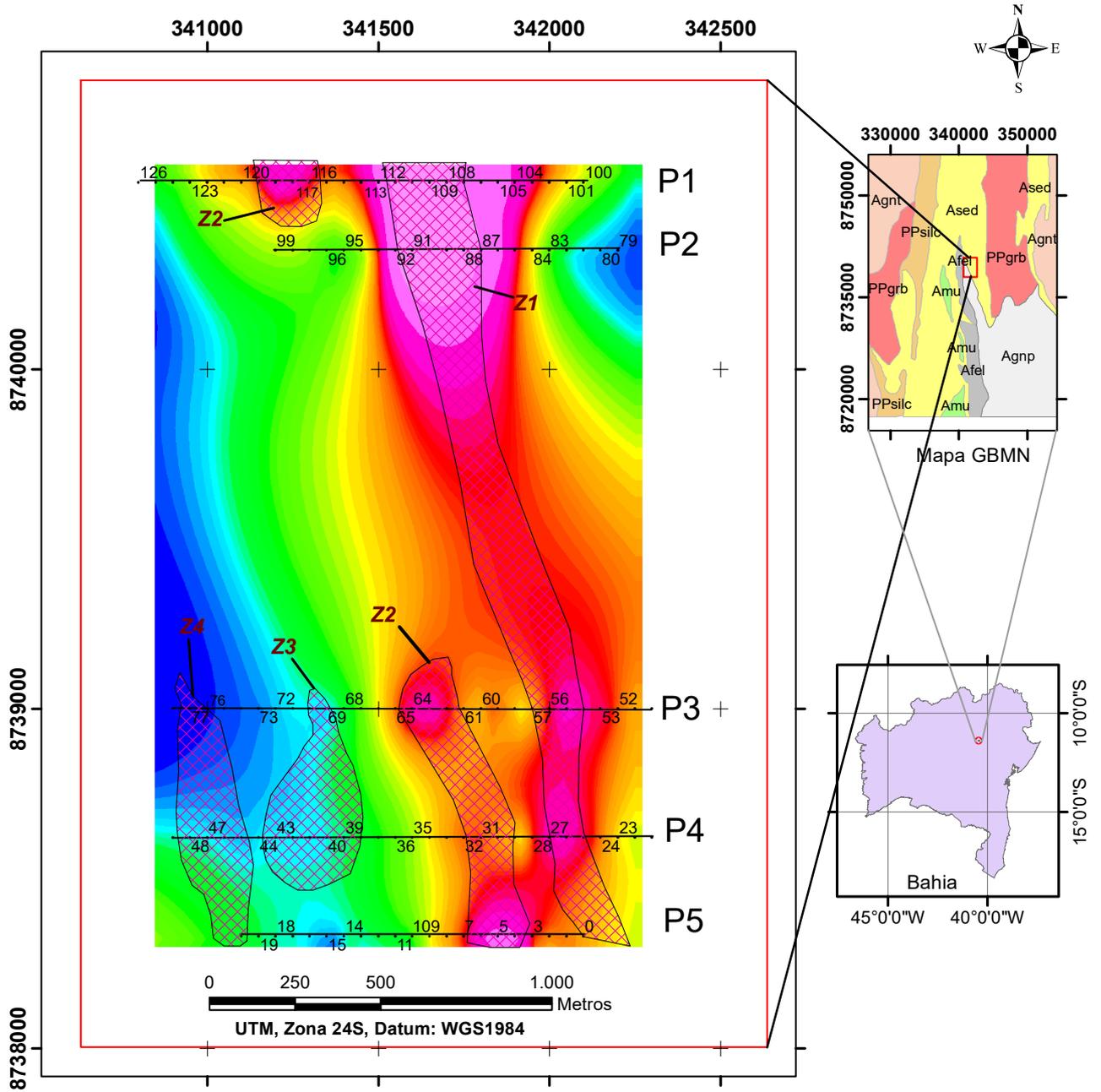
A zona Z2 aparece na linha P1 entre os pontos 120-117; na linha P3 entre os pontos 65-61 e na linha P5 entre os pontos 7-3 e não apresenta uma continuidade do corpo entre as linhas P2 e P3. Nas linha P1 e P3 a espessura do corpo é de 175 metros e comprimento 200 metros e 150 metros respectivamente, com tendência NW-SE seguindo a direção da unidade geológica do domínio sedimentar.

### **Mapa de Resistividade (Res-Cal)**

No mapa de resistividade (Res-Cal), (Figura 4.3), foram traçadas as zonas de cargabilidade (áreas hachuradas) para comparar com os dados de resistividade. A zona Z1 tem resistividade baixa (10 ohm.m) nas linhas P1 e P2, coincidentes com os valores de cargabilidade elevados, com extensão em torno de 330 metros de comprimento, delimitada na linha P1 entre os pontos 112-108 e na linha P2 entre os pontos; 92-88, com tendência N-SE segue a direção da unidade geológica do domínio sedimentar. A espessura média calculada do corpo está em torno de 200 metros. Entre as linhas P3 e P4 a zona de cargabilidade mais elevada está associada a resistividade mais elevada também está associada a resistividade mais elevadas com valores superiores 20 ohm.m. A zona de cargabilidade Z2 não está associada a baixos de resistividades

A zona Z2 encontra-se delimitada na linha P1 entre os pontos 120-117, com extensão em torno de 186 metros de comprimento com valores de resistividade entre 25 e 30 ohm.m. Na linha P4 entre os pontos 32-29; com extensão em torno de 88 metros de comprimento e na linha P5 entre os pontos 7-3; com extensão em torno de 86 metros de comprimento. A espessura média calculada do corpo está em torno de 167 metros apresenta tendência NW-SE seguindo a direção das unidades de domínio sedimentar.

A zona de carbabilidade Z4 estende-se da linha P3 até a linha P4 com espessura de 125 m e extensão em torno de 776 metros de comprimento, apresentando resistividade alta localizado na porção SW do alvo, associado aos paragnaisses aluminosos (Agnp).



**Legenda**

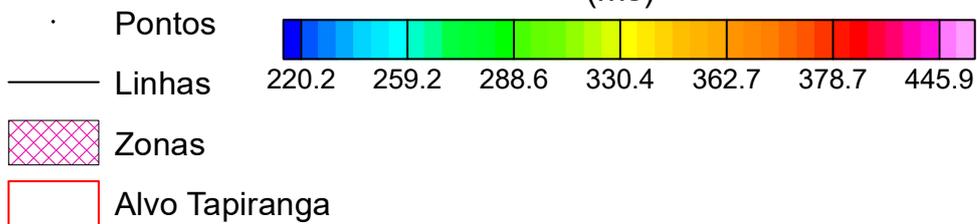


Figura 4.2: Mapa geofísico de Cargabilidade Cole-Cole.

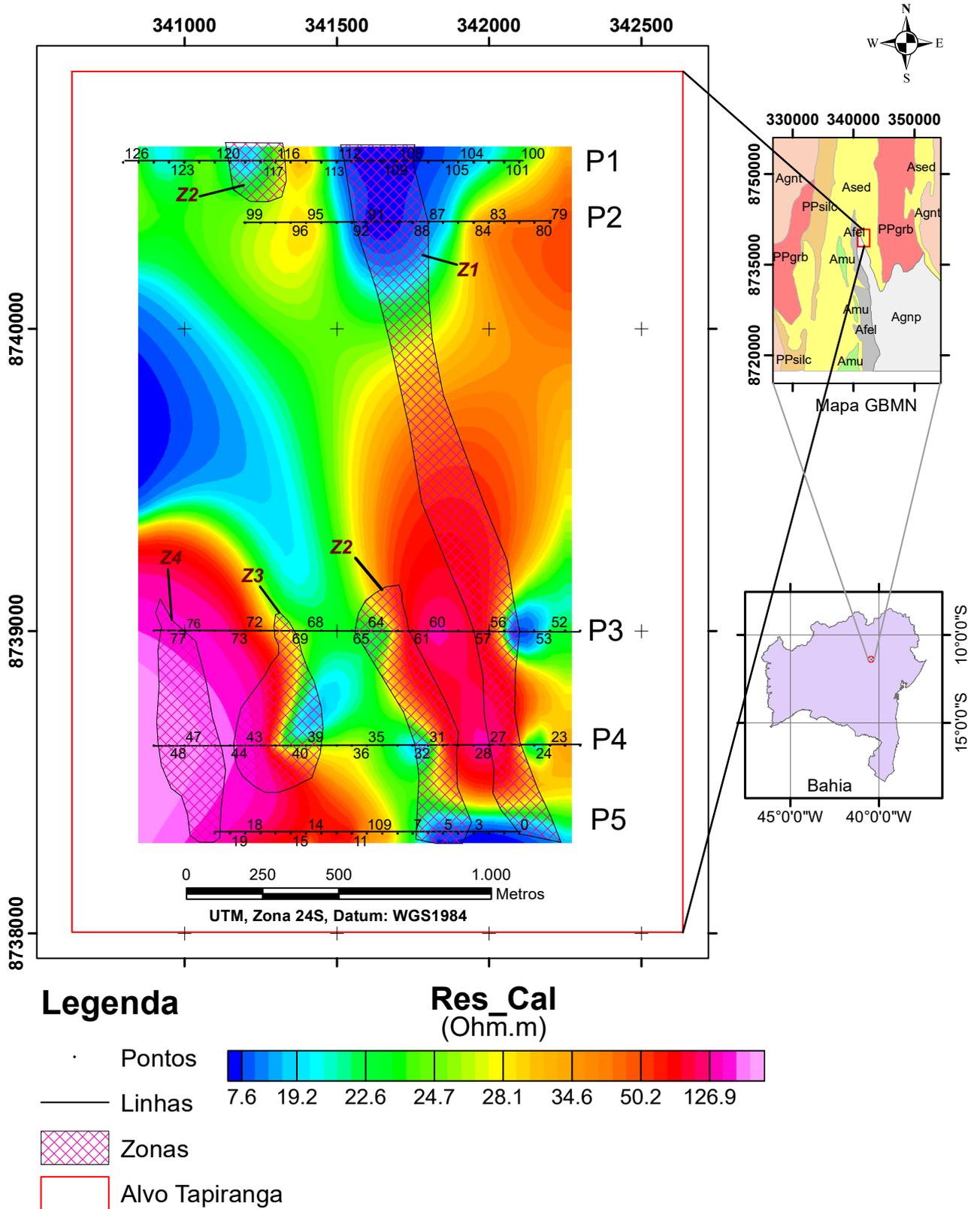


Figura 4.3: Mapa geofísico de Resistividade Calculada.

### **Mapa do Fator Metálico (MF)**

No mapa do fator metálico (MF), (Figura 4.4), foi possível identificar a zona (Z1), com fator metálico alto, que pode ser interpretado como possível zona de interesse para ocorrência de mineralizações, ou como horizontes estratigráfico grafitoso. A zona Z1, estende-se da linha P1 até a linha P5, com extensão em torno de 2365 metros de comprimento com tendência NW-SE seguindo a direção da unidade geológica do domínio sedimentar. Z1 encontra-se delimitada na linha P1 entre os pontos 112-108; na linha P2 entre os pontos 92-88; na linha P3 entre os pontos 58-55; na linha P4 entre os pontos 27-25 e na linha P5 o corpo não aparece, mas mostra uma tendência de continuidade sentido NE. A espessura média calculada do corpo está em torno de 163 metros.

### **Mapa de IP Average (IP-Avg)**

No mapa de IP average (IP-Avg), (Figura 4.5), foi possível identificar duas zonas (Z1 e Z2), com IP-Avg alto, que podem ser interpretadas como possíveis zonas de mineralizações ou horizontes grafitoso. A zona Z1, estende-se da linha P1 até a linha P4, com extensão em torno de 2020 metros de comprimento com tendência NW-SE seguindo a direção da unidade geológica do domínio sedimentar. A zona Z1 encontra-se delimitada na linha P1 entre os pontos 112-108; na linha P2 entre os pontos 92-88; na linha P3 entre os pontos 58-55 e na linha P4 entre os pontos 27-25. A espessura média calculada do corpo está em torno de 163 metros. A zona Z2 é evidenciada somente na linha P1, com extensão em torno de 103 metros de comprimento e situado na região NW da área de pesquisa. A zona Z2 não é bem identificada na parte sul entre as linhas P3 e P5 utilizando este parâmetro. As zonas Z3 e Z4 mostram baixa polarização.

### **Mapa do Potencial Espontâneo (SP)**

No mapa do potencial espontâneo (SP), (Figura 4.6), foi possível identificar zonas (Z1 e Z2), com SP alto, sendo possíveis zonas de mineralizações. A zona Z1, aparece na linha P1 delimitada entre os pontos 112-108 e na linha P2 entre os pontos 92-88, com extensão em torno de 345 metros de comprimento e espessura média em torno de 200 metros. Z2 aparece na linha P1 e na linha P4, delimitada entre os pontos 32-29 e 7-3 respectivamente, e apresenta espessura média em torno de 175 metros.

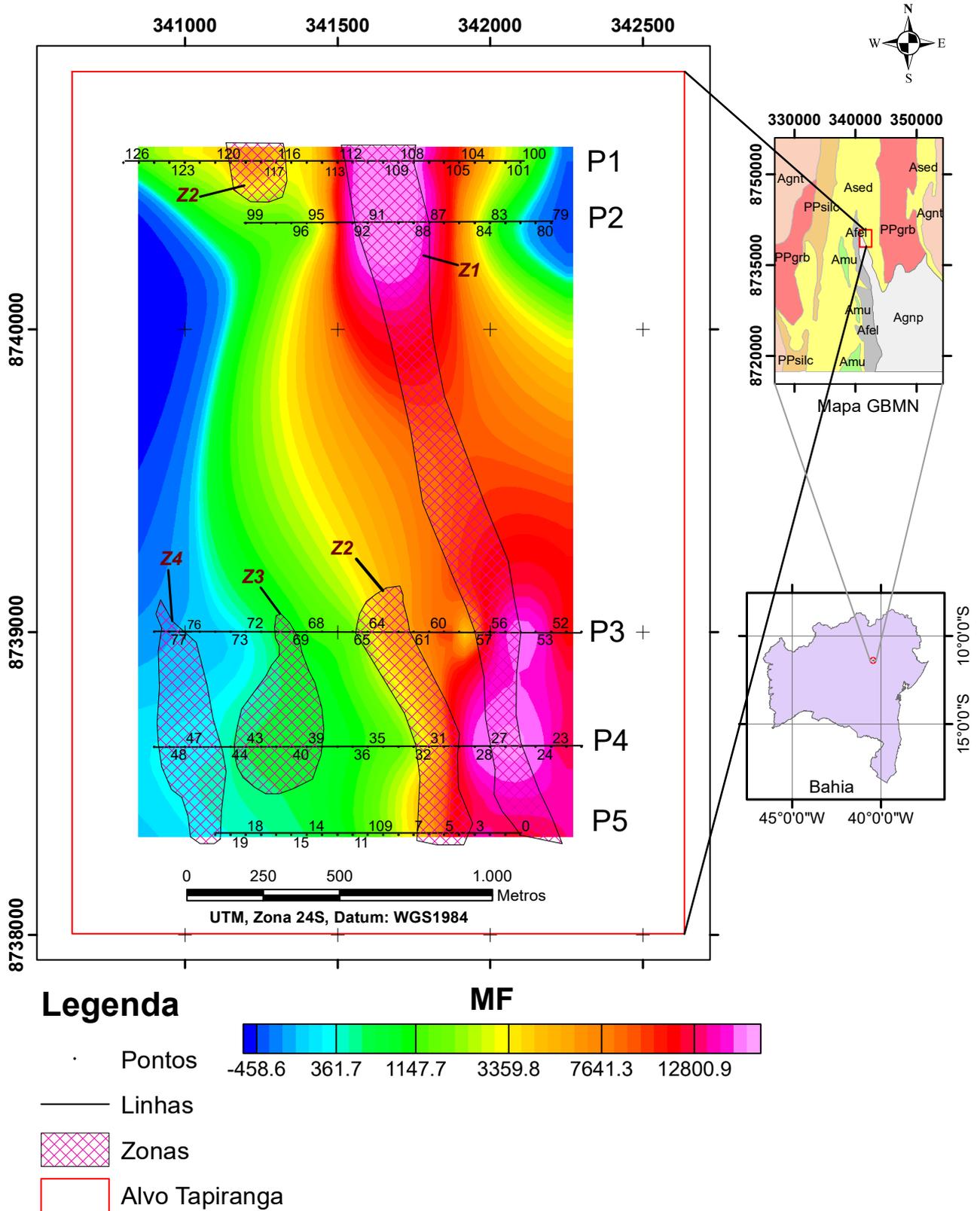
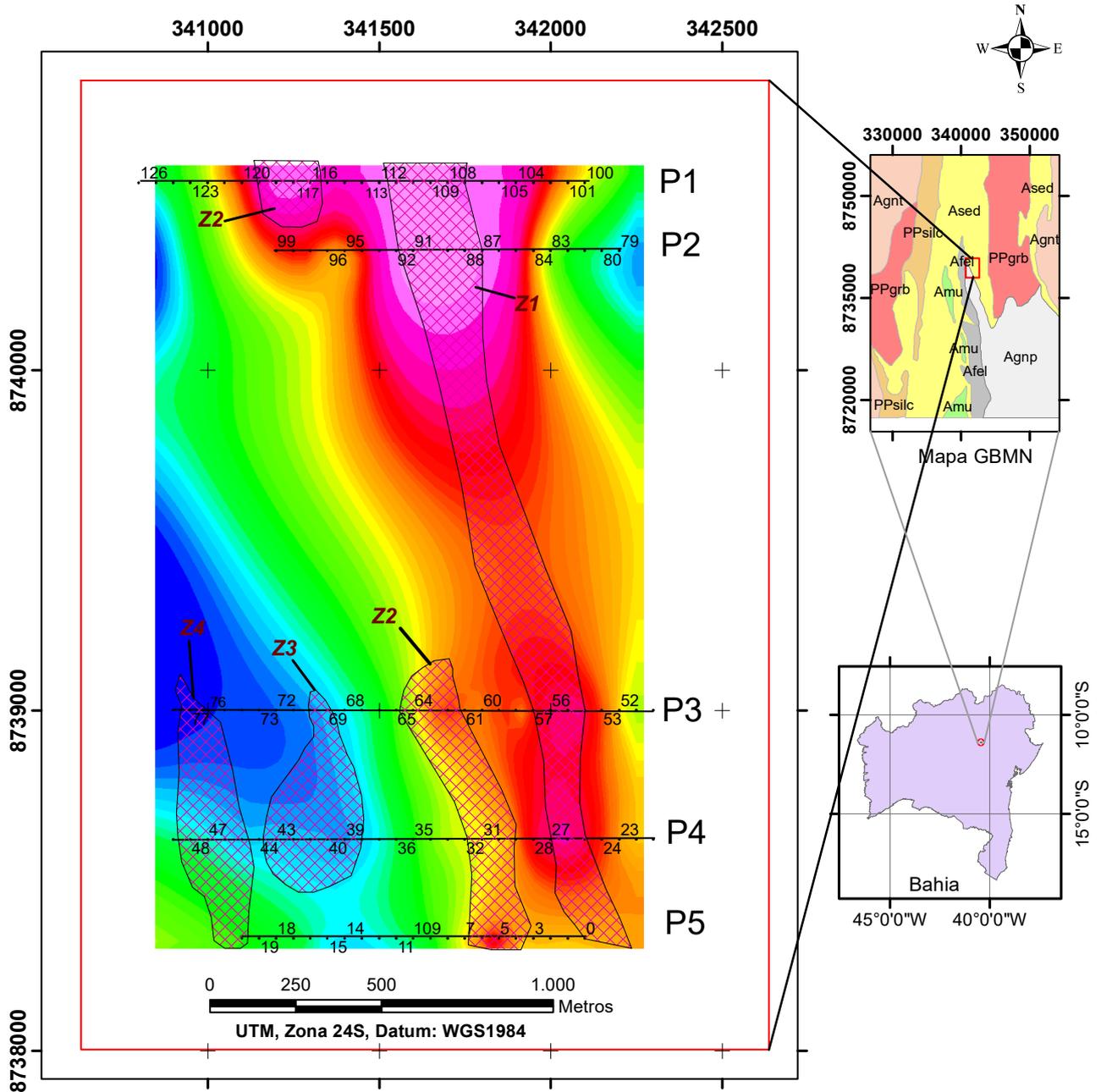


Figura 4.4: Mapa geofísico do Fator Metálico.



**Legenda**

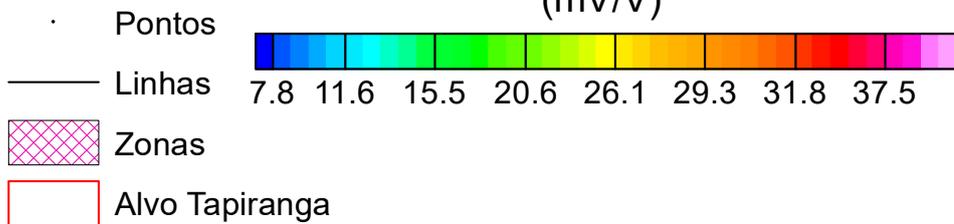


Figura 4.5: Mapa geofísico de IP Average.

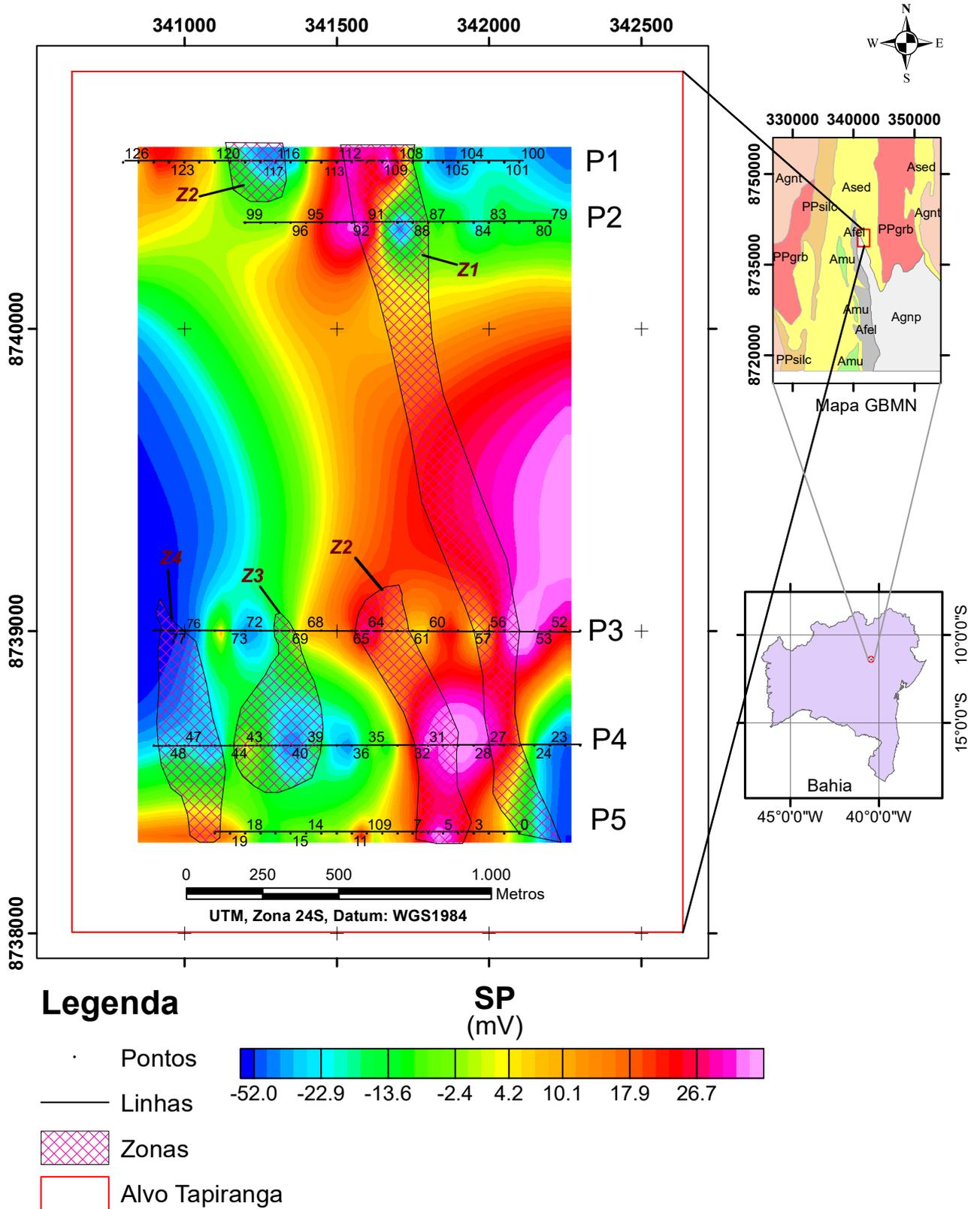


Figura 4.6: Mapa geofísico do Potencial Espontâneo.

## Mapa do Tau ou Constante de Relaxação

No mapa do tau, (Figura 4.7), coincidem com as zonas de alta cargabilidade, indentificando três zonas (Z1, Z2 e Z3) com valores de tau alto, que podem ser interpretadas como possíveis zonas de mineralizações ou horizontes grafitosos. Z1, é observado na linha P1 até a linha P2, com extensão em torno de 293 metros de comprimento e na linha P3 até a linha P4, com extensão em torno de 586 metros de comprimento. Nota-se que Z1 tem direção N-W seguindo a direção da unidade geológica de domínio sedimentar. A zona Z1 encontra-se delimitada na linha P1 entre os pontos 112-108, na linha P2 entre os pontos; 92-88, na linha P3 entre os pontos; 58-55 e na linha P4 entre os pontos; 27-25. A espessura média calculada do corpo Z1 está em torno de 163 metros.

A zona Z2 é evidenciada somente na linha P1 entre os pontos; 120-117, com extensão em torno de 200 metros de comprimento e situado na região NW da área de pesquisa mesma região da unidade geológica de domínio sedimentar. Com espessura em torno de 150 metros. Z3 encontra-se delimitado na linha P3 entre os pontos 70-69 e linha P4 entre os pontos; 44-38, com extensão em torno de 593 metros de comprimento e espessura média calculada em torno de 125. Com direção NW-SW, mesma direção dos paragnaisses aluminosos, e situado na porção SE. Nota-se que Z3 apresenta uma tendência NW-SE seguindo a direção da unidade geológica dos paragnaisses aluminosos.

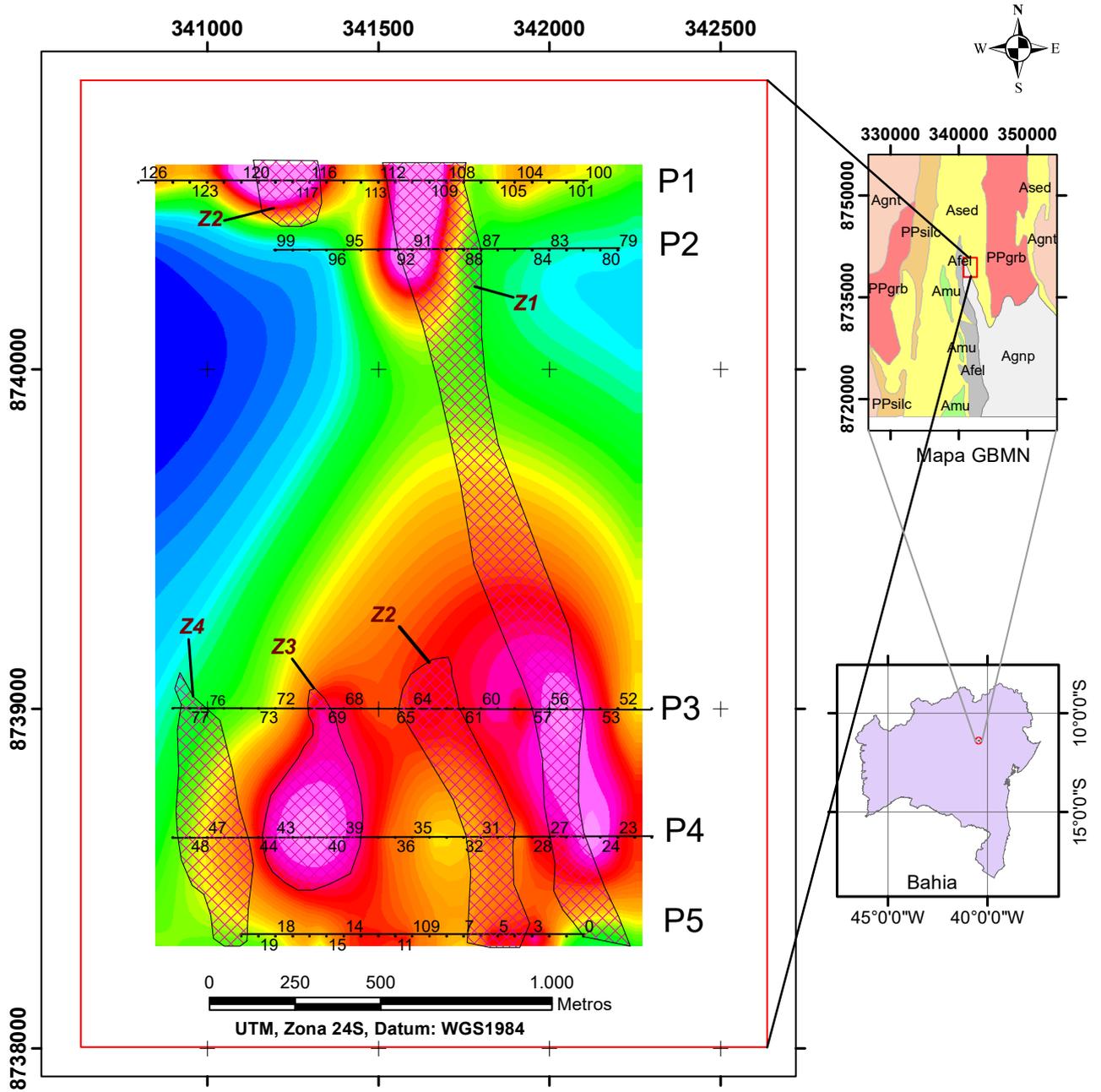
### 4.2.2 Interpretação Integrada

A partir dos diversos parâmetros avaliados observa-se que a zona principal Z1 é a mais destacada no alvo com valores de cargabilidade alta, seguidos de fator metálico, constante de relaxação alto, potencial espontâneo alto, cargabilidade Cole-Cole alto e resistividade muito baixa. A extensão desta zona Z1 é superior a 2.200 metros e largura superior a 150 metros.

Considerando a extensão do corpo, sua largura e associação com unidade sedimentar é muito provável que a zona principal Z1 esteja relacionada a horizonte grafitoso sedimentar. Se não estiver associado a anomalia geoquímica o alvo deve ser descartado.

As zonas Z1, Z2, Z3 e Z4 com possibilidade de ocorrência de mineralizações foram reconhecidas nos mapas geofísicos. Desta forma, foi possível comparar essas anomalias com o mapa geológico da área de pesquisa (Figura 4.22).

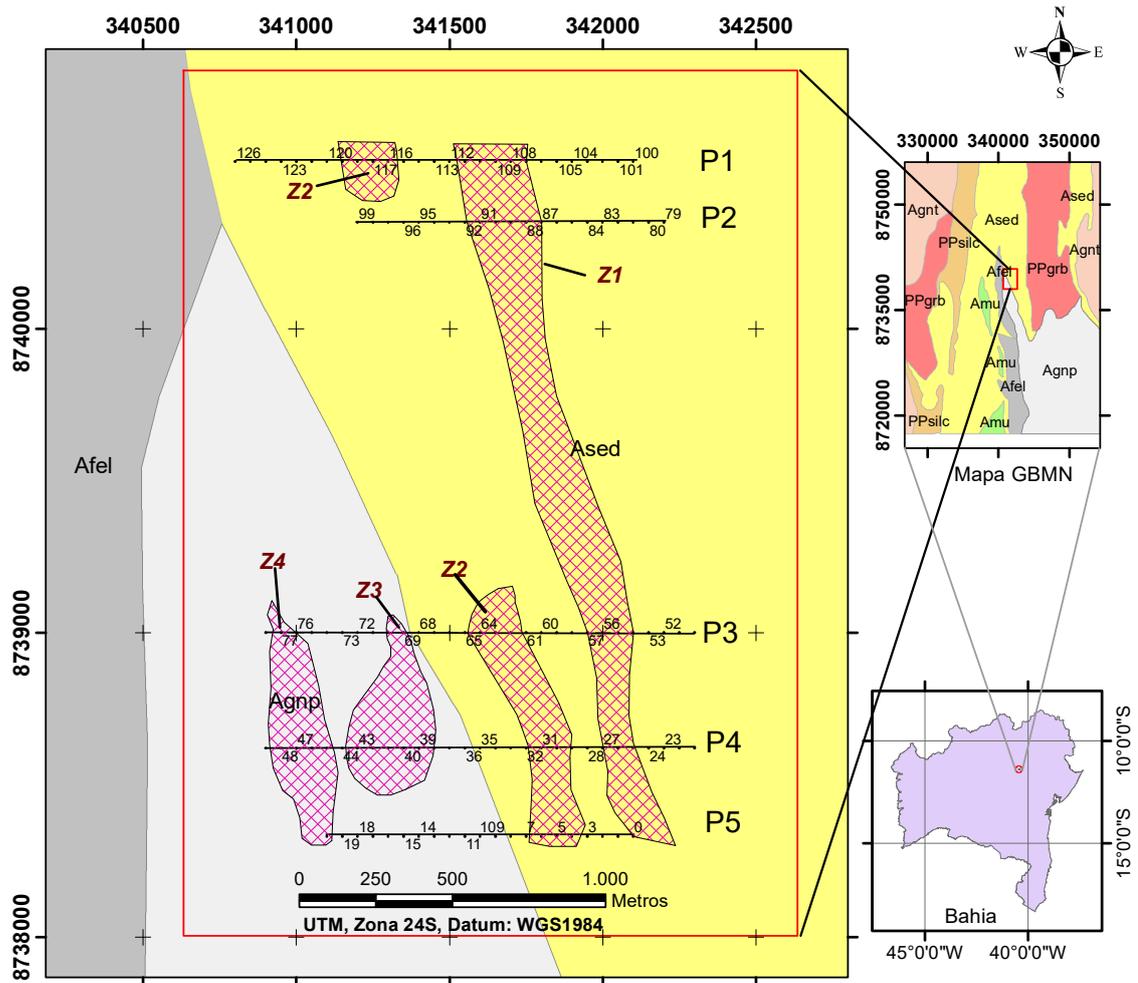
Observa-se que as zonas Z1 e Z2 encontram-se na unidade de domínio geológico sedimentar (Ased). Ambas seguindo a mesma direção da unidade (NW-SE). Nota-se que Z1 delimitadas nas linhas P1 e P2, nitidamente mostra em todos os mapas uma concentração mais precisa, caracterizando uma zona de interesse.



**Legenda**

- Pontos
  - Linhas
  - Zonas
  - Alvo Tapiranga
- Tau (ms)**
- 10973.1   5522.8   9764.4   13534.8   17638.9

Figura 4.7: Mapa geofísico do Tau ou Constante de Relaxação.



**Legenda**

-  Zonas
-  Alvo Tapiranga
-  Pontos
-  Linhas

**Geologia**

**Unidades geológicas**

-  Ased-Domínio Sedimentar
-  Afel-Domínio de vulcânicas félsicas
-  Agnp-Paragneisses aluminosos

Figura 4.8: Mapa geológico do alvo Tapiranga com anomalias geofísicas.

### 4.2.3 Pseudo-Seções

#### Linha P1-DD e P1-PD

As zonas anômalas Z1 e Z2 foram identificados na linha nos perfis de Cargabilidade Cole-Cole (Figura 4.2), Tau (Figura 4.7), IP Average (Figura 4.5), Resistividade Calculada (Figura 4.3), Potencial Espontâneo (Figura 4.6) e no mapa do Fator Metálico (Figura 4.4). Os dois últimos somente identificada a anomalia Z1. Ambos os corpos se encontram centrados nas coordenadas UTM: 341433-341949 e 341129-341332 respectivamente.

A linha P1 (Figura 4.9) perfilada com o arranjo dipolo-dipolo encontra-se na porção norte da área de pesquisa. Na pseudo-seção de resistividade calculada e IP average foi possível delimitar as zonas, Z1 e Z2, correlatas com os mapas geofísicos e centrada nas mesmas coordenadas. Na pseudo-seção de resistividade calculada, verifica-se em Z1 uma zona com resistividade alta acima de 51 ohm.m e com topo no nível 6. Em Z2, uma zona também com resistividade alta acima de 51 ohm.m e centrada entre os níveis 6-9. Enquanto que na pseudo-seção de IP Average, Z1 apresenta duas zonas com IP alto entre os níveis 1-4 e 8-9, já Z2 indica uma zona com IP um pouco alto, em torno de 57 mV/V.

Ainda na linha P1 (Figura 4.10), porém, perfilada com o arranjo polo-dipolo, na pseudo-seção de resistividade calculada, Z1 indica uma zona com resistividade baixa, porém, esse arranjo não mapeou bem a zona. Z2, indica uma zona com resistividade alta em torno de 53 ohm.m. Enquanto que na pseudo-seção de IP average, Z1 indica uma zona com IP elevado acima de 80 mV/V, nessa mesma zona mostra que o arranjo polo-dipolo não mapeou bem. Em Z2 é verificado uma zona com IP um pouco baixo, com destaque para um corpo com topo no nível 5. Os dois arranjos quando comparados, o dipolo-dipolo leva uma ligeira vantagem, pois conseguiu mapear com maior precisão.

#### Linha P2-DD

A linha P2 (Figura 4.11) perfilada com o arranjo dipolo-dipolo encontra-se na porção norte da área de pesquisa. Na pseudo-seção de resistividade calculada e IP average foi possível delimitar somente a zona Z1. Na pseudo-seção de resistividade calculada, Z1 indica uma resistividade baixa, variando em torno de 2 ohm.m e topo no nível 2, nessa mesma zona observa-se um corpo com resistividade alta, acima de 57 ohm.m e centrada no nível 4-8. Enquanto que na pseudo-seção de IP Average, Z1 apresenta valores alto acima de 199 mV/V e valores baixos, a baixo de 27 mV/V.

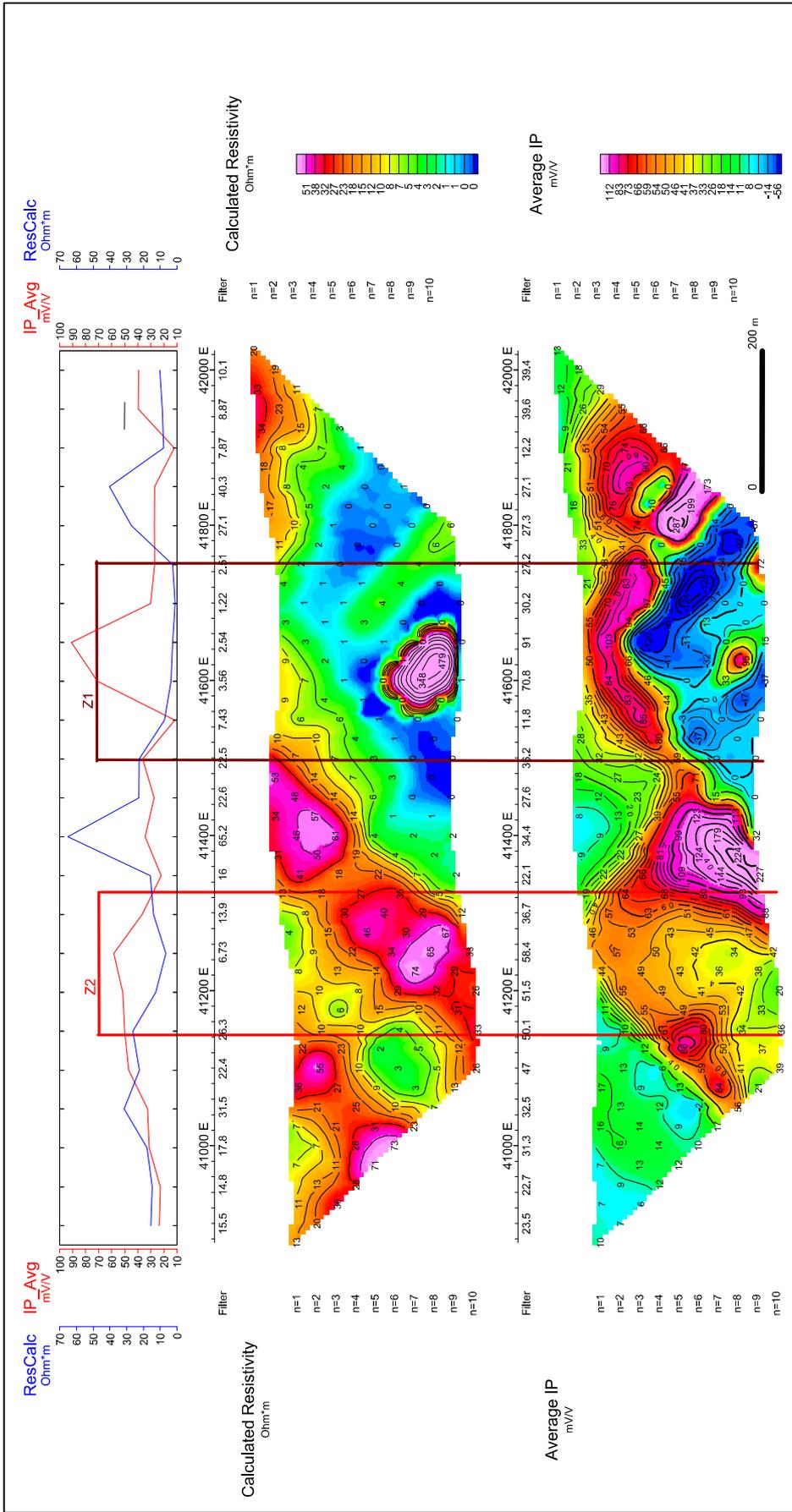


Figura 4.9: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P1 perfurada com o arranjo dipolo-dipolo.

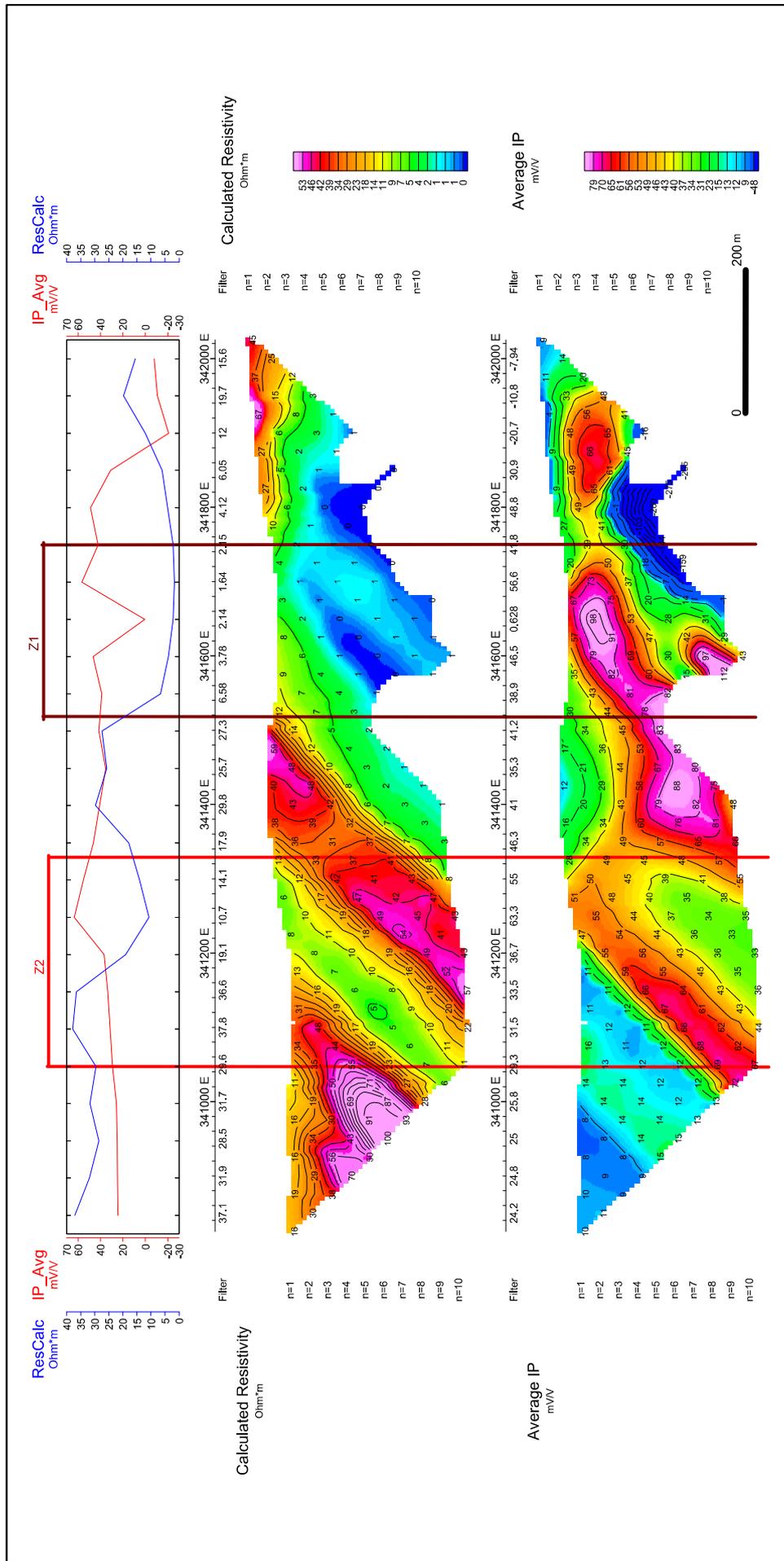


Figura 4.10: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P1 perfilada com o arranjo polo-dipolo.

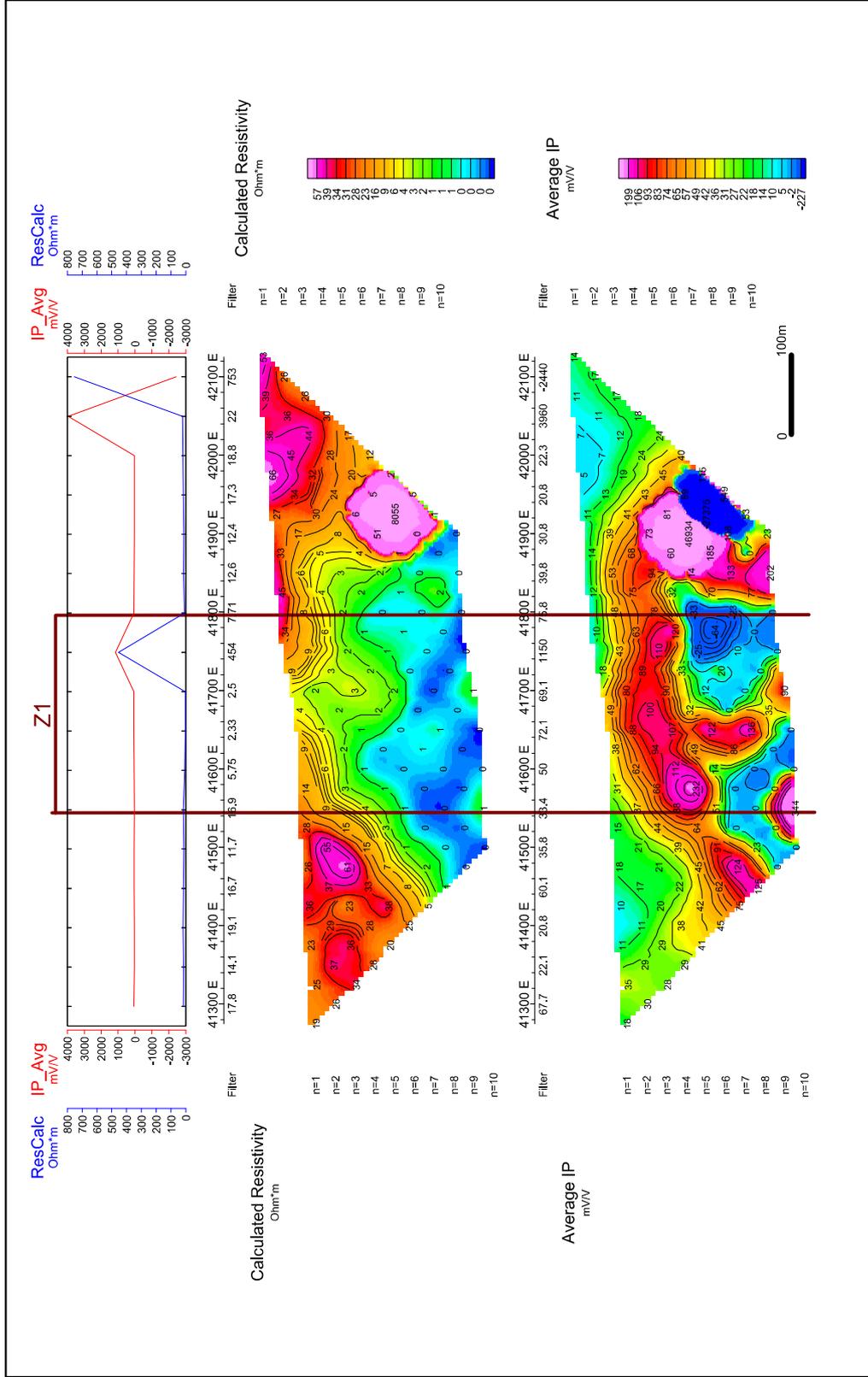


Figura 4.11: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P2 perfurada com o arranjo dipolo-dipolo.

### **Linha P3-DD**

A linha P3 (Figura 4.12) perfilada com o arranjo dipolo-dipolo encontra-se na porção sul da área de pesquisa. Na pseudo-seção de resistividade calculada e IP average foi possível delimitar as zonas Z1, Z2, Z3 e Z4. Na pseudo-seção de resistividade calculada, Z1 e Z2 indicam zonas com resistividade baixa em torno de 3 ohms.m. Nota-se que entre as zonas Z1 e Z2, tem um corpo com resistividade elevada acima de 660 ohm.m e com topo no nível 3. Z3 apresentam zonas com resistividades baixas quanto altas, variando em torno de 8 e 80 ohm.m respectivamente. E em Z4 observa-se zona com alto valores de resistividade, variando em torno de 163 ohms.m. Já na pseudo-seção de IP average, Z1 e Z2 mostram zonas com valores altos de IP, acima de 95 mV/V. Em Z3 e Z4 verificou-se zonas com valores baixos de IP, em torno de 6 mV/V.

### **Linha P4-DD e P4-PD**

A linha P4 (Figura 4.13) perfilada com o arranjo dipolo-dipolo encontra-se na porção sul da área de pesquisa. Nas pseudo-seções de resistividade calculada e IP average foi possível delimitar as zonas, Z1, Z2, Z3 e Z4. Na pseudo-seção de resistividade, Z1 e Z2, apresentaram zonas com resistividades baixas, a baixo de 4 ohm.m, nessas mesmas zonas verifica-se uma camada superficial com resistividade alta acima de 94 ohm.m e com base no nível 2. Em Z3 verifica-se duas zonas com resistividade alta e baixa, em torno de 94 ohm.m e 4 ohm.m respectivamente. Em Z4 verifica-se, uma zona com resistividade alta, acima de 439 ohm.m. Já na pseudo-seção de IP average, em Z1 e Z2, verifica-se zonas com IP elevado, acima de 65 mV/V. Em Z3, verifica-se zonas com valores de IP alto e baixo, em torno de 22 mV/V e -6 mV/V, respectivamente. E em Z4 verificou-se zona com valores de IP abaixo de 11 mV/V.

Ainda na linha P4 (Figura 4.14), porém perfilada com o arranjo polo-dipolo, na pseudo-seção de resistividade calculada, Z1 e Z2 indicam zonas com valores resistividade alta, acima de 12 ohm.m. nessas mesmas zonas verifica-se uma camada superficial com resistividade alta acima de 78 ohm.m e com base no nível 3, que também foi mapeada com o arranjo dipolo-dipolo. Z3, indica zona com resistividade alta, acima de 70 ohm.m. E em Z4 verifica-se uma zona com resistividade bastante elevada, acima de 338 ohm.m. Enquanto que na pseudo-seção de IP average, Z1 indica uma zona com IP baixo, com valores negativos. Nota-se a direita de Z1 uma zona com IP bastante elevado, acima de 81 mV/V e com topo no nível 2. E em Z2, Z3 e Z4 verifica-se somente zonas com valores de IP baixo, a baixo de 11 mV/V.

### **Linha P5-DD**

A linha P5 (Figura 4.15) perfilada com o arranjo dipolo-dipolo encontra-se na porção sul da área de pesquisa. Nas pseudo-seções de resistividade calculada e IP average foi possível

delimitar somente a zona Z2. Na pseudo-seção de resistividade verifica-se em Z2, zonas com resistividade baixa, apresentando valores abaixo de 19 ohm.m. Nessa mesma pseudo-seção, nota-se uma zona com resistividade bastante elevada, com valores acima de 77 ohm.m e topo no nível 6. Já na pseudo-seção de IP average, em Z2 verifica-se uma zona bem destacada com IP baixo, com valores a baixo de 4 mV/V. Nessa mesma pseudo-seção nota-se uma zona com IP bastante elevado, com valores acima de 46 mV/V e centrada nos níveis 6-9.

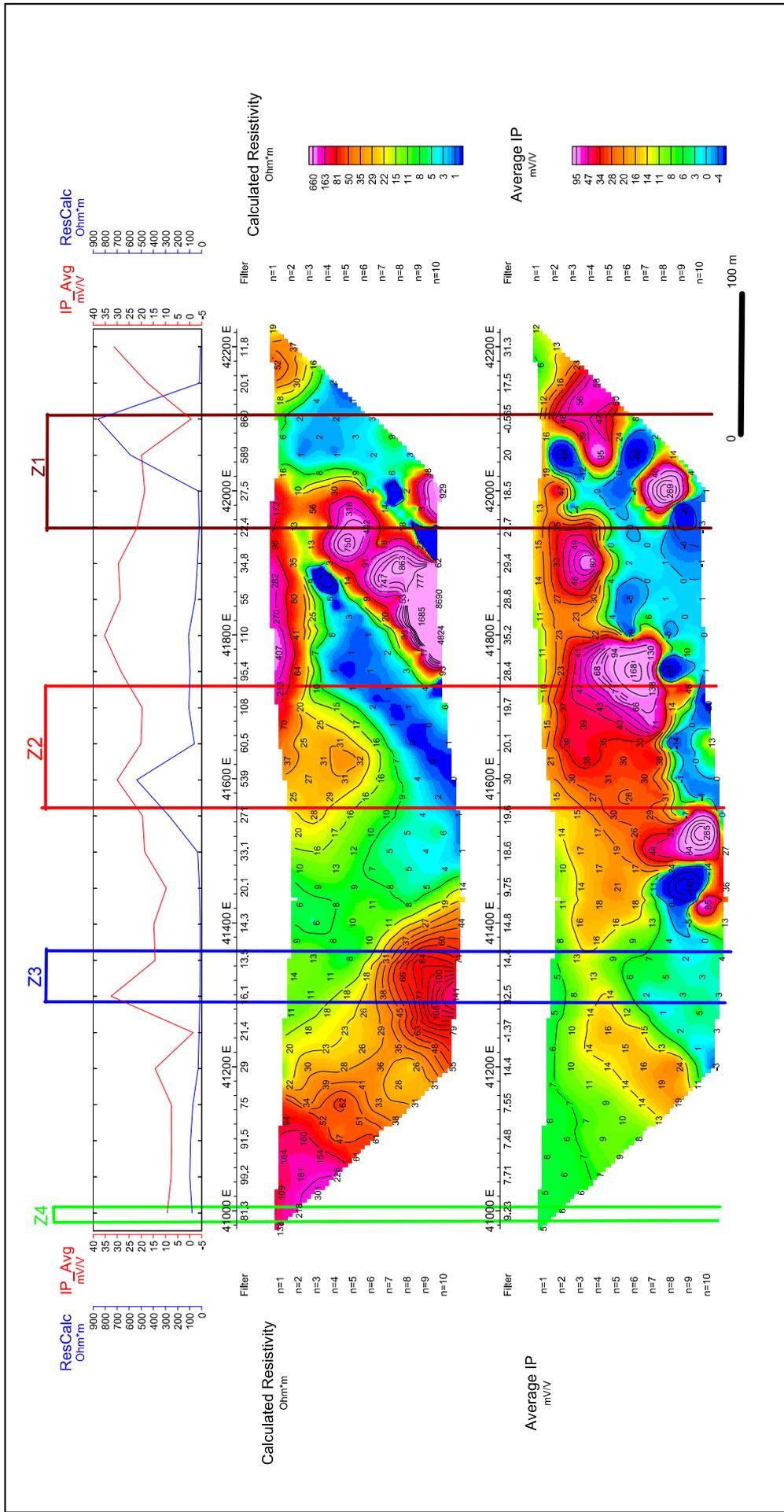


Figura 4.12: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P3 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo.

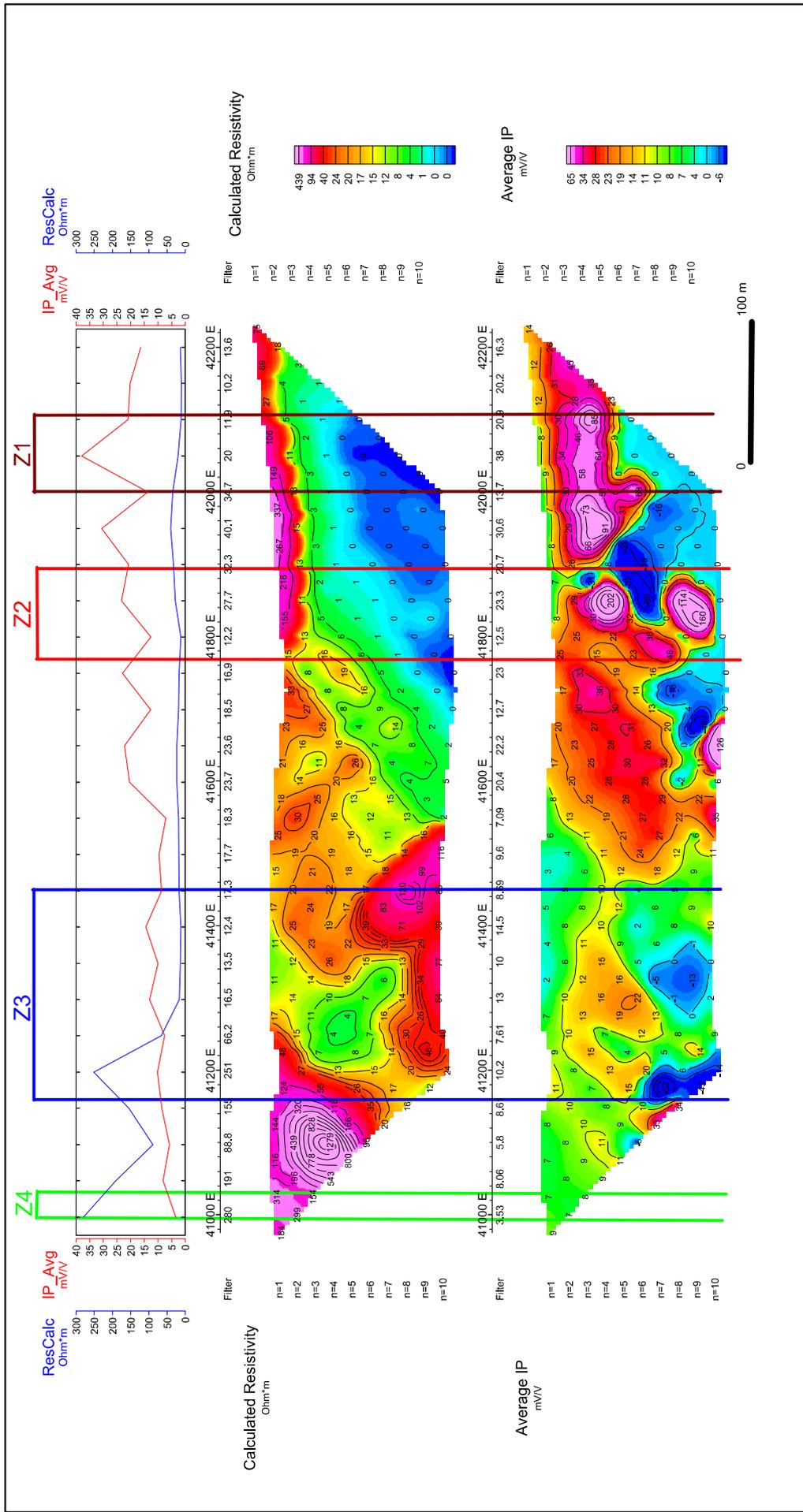


Figura 4.13: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P4 perfurada com o arranjo dipolo-dipolo.

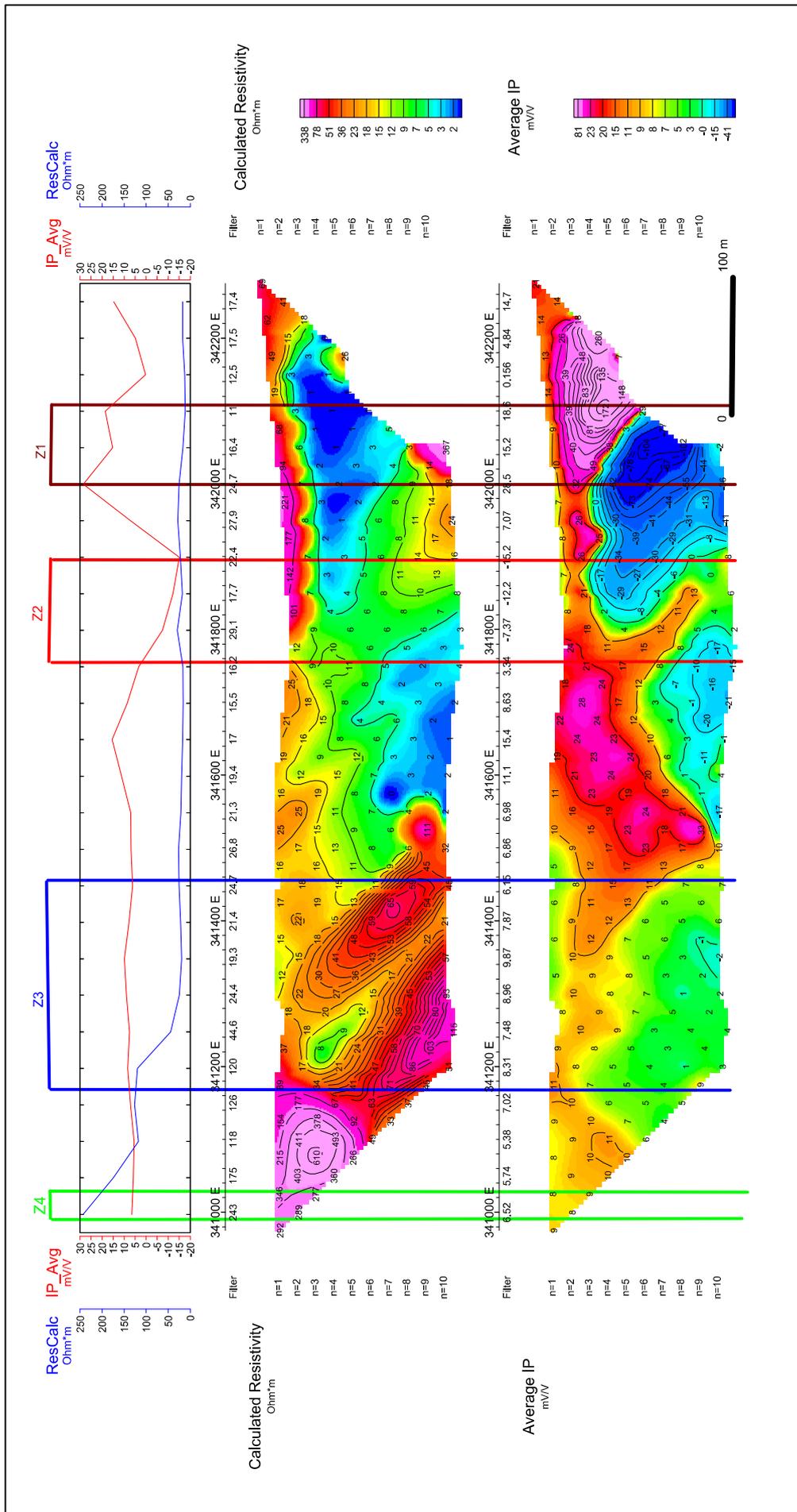


Figura 4.14: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P4 perfilada com o arranjo polo-dipolo.

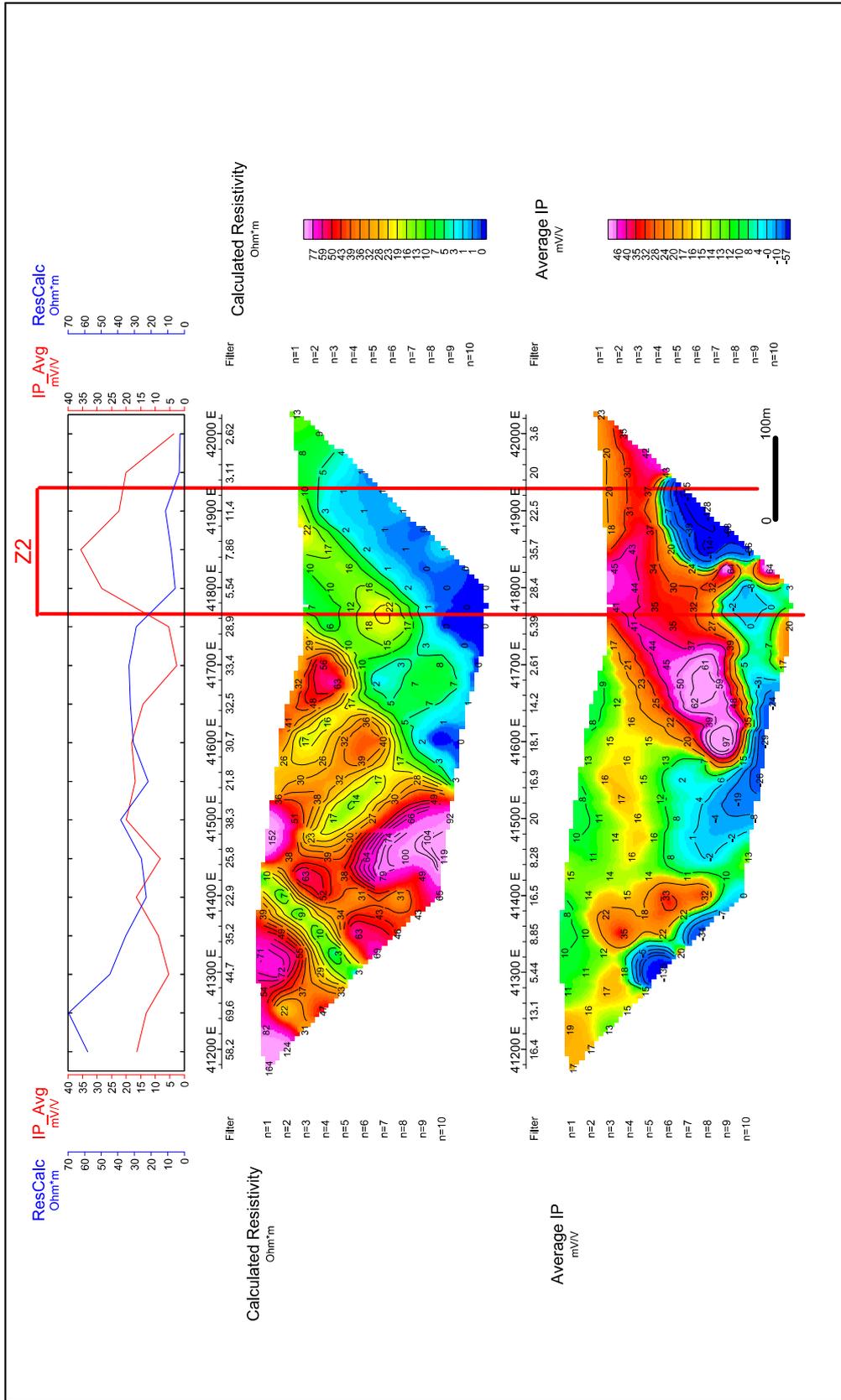


Figura 4.15: Pseudo-seção de resistividade e IP Average da linha P5 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo.

#### 4.2.4 Seções invertidas

##### Linha P1-DD e P1-PD

Nas seções de resistividade e cargabilidade (Figura 4.16), Z1 encontra-se centrada nas coordenadas UTM 341433-341949 e Z2 nas coordenadas UTM 341129-341332. Na seção de resistividade, em Z1 destaca-se uma anomalia com alta resistividade, em torno de 28.3 ohm.m e com topo na cota de 425 metros que esta compatível com o mesmo corpo identificado na pseudo-seção resistividade calculada da figura 4.8. E outra anomalia com resistividade baixa, em torno de 1 ohm.m e centrada nas cotas 475-400 metros, sendo esta última uma possível zona de ocorrência de mineralização. Na zona Z2 encontra-se uma anomalia com resistividade elevada, acima de 16.2 ohm.m e com topo na cota de 400 metros. Nota-se nessa seção duas anomalias, uma a esquerda de Z2 e outra entre Z1 e Z2, ambas com alta resistividades e com topo na cota 450 metros. Todas essas anomalias com resistividades altas e cargabilidade altas, podem estar relacionados a zonas com ocorrência de mineralizações.

Na seção de cargabilidade, em Z1, verifica-se uma anomalia com cargabilidade alta, em torno de 234 ms posicionado e entre as cotas 475 e 425 metros, nota-se que essa anomalia está correlata com a zona de baixa resistividade verificada na seção de resistividade, sendo uma possível zona de interesse. Em Z2, nota-se uma anomalia com carbabilidade alta, em torno de 234 ms e com topo na cota 438 metros. Esta zona apresenta uma incompatibilidade entre as respostas geofísicas, quando comparada com a zona de alta resistividade identificada na seção de resistividade, sendo assim, não é uma zona de interesse.

Ainda na linha P1 (Figura 4.17), perfilada com o arranjo polo-dipolo, na seção de resistividade, em Z1 encontra-se uma anomalia com baixa resistividade, em torno de 0.0655 ohm.m e centrada nas cotas 425 a 325 metros. Nota-se que esta anomalia não foi mapeada na seção de cargabilidade, dessa mesma figura. Em Z2 verifica-se uma zona de resistividade baixa, a baixo de 0.600 ohm.m. Já na seção de cargabilidade as zonas Z1 e Z2 não foram mapeadas.

O arranjo polo-dipolo permitiu uma investigação de profundidade maior, comparado com o arranjo dipolo-dipolo. Porém o arranjo dipolo-dipolo conseguiu mapear com maior precisão os corpos anômalos identificados nos mapas

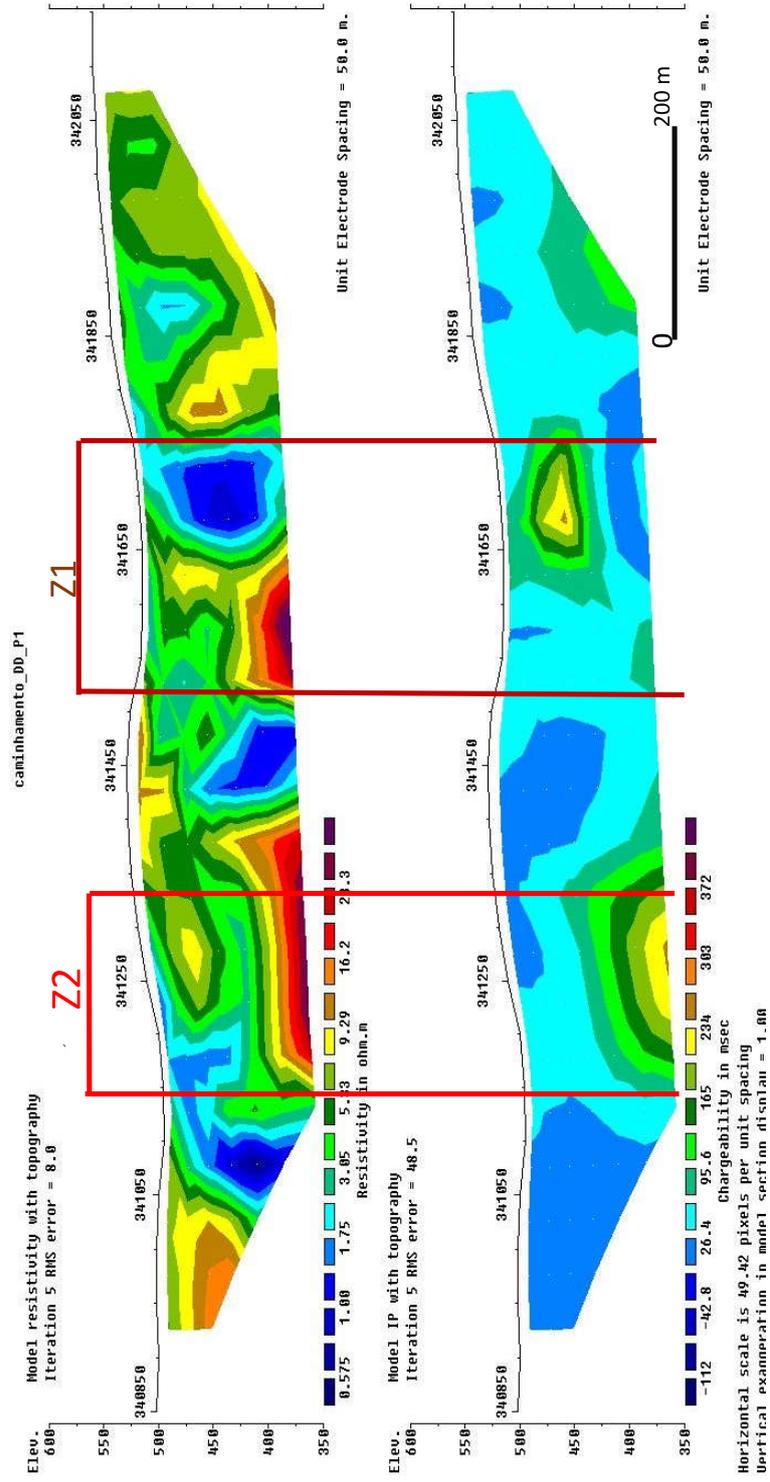


Figura 4.16: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P1 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

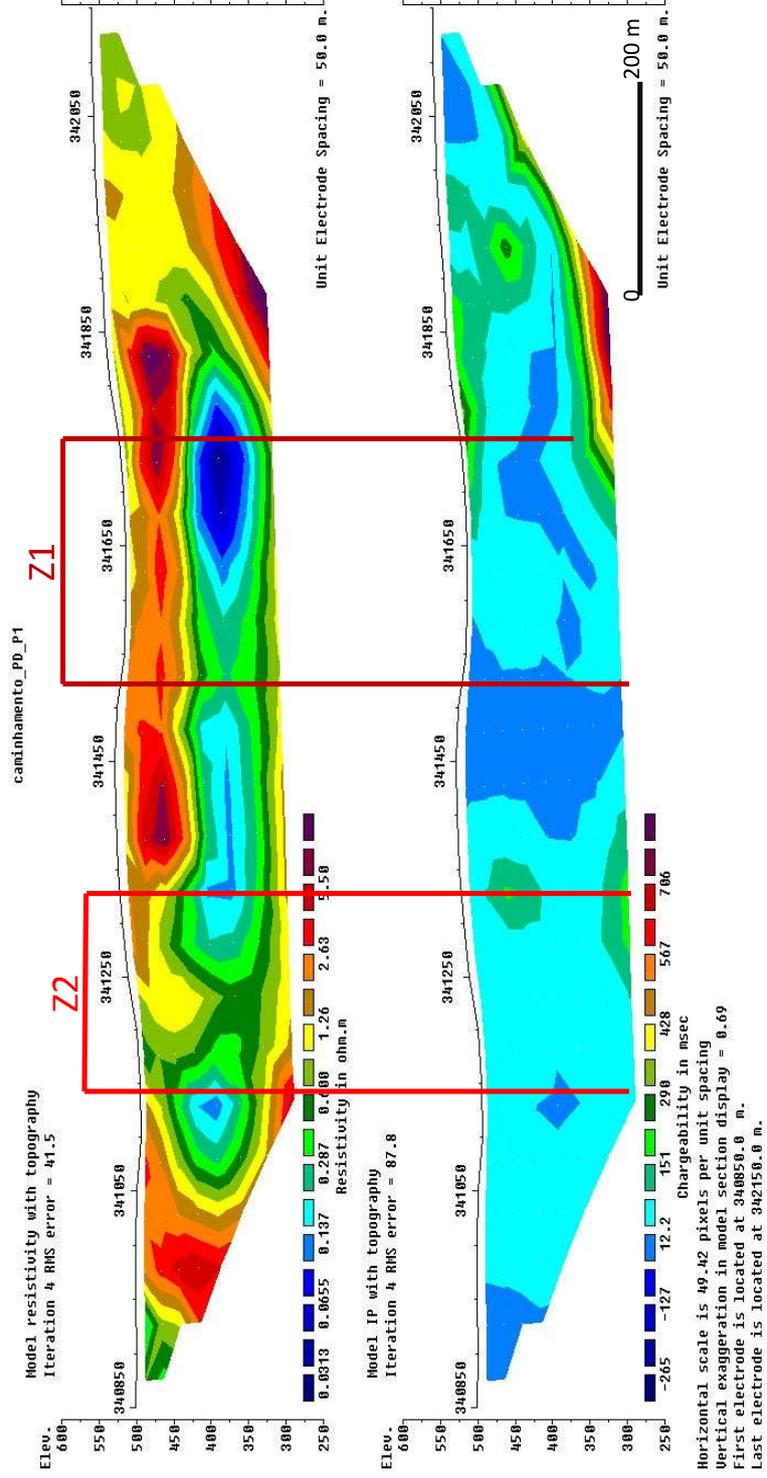


Figura 4.17: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P1 perfilada com o arranjo polo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

### **Linha P2-DD**

Nas seções de resistividade e cargabilidade (Figura 4.18), Z1 encontra-se centrada nas coordenadas 341508-341900. Na seção de resistividade, observa-se uma extensa zona de resistividade baixa, com valores a baixo de 7.16 ohm.m, ainda em Z1 verifica-se uma anomalia com alta resistividade, em torno de 23.4 ohm.m e com topo na cota 500 metros. Essa anomalia foi verificada nas pseudo-seções de resistividade calculada e IP average, da figura 4.10.

Na seção de cargabilidade, em Z1 nota-se uma extensa zona com cargabilidade baixa, com valores a baixo de 82.1 ms. Nessa mesma zona, observa-se uma anomalia com carbabilidade alta, em torno de 268 ms e topo na cota 450 metros. No entanto, a mesma foi verificada na seção de resistividade dessa mesma figura. E não é uma zona propicia a ocorrência de mineralizações devido as respostas geofísicas divergirem.

### **Linha P3-DD**

Nas seções de resistividade e cargabilidade (Figura 4.19), as zonas Z1, Z2 e Z3 encontra-se centrada nas coordenadas UTM 341914-342117, 341561-341746 e 341288-341358 respectivamente. A zona Z4 não foi possível delimitar nas seções.

Na seção de resistividade, em Z1, verifica-se uma anomalia de baixa resistividade, em torno de 1.10 ohm.m e centrada nas cotas 550-480 metros. Nota-se que essa mesma anomalia não foi identificada em Z1 na seção de cargabilidade. Em Z2 verifica-se dois corpos com resistividade baixa e alta, em torno de 1.10 ohm.m e 21.6 ohm.m, ambos com topo na cota 520 metros. Z3 não foi mapeado. Chama-se a atenção para dois corpos de alta resistividade, em torno de 18 ohm.m e centrados entre as zonas Z1-Z2 e Z2-Z3, ambos corpos com topo na cota 450 metros.

Na seção de cargabilidade, em Z2, verifica-se um corpo com carbabilidade alta, em torno de 143 ms e centrada nas cotas 520-420 metros. As zonas Z1 e Z3 não foram mapeados, embora tenham sidos evidenciados nos mapas. Chama-se nessa seção entre as zonas Z1 e Z2, um corpo de cargabilidade alta, em torno de 202 ms, esse mesmo corpo foi evidenciado com alta resistividade, na seção de resistividade dessa mesma figura e na pseudo-seção de resistividade calculada da figura 4.11.

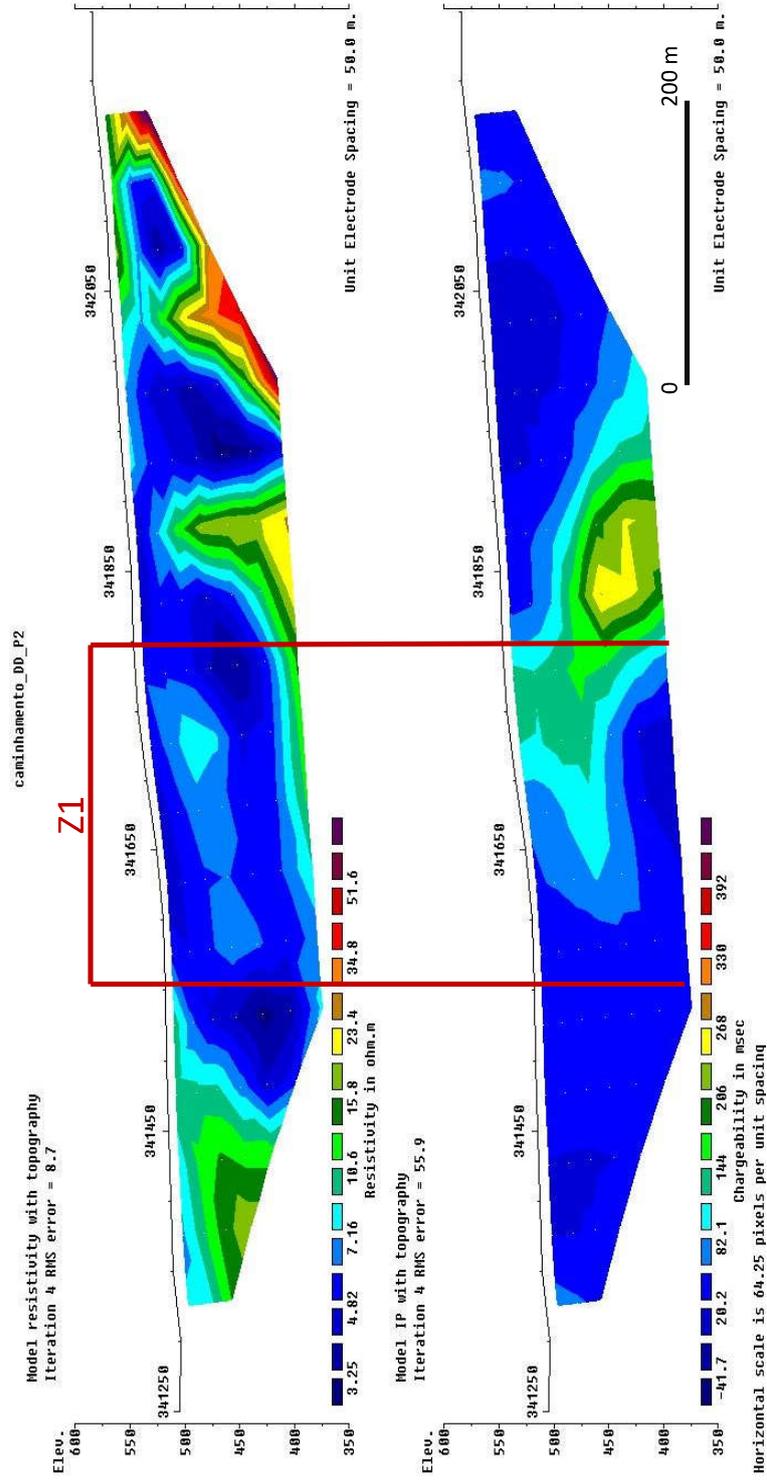


Figura 4.18: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P2 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

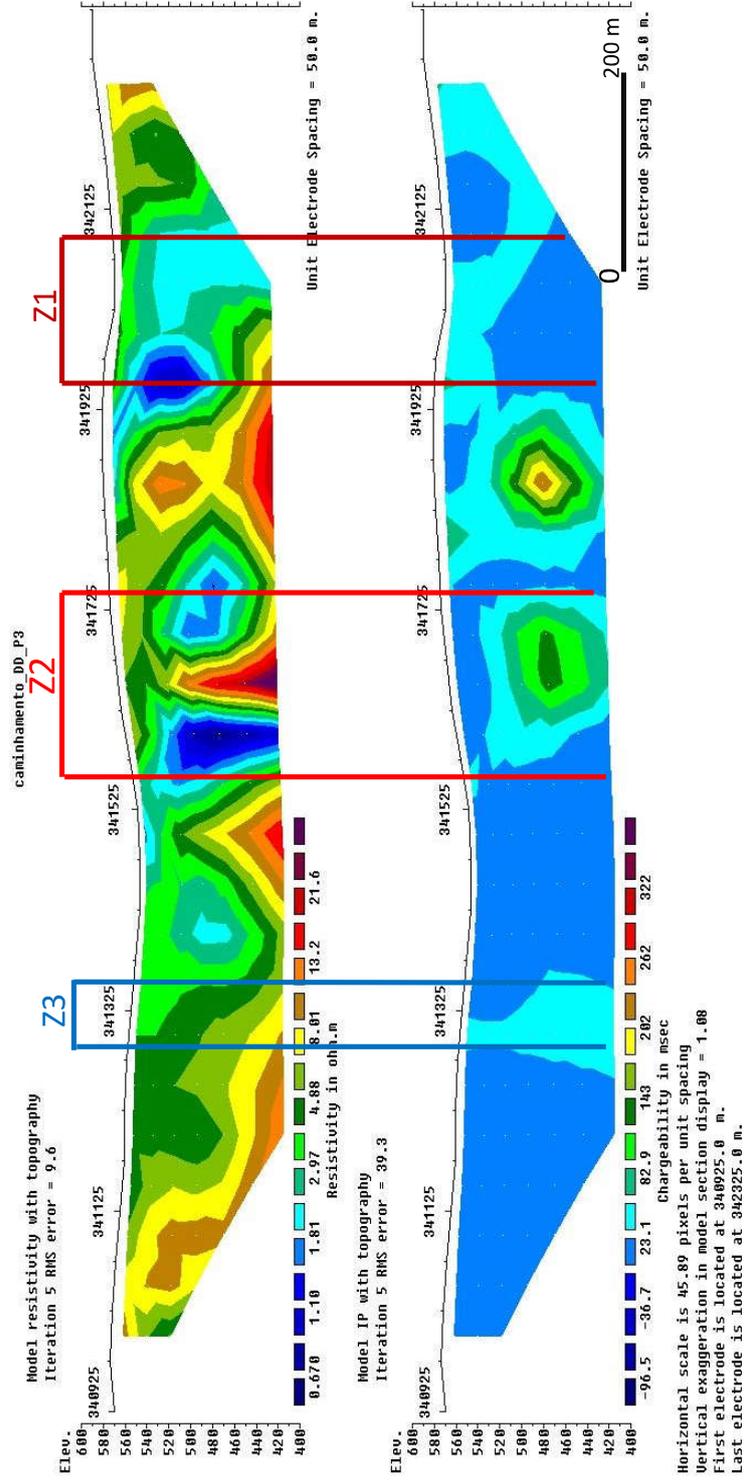


Figura 4.19: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P3 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

## Linha P4-DD e P4-PD

Nas seções de resistividade e cargabilidade (Figura 4.20) da linha P4, as zonas Z1, Z2, Z3 e Z4 encontra-se centrada nas coordenadas UTM 341971-342095, 341751-341896, 341160-341451 e 340913-341160 respectivamente. A zona Z4 não foi possível delimitar nas seções.

Na seção de resistividade, em Z1, observa-se uma zona com resistividade baixa, em torno de 2.93 ohm.m centrada nas cotas 560-520 metros, essa mesma zona não foi verificada em Z1 na seção de cargabilidade. Em Z2 verifica-se uma anomalia de baixa resistividade, em torno de 1.55 ohm.m e centrada nas cotas 550-490 metros e correlata com a zona polarizável identificada na pseudo-seção de IP average da figura 4.12. Essa mesma anomalia não foi mapeada em Z1 na seção de cargabilidade. No entanto, não é uma possível zona de mineralizações. Em Z3 e Z4 verifica-se um extenso corpo de alta resistividade, em torno de 10.4 ohm.m. Esse mesmo corpo não foi mapeado na seção de cargabilidade.

Na seção de carbabilidade o arranjo dipolo-dipolo não mapeou nenhuma anomalia nas zonas Z1, Z2, Z3 e Z4. Nessa seção, chama-se a atenção para um corpo de alta cargabilidade, em torno de 101 ms e centrado nas cotas 560-500 metros, entre as zonas Z1-Z2. Esse mesmo corpo apresenta uma correlação com a zona polarizável identificada pseudo-seção de IP average da figura 4.12. Entre as zonas Z2 e Z3 observa-se um corpo de cargabilidade alta, em torno de 55.9 ms e centrado nas cotas 520 e 480 metros.

Ainda na Linha P4 (Figura 4.21), porém perfilada com o arranjo polo-dipolo, na seção de resistividade, em Z1, observa-se uma zona de resistividade alta, em torno de 140 ohm.m e centrado nas cotas de 550 e 525 metros. Em Z2, verifica-se parcialmente um corpo de alta resistividade, em torno de 12.8 ohm.m. Em Z3 nota-se dois corpos, um com alta resistividade, em torno de 20.4 ohm.m e topo na cota 425 metros e correlato com a zona de alta resistividade, verificado em Z3 na pseudo-seção de resistividade calculada da figura 4.13. E outro de baixa resistividade, em torno de 0.768 ohm.m e topo na cota 525 metros. E em Z4 verifica-se parcialmente um corpo de alta resistividade, em torno de 20.4 ohm.m e com topo na cota 575 metros e correlato com a zona de alta resistividade verificada em Z4 na pseudo-seção de resistividade da figura 4.13.

Nota-se entre as zonas Z1 e Z2 um corpo de baixa resistividade, em torno de 1.23 ohm.m e centrado nas cotas 525-425 metros, esse mesmo corpo foi verificado entre as Zonas Z1 e Z2 na seção de cargabilidade da figura 4.19, e, é uma possível zona de mineralização, devido as respostas geofísicas convergirem para o mesmo objetivo. Na seção de cargabilidade, nas zonas Z1, Z2, Z3 e Z4 não foi observada nenhuma zona de interesse.

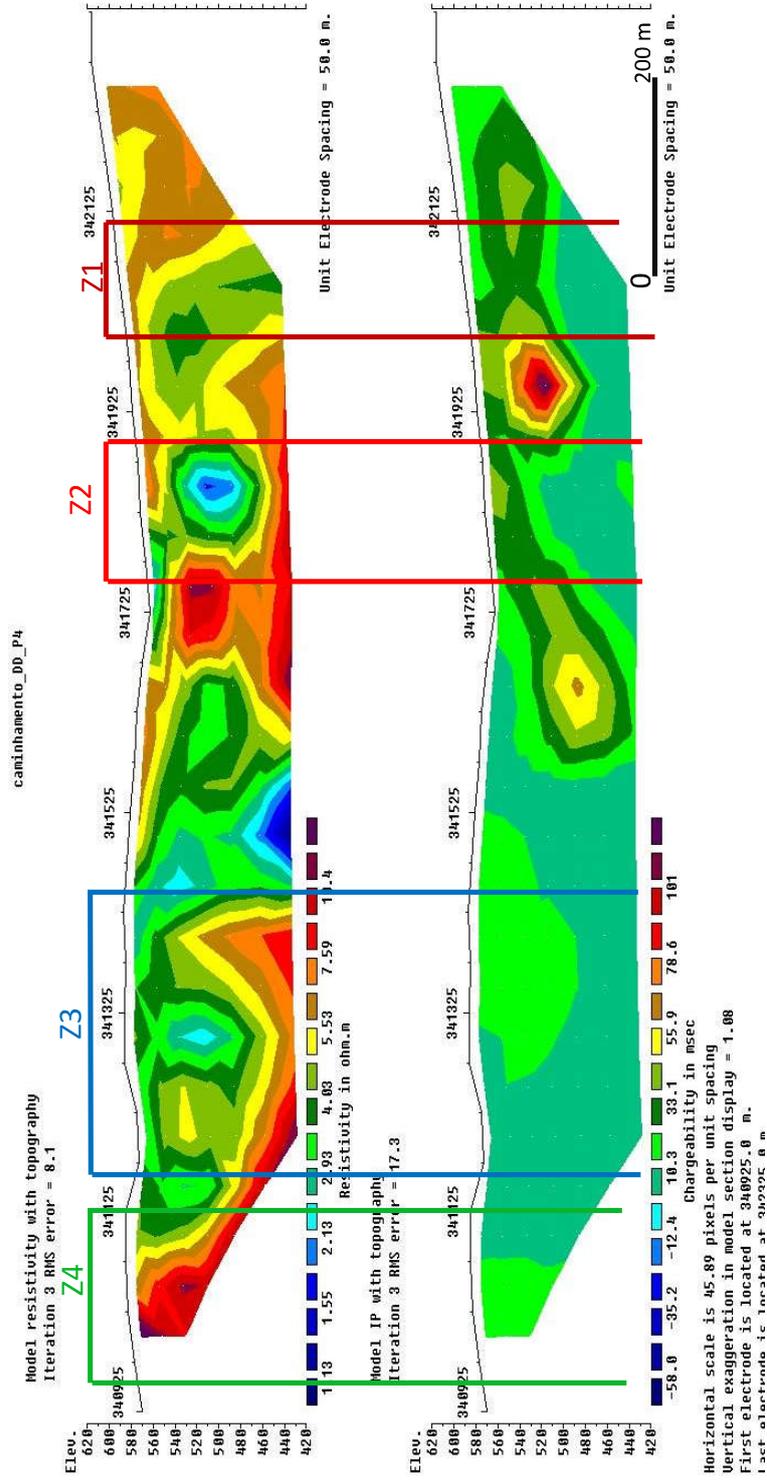


Figura 4.20: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P4 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

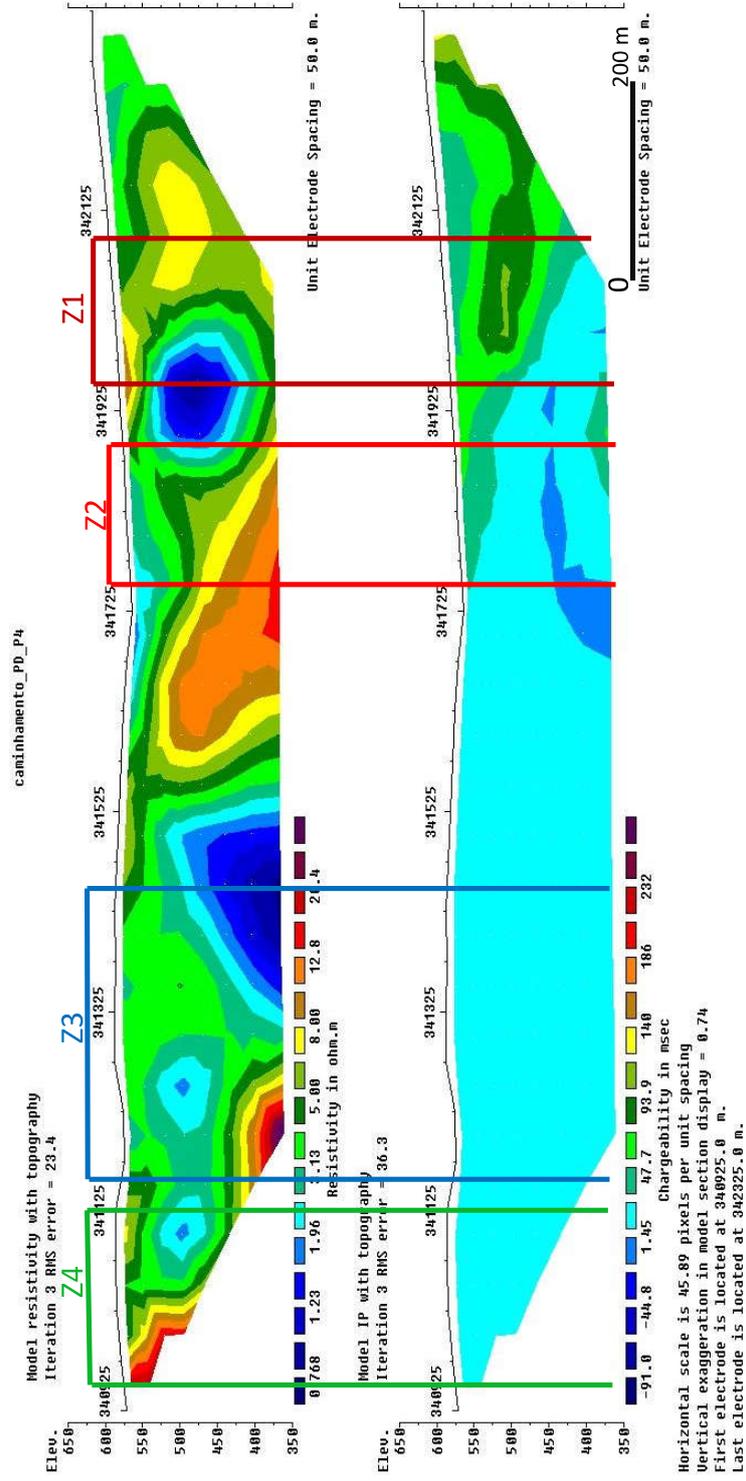


Figura 4.21: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P4 perfurada com o arranjo polo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

## Linha P5 DD

Nas seções de resistividade e cargabilidade (Figura 4.22) da linha P5, a zona Z2 encontra-se centrada nas coordenadas UTM 341755-341932.

Na seção de resistividade na zona Z2, verifica-se um corpo de baixa resistividade, em torno de 0.683 ohm.m e centrado nas cotas 540 a 460 metros. Podemos inferir que esse corpo é uma possível zona de mineralização devido à baixa resistividade. Ainda nessa seção nota-se dois corpos, um de alta resistividade em torno de 60.3 ohm.m e centrado nas coordenadas UTM 341475-341775 e topo na cota 510 metros. E outro de baixa resistividade, em torno de 0.683 ohm.m e centrado nas coordenadas UTM 341375-341450 e entre as cotas 550-460 metros. Esse último é uma possível zona de mineralização.

Na seção de cargabilidade foi possível identificar na zona Z2, um corpo de alta cargabilidade, em torno de 96.6 ms e com base na cota 480 metros. Sendo uma possível zona de ocorrência de mineralização, devido as respostas geofísicas convergirem para o mesmo objetivo. Nota-se nessa seção um corpo de cargabilidade alta, centrado nas coordenadas UTM 341575-341675 e com topo na cota 500 metros. Esse mesmo corpo foi verificado com alta resistividade na seção de resistividade dessa mesma figura. No entanto, essa zona não é uma possível zona de mineralização.

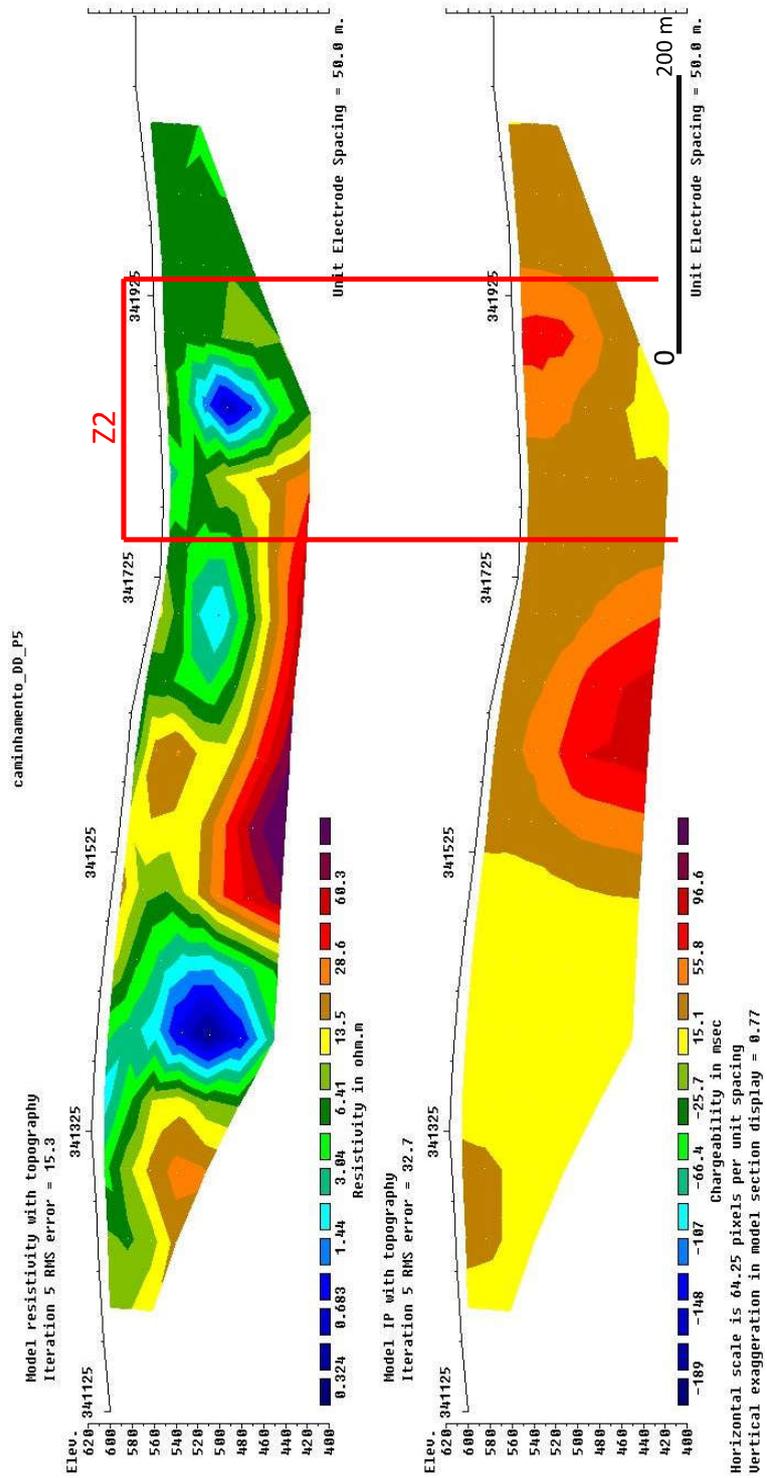


Figura 4.22: Modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha P5 perfilada com o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 50 metros entre os dipolos.

## CAPÍTULO 5

### Conclusão

Os métodos geofísicos de Resistividade e Polarização Induzida podem ser eficientes para caracterizar áreas com possibilidade de conter mineralizações, de metais básicos (Zn, Cu e Pb), principalmente em ambientes vulcano sedimentares semelhantes ao que ocorre no alvo Tapiranga, no *Geenstone Belt* Mundo Novo.

No alvo Tapiranga foi possível avaliar as zonas propícias a mineralização, bem como dimensioná-las dentro da área de estudo. Os diversos programas de inversão e imageamento utilizados permitiram a construção dos perfis e mapas que evidenciaram as anomalias geofísicas interpretadas nesse trabalho. Os resultados obtidos neste alvo foram importantes para testar o método de polarização induzida com seus diversos parâmetros utilizando as inversões com o programa RES2DINV.

Foram identificadas quatro zonas com anomalias de cargabilidades altas e resistividade baixas, todas no domínio sedimentar do alvo. A zona 1 considerada zona principal, tem extensão em torno de 2.200 metros, foi identificada principalmente pela cargabilidade Cole-Cole alta e por resistividade baixa, principalmente na linha P1, com espessura do corpo calculada em torno de 173 m. Considerando a extensão do condutor e associação do mesmo com a unidade sedimentar é provável que o condutor seja litologicamente associado a horizontes grafitoso e se não tiver geoquímica o alvo deve ser descartado, não se recomendando sondagem exploratória.

Uma alternativa viável a ser avaliada é a possibilidade que a zona Z1 possa estar associada a horizontes grafitosos. Do ponto de vista econômico pode ser considerado interessante para a ocorrência de grafita ou grafeno que no mercado atual são minerais que podem revolucionar a tecnologia do futuro utilizada nos tablets e celulares.

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, o Senhor todo soberano, pela existência, saúde, força e pelo todo operar em minha vida. Agradeço especialmente a Salatiel Farias, meu tio, que acreditou em mim quando ninguém acreditava, que me deu a oportunidade de estudar e independente de qualquer coisa sempre foi meu melhor amigo e minha fonte de inspiração para nunca parar de lutar. Agradeço a minha vó, Dona Tereza de Gerônimo, que sempre me ajudou, me criou e é uma das minhas mães, a meu filho, Caio Gabriel S. Farias, que sempre foi minha motivação maior. Agradeço minha mãe, Jovenita Farias que sempre me apoiou em todas as minhas decisões. A minha tia, Getânia Farias, que sempre olhou por mim com o olhar de proteção, muito obrigado. A Ângela Farias, minha prima, por todo apoio e amizade. A Ramon Ualas de Souza Farias, meu primo, muito obrigado. A meu amigo John Carlos, que mesmo distante, sempre foi um amigo presente em todos os momentos. A minha tia, Debora Farias, que foi uma das minhas mães mais protetora, muito obrigado. A Márcio Amorim (Pop), meu amigo, que sempre me estendeu a mão quando precisei, obrigado pela amizade verdadeira.

Quero agradecer também a todas as amigas verdadeiras que construir dentro e fora da geofísica durante toda jornada e que levarei para sempre: Luiz Vieira, Eduardo Amarante (Dudu), Peterson Nogueira (Pep), Carlos Alberto, Gleizer (São Gleizer, o salvador da pátria), Lucas Pedrosa (Drosa), Everaldo (Pivetão), Leonardo (Leo Barril), Cleriston Gama (Mestre), Igor Baldini (Urso). Obrigado a todos pelas risadas, resenhas, momentos de estudos e por todas as diversões.

Agora, gostaria de agradecer aos professores que contribuíram para tornar esse trabalho realidade: Eduardo Amarante, que se empenhou para conseguir os dados para realização deste trabalho e sempre me ajudou quando precisei, muito obrigado. A minha orientadora professora Susana Silva Cavalcanti, por toda dedicação, atenção, confiança e paciência em me ajudar durante toda essa caminhada. A meu coorientador Florivaldo de Oliveira Sena, sempre reservou um pouco do seu precioso tempo para me ajudar a desenvolver o trabalho, obrigado por tudo. A empresa Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) que forneceu os dados para este trabalho, especialmente Ives Garrido, que sempre reservou um pouco do seu valioso tempo para me ajudar e sempre esteve a disposição, obrigado por tudo.

## Referências

- Almeida, F. F. M. (1977) O Cráton do São Francisco, *Brazilian Journal of Geology*, **7**(4):349–364.
- Almeida, F. F. M. (1981) O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco, *Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas marginais*, **1**:1–10.
- Barbosa, J. S. E.; Sabaté, P. e Marinho, M. M. (2016) O cráton do são francisco na bahia: uma síntese, *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(1):3–6.
- Barbosa, J. S. F. e Sabaté, P. (2002) Geological features and the paleoproterozoic collision of four archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: a synthesis, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **74**(2):343–359.
- Barbosa, J. S. F. e Sabaté, P. (2003) Colagem paleoproterozóica de placas arqueanas do cráton do são francisco, *Rev. Bras. Geoc.*, **33**:7–14.
- Barbosa, J. S. F.; Mascarenhas, J. F.; Correa-Gomes, L. C.; Dominguez, L. M. e Santos de Souza, J. (2012) *Geologia da bahia, pesquisa e atualização*, Salvador, CBPM, Série publicações especiais, **1**:559p.
- Bastos Leal, L. R. (1998) Geocronologia u/pb (shrimp), 207pb/206pb, rb/sr, sm/nd e k/ar dos terrenos granito-greenstone do Bloco do Gavião: Implicações para a evolução arqueana e paleoproterozóica do Cráton do São Francisco, Brasil, Unpublished Doctoral Thesis, University of São Paulo, Brazil.
- Couto, P. A.; Sampaio, A. R.; Gil, C. A. A.; Loureiro, H. S.; Arcanjo, J. B. A. d.; Fernandes Filho, J.; Guimarães, J. T.; Campelo, R.; Mascarenhas, J. F. d. e Bruni, D. C. (1978) Projeto serra de Jacobina. geologia e prospecção geoquímica: relatório final.
- Fraser, D. C. (1969) Contouring of VLF-EM data, *Geophysics*, **34**(6):958–967.
- Gandolfo, O. C. B. e Gallas, J. D. F. (2007) O arranjo pólo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamentos 2d de eletrorresistividade, *Revista Brasileira de Geofísica*, **25**(3):227–235.
- Garrido, I. A. A. (1999) Projeto Levantamentos Aerogeofísicos de Domínios Vulcanossedimentares da Bahia - 2ª etapa: Área Mundo Novo, 1999.
- Garrido, I. A. A. (2000) Relatório do Projeto Mundo Novo: Alvo Tapiranga.
- Garrido, I. A. A.; Souza, S. L.; Oliveira, N. S. e Fróes, R. J. B. (2002) Projeto Greenstone Belt de Mundo Novo: Estudos Geológicos Regionais, Volume 1.

- Griffon, J. C. (1967) Apresentação do mapa geológico (1/100 000) da parte central da Serra de Jacobina (Bahia), In: *Congresso Brasileiro de Geologia. Resumo das comunicações. Curitiba. Boletim Paranaense de Geociências*, vol. 26, pp. 33–34.
- IBGE (2010) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010, Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acessado em 28 de setembro de 2016.
- Kearey, P.; Brooks, M. e Hill, I. (2013) *An introduction to geophysical exploration*, John Wiley & Sons.
- King, L. C. (1957) *A geomorfologia do Brasil Oriental*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Conselho Nacional de Geografia.
- Leal, A. B. M.; Leal, L. R. B.; Cunha, J. C. e Teixeira, W. (2012) Características geoquímicas dos granitóides transamazônicos no Bloco Gavião, Craton São Francisco, Bahia, Brasil, *Geochimica Brasiliensis*, **19**(1).
- Leo, G. W.; Cox, D. P. e Carvalho, J. P. P. (1964) *Geologia da parte sul da Serra de Jacobina, Bahia, Brasil*, Departamento Nacional da Produção Mineral.
- Loke, M. H. (1997) *RES2DINV software user's manual*, University Sains Malaysia, Penang.
- Loureiro, H. S. C. (1991) *Mundo Novo: folha sc. 24-yd-iv*.
- Maranhão, R. J. L. (1985) *Introdução à pesquisa mineral*, Banco do Nordeste do Brasil SA Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste-ETENE.
- Marinho, M. M. (1991) *La séquence volcano-sédimentaire de contendas-mirante et la bordure occidentale du bloc jequié (Cráton du São Francisco-Brésil): un exemple de transition archéean-protérozoïque*, Doctor Thesis. Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, França, 388p.
- Mascarenhas, J. F. e Silva, E. F. A. (1994) *Greenstone Belt de Mundo Novo: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no cráton do São Francisco*, Série Arquivos Abertos, **5**:1–31.
- Mascarenhas, J. F.; Ledru, P.; Souza, S. L.; Conceição Filho, V. M.; Melo, L. F. A.; Lorenzo, C. L. e Milési, J. P. (1998) *Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo*, Série Arquivos Abertos, **13**:58.
- Melo, R. C. (1991) *Geologia regional: análise do conhecimento adquirido pelo Projeto Gavião–Serrinha Folha Mundo Novo*, Mundo Novo, folha SC, **24**:18–21.
- Melo, R. C.; Loureiro, H. e Pereira, L. H. M. (1995) *Serrinha, folha sc. 24-yd: Estado da Bahia, CPRM, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Escala, 1(250,000)*.
- Millett, F. B. (1967) *Electromagnetic coupling of collinear dipoles on a uniform half-space*, *Mining geophysics*, **2**:401–419.

- Parasnis, D. S. (1973) Mining geophysics: methods in geochemistry and geophysics. Elsevier.
- Pelton, W. H.; Ward, S. H.; Hallof, P. G.; Sill, W. R. e Nelson, P. H. (1978) Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency ip, *Geophysics*, **43**(3):588–609.
- Reynolds, J. M. (2011) An introduction to applied and environmental geophysics, John Wiley & Sons.
- Roig, H. L.; Moya, M. M. e Aron, P. (1992) Ocorrências de ouro na região de Pindobaçu-Bahia, In: *Congresso Brasileiro de Geologia (1992: São Paulo)*, vol. 1, pp. 235–236.
- Sabaté, P. e Marinho, M. M. (1982) Chemical affinities of low-grade metamorphic formations of the contendas-mirante proterozoic complex (Bahia, Brazil), *Brazilian Journal of Geology*, **12**(1-2-3):392–402.
- Sabaté, P.; Marinho, M. M.; Vidal, P. e Caen Vachette, M. (1990) The 2-ga peraluminous magmatism of the Jacobina-Contendas Mirante Belts (Bahia, Brazil): geologic and isotopic constraints on the sources, *Chemical Geology*, **83**(3-4):325–338.
- Sampaio, A.; Santos, R. A. e Rocha, A. J. D. (1995) Jacobina, folha sc. 24-yc; Estado da Bahia, Texto explicativo. Brasília: CPRM.(PLGB-Projeto de Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais).
- Souza, S. L.; Mascarenhas, J. F. e Moraes, A. M. V. (1996) Geologia do Greenstone belt de Mundo Novo, Bahia, In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 39, pp. 103–106.
- Sumner, J. S. (1976) Principles of induced polarization for geophysical prospecting. Elsevier, 277.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P. e Sheriff, R. E. (1990) Applied geophysics, vol. 1, Cambridge University Press.
- Ward, S. H. (1990) Resistivity and induced polarization methods. Geotechnical and environmental geophysics, vol. 2, Soc of Exploration Geophysicists.