

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS AO ULTRAMAFITO DA SERRA DE QUATIPURU - ESTADO DO PARÁ.

Tese Apresentada por

JACIRA FELIPE BELTRÃO

como requisito parcial à obtenção do grau de


MESTRE EM CIÊNCIAS


Na área de

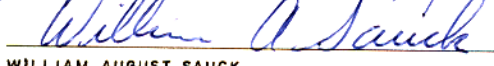
GEOFÍSICA

Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Geofísicas e Geológicas da  
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 13.05.80

  
\_\_\_\_\_  
JOSE SEIXAS LOURENÇO (ORIENTADOR)

  
\_\_\_\_\_  
AUGUSTO CESAR BITTENCOURT PIRES

  
\_\_\_\_\_  
WILLIAM AUGUST SAUCK

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Comitê de Tese

3453 Beltrão, Jacira Felipe

Métodos geofísicos aplicados ao ultramafito da Serra do Quatipuru - Estado do Pará. Belém, UFPa. 1980.

58 p.

Tese apresentada ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas - Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Ciências na área de Geofísica.

1. Geofísica aplicada - Métodos. I. Minerais. II.  
Título

CDD: 622.1509811

CDU

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Seixas Lourenço pelo incentivo e orientação deste trabalho.

Ao Prof. Adalberto da Costa Dias por sua valiosa colaboração na definição deste trabalho e sua participação durante a primeira etapa dos trabalhos de campo.

Aos Drs. William August Sauck e Augusto Cesar B. Pires pelas sugestões dadas ao examinar este trabalho.

A DOCEGEO pelo total apoio recebido da equipe do geólogo Armando Cordeiro.

Ao pessoal técnico-administrativo do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, pelo apoio durante a realização dos trabalhos de campo.

Aos colegas de pós-graduação, pela colaboração durante a aquisição de dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela bolsa de estudo concedida.

A todos os que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## R E S U M O

O objetivo deste trabalho foi a aplicação de métodos geofísicos para a avaliação econômica de ocorrência de níquel, cromo e amianto, em uma área de 6,25 km<sup>2</sup> - Malha 2 - Serra de Quatipuru, localizada a cerca de 50 km a SW de Conceição do Araguaia, no sul do Estado do Pará.

Inicialmente foi aplicado o método magnético em caráter de reconhecimento, usando magnetômetros de campo total e componente vertical visando localizar zonas anômalas de amianto e cromita, uma vez que estes minerais se encontram associados com a magnetita. Em seguida foi usado o método eletromagnético de "dip angle" com o objetivo de definir zonas condutoras associadas a possíveis depósitos minerais ou características estruturais. Com base na interpretação destes dois métodos, definiu-se os locais de aplicação do método de polarização elétrica induzida-resistividade, que teve caráter de detalhe visando como alvo principal depósitos de sulfetos disseminados.

As possíveis ocorrências minerais na área foram correlacionadas com anomalias geofísicas e confirmadas através de testemunhos de sondagem concluindo-se não serem de importância econômica. Contudo a aplicação destes métodos geofísicos foi útil, pois possibilitou o levantamento detalhado da área, que de outra forma só poderia ser realizado por meio dos métodos mais convencionais, tais como sondagem mecânica através de perfurações, os quais são muito caros e demorados.



## A B S T R A C T

The objective of the present work is the application of geophysical methods for the economical evaluation of Ni, Cr and asbestos occurrences in an area of 6.25 km<sup>2</sup> - Malha 2 - in Sierra Quatipuru 50 km SW of Conceição do Araguaia, in the South of the state of Pará.

Magnetic methods were applied initially for reconnaissance, using total and vertical field magnetometers, in order to locate anomalous zones of asbestos and cromite, associated with magnetite. The electromagnetic method of dip-angle was used to define conductive zonas associated with possible mineral deposits or structural features. Based on the interpretation of the magnetic and electromagnetic data several areas defined for the application of the induced polarization-resistivity method aiming at possible deposits of disseminated sulphides as the main targets.

The possible occurrences of mineral deposits in the area were correlated with the geophysical anomalies and were investigated further by drilling. It was concluded that occurrences do not have economic interest. However, the application of these geophysical methods was successful in the investigation of this problem as they have advantages over the more conventional methods which are expensive and time consuming.

## S U M Á R I O

Pag

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO .....	1
1. TRABALHOS ANTERIORES REALIZADOS NA ÁREA .....	4
1.1. Geologia da Área .....	4
1.2. Prospecção Geoquímica .....	8
2. MÉTODO MAGNÉTICO .....	10
2.1. Introdução .....	10
2.2. Aplicação do Método .....	14
2.3. Trabalho de Laboratório .....	16
2.4. Análise e Interpretação dos Dados .....	16
3. MÉTODO ELETROMAGNÉTICO .....	20
3.1. Introdução .....	20
3.2. Aplicação do Método .....	21
3.3. Análise e Interpretação dos Dados .....	22
4. MÉTODO DE POLARIZAÇÃO ELÉTRICA INDUZIDA-RESISTIVIDADE .....	23
4.1. Introdução .....	23
4.2. Aplicação do Método .....	25
4.3. Análise e Interpretação dos Dados .....	26
5. CONCLUSÕES .....	54
6. BIBLIOGRAFIA .....	56

APÊNDICE I

ANEXOS:

1. Perfis Magnéticos - Intensidade de campo total - Serra de Quatipuru-Pará- Malha 2.
2. Perfis Magnéticos - Intensidade da componente Vertical Serra de Quatipuru-Pará-Malha 2.
3. Mapa de contorno da componente vertical, Serra de Quatipuru-Pará-Malha 2.
4. Interpretação de perfil magnético - Linha 153N - Serra de Quatipuru-Pará-Malha 2.

5. Perfis Eletromagnéticos - Medida do Ângulo de Inclinação ("Dip-Angle")

Arranjo de Transmissor Móvel

Serra de Quatipuru-Pará-Malha 2

6. Mapa Geológico-Geofísico-Serra de Quatipuru-Pará- Ma  
lha 2.

## ÍNDICE DAS FIGURAS

	Pag
Fig. 1 - Mapa de Localização Serra de Quatipuru-Pará	2
Fig. 2 - Mapa Geológico da Serra de Quatipuru-Pará - Malha 2 .....	5
Fig. 3 - Pseudo Seção de IP - Linha 138N - 20E a 26E	27
Fig. 4 - Pseudo Seção de IP - Linha 138N - 32E a 38E	28
Fig. 5 - Pseudo Seção de IP - Linha 140N - 20E a 31E	29
Fig. 6 - Pseudo Seção de IP - Linha 140N - 32E a 38E	30
Fig. 7 - Pseudo Seção de IP - Linha 142N - 20E a 31E	31
Fig. 8 - Pseudo Seção de IP - Linha 142N - 31E a 37E	32
Fig. 9 - Pseudo Seção de IP - Linha 144N - 19E a 30E	33
Fig. 10 - Pseudo Seção de IP - Linha 144N - 32E a 38E	34
Fig. 11 - Pseudo Seção de IP - Linha 146N - 18E a 30E	35
Fig. 12 - Pseudo Seção de IP - Linha 146N - 33E a 38E	36
Fig. 13 - Pseudo Seção de IP - Linha 148N - 21E a 30E	37
Fig. 14 - Pseudo Seção de IP - Linha 148N - 33E a 39E	38
Fig. 15 - Pseudo Seção de IP - Linha 150N - 18E a 26E	39
Fig. 16 - Pseudo Seção de IP - Linha 150N - 30E a 39E	40
Fig. 17 - Pseudo Seção de IP - Linha 152N - 19E a 25E	41
Fig. 18 - Pseudo Seção de IP - Linha 152N - 31E a 38E	42
Fig. 19 - Pseudo Seção de IP - Linha 154N - 16E a 24E	43
Fig. 20 - Pseudo Seção de IP - Linha 154N - 28E a 40E	44
Fig. 21 - Pseudo Seção de IP - Linha 155N - 24E a 33E	45
Fig. 22 - Pseudo Seção de IP - Linha 156N - 19E a 23E	46
Fig. 23 - Pseudo Seção de IP - Linha 157N - 32E a 36E	47
Fig. 24 - Pseudo Seção de IP - Linha 158N - 20E a 34E	48
Fig. 25 - Pseudo Seção de IP - Linha 160N - 21E a 34E	49
Fig. 26 - Pseudo Seção de IP - Linha 162N - 21E a 36E	50
Fig. 27 - Pseudo Seção de IP - Linha 163N - 20E a 30E	51
Fig. 28 - Pseudo Seção de IP - Linha 164N - 19E a 29E	52

## INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho foi a aplicação de métodos geofísicos para a avaliação econômica de ocorrências de níquel, cromo e amianto, na Serra de Quatipuru, que está localizada a cerca de 50 km a SW de Conceição do Araguaia, no sul do Estado do Pará, limitada pelos paralelos  $08^{\circ}24'S$  e  $08^{\circ}45'S$  e pelos meridianos  $49^{\circ}39'W$  de Gr e  $49^{\circ}41'W$  de Gr. (Fig. 1).

Este trabalho se justifica considerando a importância destes bens minerais no desenvolvimento industrial de um país. O cromo, cujo minério é o mineral cromita  $(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)_2O_4$ , é um constituinte importante na indústria do aço para fabricação de motores de veículos, na indústria química como pigmento, curtimento de couro, preservação de madeira, e entra ainda como constituinte em materiais refratários para revestimento de fornos metalúrgicos, vidros e cimentos. O amianto é utilizado na indústria têxtil, como isolante elétrico, térmico e acústico, cimento-amianto, tubulações de água e esgoto. O níquel, cujo principal minério é o mineral pentlandita  $((Fe, Ni)_9S_8)$ , é componente essencial para o aço inoxidável, para a fabricação de ligas (elétricas, magnéticas, de expansão e de alta permeabilidade magnética) e para a construção de equipamentos agrícolas e de transporte.

O Brasil sendo um país em desenvolvimento, necessita de matéria prima para o seu complexo industrial e necessário se faz que seja auto-suficiente nestes materiais. Para tanto precisa ter reservas e conhecer suas jazidas para o aproveitamento máximo do minério.

Estes bens minerais ocorrem na Serra de Quatipuru, denominada pelos geólogos do Projeto RADAMBRASIL de Estrutura Tainacan, a qual tem direção geral N-S, com extensão de 50 km e largura variando de 1 a 3 km (Fig. 1). O acesso a esta área é possível através de avião ou de estrada de rodagem até o Município de Conceição do Araguaia e, a partir desta cidade, de carro pela estrada que liga Conceição do Araguaia à Santana do Araguaia.

A vegetação é de transição entre floresta e cerrado e o clima é quente-úmido, apresentando estação seca, de maio a se

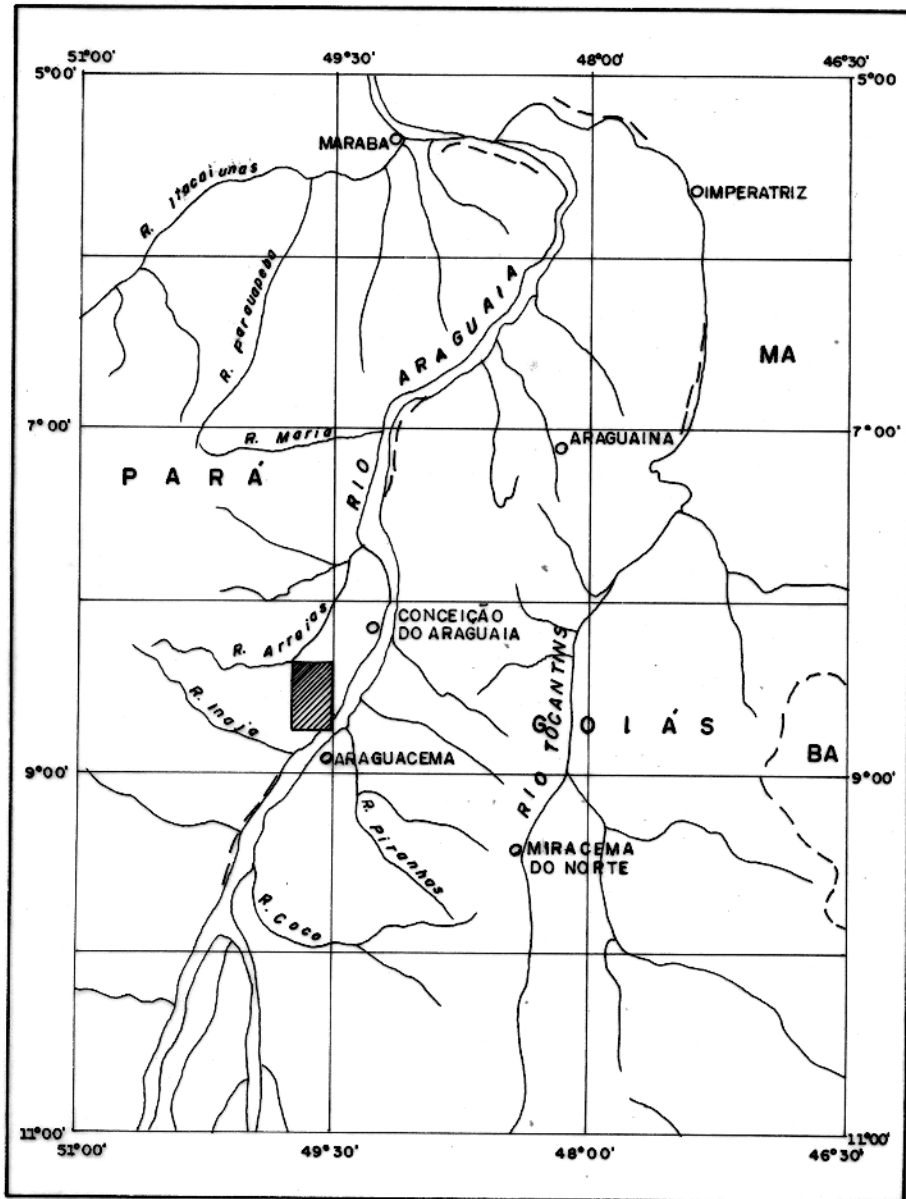


FIG.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA SERRA DE QUATIPURU-PARÁ.

tembro, bem marcante, e estação chuvosa. A área apresenta-se cortada por igarapés, na sua maioria de regime intermitente.

A área apresenta um relevo bastante irregular com desníveis de até 300 m.

O corpo ultramáfico de Quatipuru foi objeto de estudo por parte da Companhia Rio Doce Geologia e Mineração-DOCEGEO, com a realização de mapeamento geológico (Fig. 1), levantamento topográfico e geoquímica de solos, em três áreas menores, previamente selecionadas, denominadas de Malha 1, Malha 2 e Malha 3.

A área pesquisada no presente trabalho, através de prospecção geofísica, foi a Malha 2 que tem aproximadamente 6,25 km<sup>2</sup> (Fig. 2). Inicialmente foi aplicado o método magnético, em caráter de reconhecimento, visando localizar zonas anômalas de amianto e cromita. Esta localização se dá de maneira indireta, devido a associação desses minerais com a magnetita, muito embora a cromita também possa apresentar magnetismo significativo. Em seguida foi usado o método eletromagnético de "dip-angle" com o objetivo de definir zonas condutoras associadas a possíveis depósitos ou características estruturais. Com base na interpretação destes dois métodos, definiu-se os locais de aplicação de um terceiro método, o da polarização elétrica induzida-resistividade, o qual teve um caráter de detalhe visando como alvo principal os depósitos de sulfetos disseminados.

Vale ressaltar que esta pesquisa propiciou ainda uma melhor interação Universidade e Empresa, pois os trabalhos foram desenvolvidos em área de atuação da Companhia Rio Doce Geologia e Mineração-DOCEGEO, a qual forneceu todo o apoio logístico e as facilidades necessárias ao bom desenvolvimento de todas as atividades de campo.

## 1. TRABALHOS ANTERIORES REALIZADOS NA ÁREA

Dos trabalhos de geologia desenvolvidos na área, em caráter de reconhecimento, o mais recente foi feito pelo Projeto RADAM (Silva et alii, 1974), e em caráter de detalhe foram realizados estudos pela Companhia Rio Doce Geologia e Mineração-DOCEGEO, no período de 1972 a 1976 (Cordeiro, 1977).

### 1.1. Geologia da Área

O maciço ultramáfico de Quatipuru (Cordeiro, 1977), denominado Estrutura Taina-Recan pelo Projeto RADAM (Brasil. DNPM, 1974) é constituído de serpentinitos derivados de peridotitos e dunitos, intrudidos concordantemente em filitos, cherts negros e metagrauvacas (Cordeiro, 1977) pertencentes ao Grupo Tocantins de idade Pré-Cambriana Média a Superior (Brasil DNPM, 1974). As rochas ultramáficas apresentam-se cortadas por diques e lentes de rochas básicas (Cordeiro, 1977). (Fig. 2).

Os filitos aflorantes na área, que devido ao baixo grau de metamorfismo estão enquadrados no Grupo Tocantins, são de cor róseo-amarelado, possuem direção geral N-S, no entanto próximo a Serra apresentam variação de  $30^{\circ}$ NE até  $30^{\circ}$ NW, devido a falhamentos. Seus mergulhos variam de  $30^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ SE ou NE. Ocorrem intercalados nos filitos, cherts negros e metagrauvacas.

Os cherts negros apresentam, geralmente, disseminações piritosas e estão cortados por veios de quartzo recristalizado. A cor predominante desta unidade é negra. Acredita-se que os cherts serviram de guia para o posicionamento do maciço de Quatipuru, devido a maior resistência e por ocorrerem no contato inferior e superior do corpo ultramáfico.

As metagrauvacas ocorrem em lentes isoladas, concordantes com os filitos.

As rochas ultramáficas que constituem o maciço podem ser dividida em três unidades principais: serpentinitos, ultramáficas silicificadas e lateritas (Fig. 2).

Os serpentinitos são derivados principalmente de dunitos e também de peridotitos. A massa dominante é constituída de peri



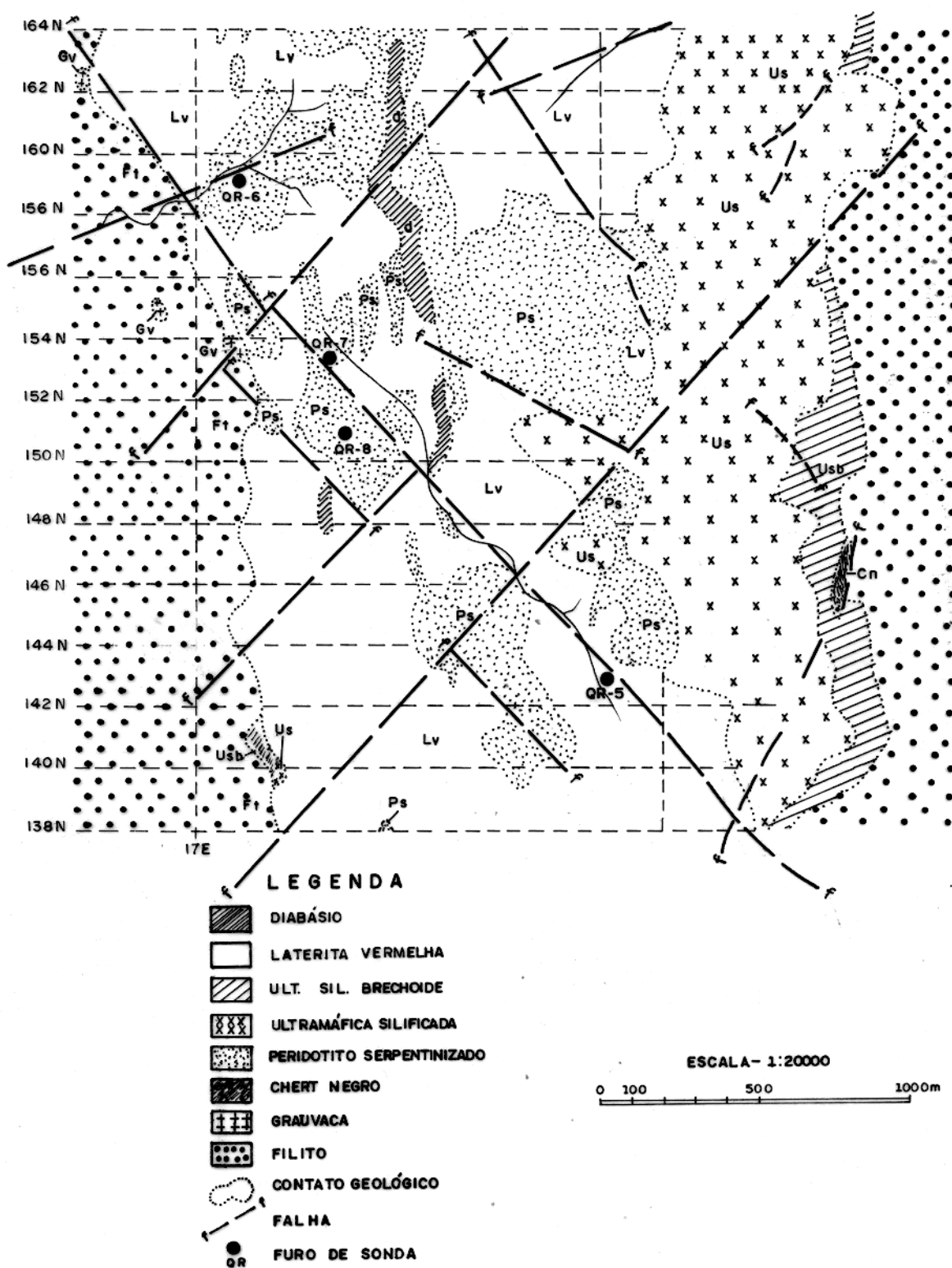


FIG. 2 - MAPA GEOLÓGICO DA SERRA DE QUATIPURU-PARÁ  
MALHA 2

dotito serpentizado, cuja cor varia de verde claro, quando in temperizado, a verde escuro. A antigorita, que constitui de 60 a 75% da rocha se apresenta em massa microcristalina ou em fibras finas. A crisotila ocorre em veios, que as vezes apresentam-se cortados por um sistema de finos veios de crisotila mais recente. O talco e o carbonato ocorrem substituindo a serpentina. A carbonatização pode ocorrer parcial ou intensamente, podendo atingir cerca de 95% da rocha. A magnetita se apresenta como poeira fina, ocorrendo dispersa nas fraturas e clivagens dos cristais de piroxênios; durante a serpentização cristalizou-se associada às fibras de crisotila; pode ocorrer como produto de alteração da cromita e sob a forma de cristais com início de martitização. A cromita ocorre em cristais arredondadas (até 2 mm), alongados ou vermiculares, com fraturas penetradas por serpentina e com alteração a magnetita. Os sulfetos que estão presentes são: pirita, pirrotita, pentlandita e calcopirita. A pirita sob a forma de fina poeira ocorre dispersa na rocha ou ao longo das fraturas; geralmente alterada à limonita. A pirrotita ocorre em cristais informes (0,01 a 1 mm), formando agregados ou disseminada uniformemente na rocha. A pentlandita apresenta os cristais geralmente com alterações periférica; estes cristais podem estar inclusos na magnetita dispersos na rocha ou ainda associado com pirita, pirrotita e magnetita nas fraturas. A pentlandita e pirrotita podem ocorrer intercrescidas (0,01 a 0,15 mm). A calcopirita é muito rara, porém quando ocorre é sob a forma de cristais isolados associados aos demais sulfetos (Cordeiro, 1977).

O dunito serpentizado tem mineralogia semelhante ao peridotito serpentizado, porém a antigorita chega a atingir 95% da rocha.

As rochas ultramáficas silicificadas de origem supergênica e hidrotermal (Cordeiro, 1977) foram divididas, para efeito de mapeamento, em duas unidades: ultramáfica silicificada e ultramáfica silicificada brechóide. A primeira, de aspecto maciço e cores variando de vermelho a marrom claro, ocupa a região central do maciço. O quartzo é microcristalino, podendo ocorrer também em veios recristalizados e saturados de material ferruginoso. O carbonato, na sua maior parte encontra-se lixiviado. A riebeckita é comum, variando de traços a 25%. A cromita ocorre euédrica ou anédrica e quando fraturada se apresenta com alteração à

magnetita, com penetração de quartzo, carbonato e riebeckita. A magnetita ocorre em veios alongados, sub-paralelos. Dentre os sulfetos o principal é a pirita, porém são secundários na rocha. A ultramáfica silicificada brechóide tem como principal característica fragmentos de chert negro dispersos em uma matriz bastante tensionada; ocorre nas proximidades dos contatos inferior e superior do corpo ultramáfico (Cordeiro, 1977).

As lateritas de coloração vermelha ocorrem em superfícies aplainadas em toda a extensão do corpo ultramáfico e encontram-se enriquecida em níquel, este sob a forma de silicato (Garnierita).

As rochas básicas que ocorrem no maciço estão representadas por diques de diabásio e olivina basalto e por lentes e veios de gabros. O diabásio é constituído de 50 a 60% de plagioclásio, que está, geralmente, muito alterado à sericita, epidoto, carbonato, clorita e materiais argilosos; o piroxênio é augita-pigeonita contribuindo em 30 a 35% da rocha; a titanomagnetita está totalmente alterada a leucoxênio e contém lamelas de ilmenita nas clivagens octaédricas; a magnetita encontra-se como intercrescimento mirmequítico com os não opacos; a ilmenita ocorre também sob a forma de cristais longos e aciculares (0,1 a 2,5 mm); a pirita está sempre associada ao leucoxênio, sob a forma de cristais informes e muito alterada a limonita; a calcopirita é raríssima.

Os diques de olivina basalto ocorrem paralelos à direção do serpentinito encaixante e são constituídos de um agregado de fenocristais de olivina, piroxênio e plagioclásio envolvidos por uma matriz microcristalina de plagioclásio, ilmenita e piroxênio. Esta matriz envolve ainda magnetita, microcristais de plagioclásio e cristais de piroxênio.

Os gabros que ocorrem no maciço são inexpressivos, constituídos de pequenas lentes e finos veios dentro da massa serpentínica. Sua composição varia de gabro à clino e ortopiroxênio (hyperito) à gabro rico em olivina (troctolito).

As rochas ultramáficas de Quatipuru constituem uma intrusão tectônica, alojada concordantemente nos filitos, cherts negros e metagrauvas do Grupo Tocantins.

A serpentinização foi possível devido a percolação de soluções hidrotermais através do fraturamento intenso provocado por falhamentos locais. Este evento propiciou a formação de magnetita secundária e uma disseminação de sulfetos, principalmente de Fe e Ni-Cu. Posteriormente nova alteração hidrotermal ocorreu com a passagem do serpentinito para talco e carbonato, com recristalização de magnetita. A silicificação ocorrida no maciço é de origem hidrotermal e supergênica (Cordeiro, 1977).

Os falhamentos regionais que cortam o maciço de Quatipuru são sub-verticais de direções variando de NE a NW, sendo o sistema 30°NE o de maior expressão.

## 1.2. Prospecção Geoquímica

Nos trabalhos de geoquímica de solos realizados pela DOCEGEO, as amostras de solos foram coletadas a cada 100 m ao longo de linhas de direção E-W espaçadas de 2 km nos filitos e ultramáficas silicificadas e nas superfícies aplainadas em malha 100x100 m. A fração granulométrica analisada pelo método de absorção atômica para Cu, Ni, Co e Cr, foi a de 80 mesh. Os dados foram estudados estatisticamente, sendo os resultados para Cu:

TABELA 1: Valores de Cu encontrados em análise por absorção atômica de amostras de solos do corpo ultramáfico de Quatipuru.

	"background" (ppm)	"threshold" (ppm)
filito	17	33
ultramáfica silicificada	17	65
superfície aplainadas	45	185

Do estudo de amostras de poços das lateritas níquelíferas de Malha 2, Osvaldo Sá (1977), concluiu-se que os melhores métodos para análise deste tipo de material são fluorescência de Raio X e absorção atômica. Observou-se uma correlação posi

va entre Fe, Zn e Cr, bem como para o Co e Mn. O Ni não apresentu correlação positiva com os demais elementos e sua concentração ocorre nos níveis inferiores da laterita, próximo ao topo do peridotito alterado.

## 2. MÉTODO MAGNÉTICO

### 2.1. Introdução

A Terra possui um campo magnético cuja origem está relacionada a fenômenos magnetohidrodinâmicos que se passam no núcleo. Sabe-se que o campo geomagnético resulta da superposição de campos magnéticos da forma dipolar, originados no centro da Terra (primeiros harmônicos esféricos da solução da equação de Laplace), com um campo "não dipolar" que pode ser representado por uma distribuição de dipolos na superfície do núcleo da Terra e ainda com contribuições de campo produzidos por rochas magnetizadas na crosta (harmônicos de alta ordem que representam as anomalias de interesse para a prospecção geofísica). O campo geomagnético tem ainda contribuições externas dadas pelas flutuações transientes, que são devidas principalmente a efeitos solares que perturbam a ionosfera (Jacobs, 1971). Em primeira aproximação, pode-se considerar que o campo magnético da Terra é semelhante ao de um dipolo magnético localizado no centro da Terra, fazendo um ângulo de  $11,5^\circ$  com o eixo de rotação. A intensidade total do campo geomagnético é máxima próximo dos polos magnéticos:  $>0.6$  Tesla (T) próximo do polo norte e  $>0.7$  T próximo do polo sul. O seu valor mínimo é aproximadamente  $0.25$  T próximo do Trópico de Capricórnio a oeste da costa da América do Sul (Jacobs, 1971).

O campo geomagnético  $F$  tem sua representação vetorial caracterizada pelos seguintes elementos magnéticos: componente vertical  $\vec{F}_z$ , componente horizontal  $\vec{F}_h$ , ângulo de inclinação com a horizontal denominado inclinação magnética  $I$  e ângulo formado pela componente horizontal e o norte geográfico denominado declinação magnética  $D$ .  $\vec{F}$ ,  $\vec{F}_z$ ,  $\vec{F}_h$  e  $I$  estão em um mesmo plano vertical. A intensidade do campo é dada por  $F = (F_z^2 + F_h^2)^{1/2}$  e o valor da inclinação é  $I = \arctg(F_z/F_h)$ .

A componente horizontal é sempre positiva. A componente vertical é positiva quando aponta para baixo, ou seja em latitudes magnéticas norte, e é negativa quando aponta para cima, ou seja, em latitudes magnéticas sul.

O método magnético de prospecção geofísica utiliza como

fonte o campo geomagnético e seu objetivo é determinar distorções deste campo. produzidos por contraste de magnetização entre os diferentes tipos de rochas.

As anomalias magnéticas de interesse para prospecção mineral são causadas por dois tipos de magnetização: induzida ( $I_i$ ) e remanente ( $I_r$ ). A magnetização induzida é obtida fazendo-se atuar um campo magnético sobre o material, de modo que a magnetização deste material é diretamente proporcional à intensidade do campo aplicado e à capacidade de magnetização do material, chamada suscetibilidade magnética ( $k$ ). A magnetização induzida é igual ao produto da suscetibilidade magnética volumétrica pelo campo aplicado ( $F$ ), expresso pela seguinte equação:

$$I_i = k F$$

Para a maioria dos materiais,  $k$  é muito menor do que 1 (um). Se  $k$  é negativo, o material é dito diamagnético e quando  $k$  é positivo o material pode ser paramagnético, ferromagnético, ferrimagnético ou antiferromagnético (Strangway, 1971). O magnetismo das rochas é controlado pela quantidade de minerais ferrimagnéticos (Grant and West, 1965). Dentre os minerais ferrimagnéticos temos os óxidos e sulfetos como responsáveis pelo magnetismo das rochas uma vez que os silicatos, mais abundantes nas rochas, são diamagnéticos ou paramagnéticos. Dentre os óxidos temos como mais importantes a magnetita, titanomagnetita, maghemita, titanomaghemita, ilmenita. Destes óxidos o mais importante é a magnetita devido sua maior distribuição nas rochas. Entre os sulfetos o mais importante contribuinte do magnetismo das rochas é a pirrotita. A suscetibilidade magnética decresce das rochas ígneas mais básicas para as mais ácidas até as sedimentares.

A magnetização remanente ( $I_r$ ) é frequentemente a magnetização predominante em muitas rochas ígneas. Este tipo de magnetização depende do passado magnético, térmico, químico e mecânico e independe da intensidade do campo atual no local de medida. Sua direção pode ser ou não a do campo geomagnético atual, pois as rochas podem ter sido reorientadas ou terem ocorrido mudanças no campo geomagnético, o que tem sido comum ao longo do tempo.

Dentre os tipos de magnetização remanente que mais nos

interessam temos: magnetização termoremanente (TRM), magnetização remanente isotérmica (IRM), magnetização remanente química (CRM) (Irving, 1964).

A TRM é aquela adquirida quando o material é resfriado desde uma temperatura acima do ponto de Curie até a temperatura ambiente, em presença de um campo magnético. Este tipo é bastante importante quando se estuda com rochas ígneas e metamórficas.

A IRM é adquirida durante processos que se desenvolvem sob temperatura constantes, que em muitos casos pode ser bastante forte e a causa desta magnetização serem descargas elétricas atmosféricas, relâmpagos (Nagata, s.d.).

A CRM é adquirida quando de mudanças químicas ou físico-químicas que ocorrem em temperaturas abaixo do ponto de Curie (Irving, 1964).

A TRM e CRM podem decair com o tempo, sendo este processo chamado demagnetização viscosa ou decaimento viscoso. Os efeitos viscosos são devidos a agitação térmica (Irving, 1964).

Quando a CRM é adquirida pode ocorrer das partículas possuírem multi-domínios então esta magnetização é de baixa estabilidade (Irving, 1964). Temos que em rochas ultramáficas que sofreram processo de serpentinização a magnetização remanente é principalmente química (Saad, 1969) e que tanto a magnetização remanente como a induzida aumentam exponencialmente com a serpentinização. No entanto a magnetização remanente torna-se altamente instável quando a rocha encontra-se intensamente serpentinizada. Isto ocorre devido o crescimento de grãos de magnetita com multi-domínios e sua oxidação, em alguns casos, para maghemita (Saad, 1969). Dunitos serpentinizados apresentam-se menos magnéticos do que peridotitos igualmente serpentinizados, porque a olivina dos dunitos apresenta menor conteúdo de ferro do que a olivina e piroxênio dos peridotitos (Saad, 1969).

O campo geomagnético apresenta variações no tempo, que dependendo de sua periodicidade podem ser lentas ou rápidas. As variações seculares são do tipo lenta e acredita-se que sejam proveniente da mudança no campo "não dipolar" gerando uma mudança na intensidade do dipolo do núcleo. Como variações rápidas temos as variações anuais e diurnas, causadas por fontes externas. Ocorrem ainda as chamadas tempestades magnéticas, devidas a fenô



menos solares e descargas na atmosfera. Os dias em que ocorrem tais tempestades são ditos perturbados, nos quais não deve ser efetuada coleta de dados magnéticos, e os dias em que as mesmas não ocorrem, são ditos dias calmos. Dentre os tipos de variações a mais importante para prospecção é a variação diurna, que é a variação que o campo geomagnético sofre ao longo de 24 horas e necessário se torna que seja feito um registro desta variação todos os dias durante os trabalhos magnetométricos para que se possa efetuar correções.

Este registro, quando não se dispõe de equipamento com registro contínuo, é feito estabelecendo uma estação base em que as leituras são repetidas a intervalos de tempo convenientemente escolhidos, sendo então os dados colocados em gráfico, valor do campo geomagnético versus hora local, de maneira que, do valor medido em um determinado ponto em uma certa hora é adicionado ou subtraído o quanto variou o campo geomagnético em relação ao valor normal deste campo no local.

Os equipamentos utilizados para medir o campo geomagnético ou um dos seus elementos, chamam-se magnetômetros e dentre os tipos de magnetômetros portáteis os mais usados atualmente são: "fluxgate" e precessão de protons. Os magnetômetros portáteis do tipo "fluxgate" utilizam um núcleo de ferro saturado e quando utilizados em levantamentos terrestres são destinados a medir componente vertical do campo geomagnético, embora que em princípio se poderia medir qualquer componente. Os magnetômetros do tipo precessão de protons baseiam-se no princípio de que os protons funcionam como um pequeno imã e giram em torno de um campo magnético; utiliza-se então uma garrafa contendo água ou querosene que é exposta a um campo magnético artificial muito maior do que o campo geomagnético e que ao ser removido o momento magnético dos protons voltam a sua posição inicial, girando em torno do campo magnético terrestre.

Os dados obtidos podem ser apresentados sob a forma de perfis ou de mapas de contorno, apresentando os valores do elemento magnético medido, através dos quais se efetua a interpretação qualitativa e/ou quantitativa.

As anomalias magnéticas variam muito em forma e amplitude; apresentam-se quase sempre assimétricas, algumas vezes pare

cem ser complexas mesmo quando provenientes de fontes simples, e geralmente são resultantes do efeito combinado de várias fontes. A complexidade das anomalias se deve ao fato de resultarem de uma superposição de efeitos diferentes, mas mesmo assim é possível que tais anomalias possam ser representadas por variações do comportamento dipolar. Tendo-se então um conhecimento destes diferentes efeitos e associando-se com dados geológicos, pode-se obter uma interpretação qualitativa satisfatória (Breiner, 1973).

## 2.2. Aplicação do Método

Ao longo da pesquisa desenvolvida com o método magnético na área Malha 2 da Serra de Quatipuru - sul do Pará, foi utilizado o magnetômetro "fluxgate" M-700, construído pela McPhar Geophysics Limited, para medida da componente vertical (absoluta) do campo magnético. Todas as medidas obtidas foram referenciadas a estações bases, nas quais as leituras eram repetidas a intervalos nunca superiores a três (3) horas, isto devido a disponibilidade de um único equipamento "fluxgate". Devido a extensão da área foram tomadas quatro (4) estações bases a cada mudança de base eram feitas cinco (5) leituras.

Utilizou-se ainda o magnetômetro de precessão de prótons GP-70, construído também pela McPhar Geophysics Limited, que mede a intensidade de campo total absoluta. Uma das limitações deste equipamento é a não estabilidade das leituras quando em presença de fortes gradientes. Na área em estudo, devido a grande quantidade de afloramentos e magnetita no solo, observa-se forte gradiente, e para tentar diminuir ou eliminar tal efeito elevou-se o sensor até cerca de três (3) a quatro (4) metros de altura, mas ainda assim em alguns pontos não se obteve medidas estáveis.

As medidas da componente vertical e do valor total do campo geomagnético foram obtidas ao longo de 26 linhas de direção este-oeste espaçadas de cem (100) metros e intervalos de vinte e cinco (25) metros, para um total de 69,7 km de linha. Estas medidas apresentadas sob a forma de perfis (Anexos 1 e 2) cujo o valor de referência da intensidade de campo total é 26.200  $\gamma$  (valor do campo magnético sobre a rocha regional-filito) e da componente vertical é 600  $\gamma$  (valor apresentado acima do filito).

O mapa de curvas de contorno (Anexo 3) da intensidade da componente vertical foi construído com os valores absolutos.

Veremos agora as unidades utilizadas para as grandezas intensidade de campo magnético (H), densidade de fluxo magnético (B) e suscetibilidade magnética volumétrica (k) nos sistemas Gaussiano e Internacional (SI) e suas equivalências.

	Gaussiano	SI
H	1 oersted	$(10^3/4\pi)$ A/m
B	1 gauss	$10^{-4}$ tesla
k	$4\pi$ gauss/oersted	$4\pi$ (adimensional)

O que se mede com os magnetômetros é densidade de fluxo magnético (B) cuja unidade no sistema gaussiano é dimensionalmente equivalente a intensidade de campo magnético (H), uma vez que a permeabilidade magnética ( $\mu$ ) do ar é igual a unidade.

Em prospecção mede-se variações da ordem de  $10^{-4}$  do campo geomagnético, que é de cerca de 0,5 oersted, então uma nova unidade é introduzida: o gamma ( $\gamma$ ).

$$1 \gamma = 10^{-5} \text{ oersted} = 10^{-5} \text{ Gauss}$$

$$1 \gamma = 10^{-9} \text{ nanoTesla} = 1 \text{ Tesla}$$

A suscetibilidade magnética volumétrica cuja unidade usada é emuCGS (unidade eletromagnética CGS) tem a seguinte relação:

$$1 \text{ emuCGS} = 4\pi \text{ gauss/oersted} = 4\pi \text{ (adimensional SI)}$$

As medidas magnéticas, devido a topografia, apresentam contribuição não apenas devido as rochas de subsuperfície mas também devido a afloramentos laterais. Pelo fato de ocorrer dos níveis topográficos, várias linhas localizam-se em encostas de morros, então o sensor do magnetômetro recebe contribuição das rochas de subsuperfície e das rochas que constituem o morro.

Ao realizarmos medidas estamos sujeitas a sensibilidade do instrumento. No caso do magnetômetro de protons a variação é de  $\pm 2 \gamma$ . Para o "fluxgate" utilizando a escala 1 k com fundo de escala 1000  $\gamma$ , o menor valor medido é de  $\pm 20\gamma$ .

### 2.3. Trabalho de Laboratório

Foram realizadas medidas de intensidade de suscetibilidade magnética em algumas amostras. O equipamento utilizado foi suscetibilímetro BISON 3101A, cedido pela CPRM. As amostras de rochas foram cortadas em forma aproximadamente cilíndrica, com diâmetro em torno de 3 cm e comprimento variando entre 6 e 8cm.

TABELA 2: Valor de suscetibilidade magnética de amostras da Serra de Quatipuru.

Tipo de Material	k emuCGS
Peridotito serpentizado	$3.925 \times 10^{-6}$
Peridotito serpentizado	$1.281 \times 10^{-6}$
Peridotito serpentizado	$4.450 \times 10^{-6}$
Peridotito serpentizado alterado	$3.548 \times 10^{-6}$
Peridotito serpentizado com veios de magnetita	$7.118 \times 10^{-6}$
Cromita (pele de onça)	$1.080 \times 10^{-6}$

Os resultados obtidos estão dentro do intervalo de medidas encontrado na bibliografia existente.

### 2.4. Análise e Interpretação dos Dados

A interpretação qualitativa dos dados de magnetometria da área Malha 2 Serra de Quatipuru foi realizada a partir dos perfis da intensidade de campo total (Anexo 1) e da componente vertical (Anexo 2) e do mapa de contorno da componente vertical (Anexo 3). Como as medidas foram obtidas a cada vinte e cinco (25) metros ao longo de linhas espaçadas de cem (100) metros ficaram eliminadas as anomalias devido a corpos de dimensões infe

riores a vinte e cinco (25) metros.

Ao compararmos os perfis e mapa de contornos (Anexos 1 a 3) com o mapa geológico (Fig. 2) caracterizamos uma faixa anômala, constituindo aproximadamente o centro da área, correspondente a região de serpentinitos e lateritas. A região suave corresponde à oeste e mais a leste a filito e na porção intermediária à leste à ultramáfica silicificada e ultramáfica brechóide. Nos perfis (Anexos 1 e 2) foram traçados os contatos entre filito-serpentinitos/laterita e serpentinitos/laterita-ultramáfica silicificada. Os valores de campo total que caracterizam os filitos, ultramáfica silicificada e ultramáfica silicificada brechóide são da ordem de 26.200  $\gamma$ ; e os valores da intensidade da componente vertical que caracterizam estes tipos de rochas é da ordem de 600 $\gamma$ .

As anomalias devido ao serpentinitos tem sua explicação devido ao fato que durante o processo de serpentinição ocorre a liberação do ferro da estrutura dos silicatos paramagnéticos olivinas e piroxênios, que é oxidado e constitui a magnetita que é ferrimagnética. Esta magnetita formada também está presente no solo laterítico, estando solta sob a forma de oolitos e psolitos, sem uma orientação segundo o campo geomagnético de maneira que a resposta magnética sobre as lateritas é bastante irregular, além de que a contribuição maior é devido a superfície.

As variações bastante irregulares dos dados magnéticos sugere que os corpos que estão produzindo as anomalias tem uma contribuição muito grande de porções superficiais.

O dique de diabásio que ocorre desde a linha 150 N até 163 N com largura da ordem de cem (100) metros, encontra-se definido através dos dados magnéticos, conforme pode observar-se no mapa de contorno (Anexo 3) através de valores  $<400 \gamma$  atingindo ainda valores  $<-400 \gamma$ .

A grande maioria das falhas mapeadas pela geologia responderam ao método magnético, conforme se observa nos perfis (Anexos 1 e 2) onde estão traçados estes falhamentos. Observou-se que os falhamentos que atingem a ultramáfica silicificada e ultramáfica silicificada brechóide pouca expressão tem nos dados dos magnéticos.

Dentre os vários perfis de componente vertical, esco

lheu-se a linha 153 N para interpretação semi-quantitativa (Anexo 4). Utilizou-se o programa MAGT2D (Apêndice I) modificado por William A. Sauck, que apresenta algumas restrições: máximo de 99 corpos, 500 pontos para descrever os corpos, 1000 pontos para perfil computado, prospecção terrestre não pode ser modelada a menos que o terreno seja horizontal ou uniformemente inclinado.

A escolha da linha 153 N deveu-se ao fato deste perfil cortar todo o corpo ultramáfico, contendo, à oeste e a leste, informação sobre o filito encaixante. Utilizou-se os dados de componente vertical porque as medidas são mais estáveis do que as de campo total.

O perfil observado contém 105 pontos, enquanto o perfil calculado possui 90 pontos, isto porque 15 medidas excluídas do perfil calculado são representativas da rocha encaixante.

Inicialmente se estudou o perfil, seccionando-o em três porções e adotando-se corpos geométricos de acordo com informações da geologia de superfície e descrições dos furos de sonda. Ao seccionarmos o perfil o modelo em primeira aproximação definiu-se como sendo 4 grandes corpos (corpo 1, 2, 3 e 4 - Anexo 4). A partir deste ponto se começou o trabalho de caracterizar as diferenciações dentro do corpo nº 2, que resultou na subdivisão deste corpo em 7 blocos (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f e 2g), dos quais 3 blocos (2b, 2d, 2f) apresentam altas suscetibilidades magnéticas.

O bloco 2b dista 30 m, na direção N-S do furo de sonda QR-7, que no intervalo de 12,6 a 27,9 m de profundidade, apresenta magnetita sob a forma de microveis e massas de até 1 cm, justificando-se assim a alta suscetibilidade magnética característica deste bloco. O bloco 2f apresenta suscetibilidade magnética mais alta do que o bloco 2b, acredita-se que uma maior concentração de magnetita ocorra nesta porção do corpo.

O bloco 2d, como pode se observar no Anexo , apresenta sua superfície superior bastante irregular. Esta variação na geometria tentou substituir a cobertura laterítica, bastante rica em magnetita, que ocorre na região. Este procedimento também foi adotado para o corpo 3.

O corpo 1 está representando o filito encaixante. A geo

logia nos informa que o contato filito-corpo ultramáfico mergulha para leste, no entanto o modelo adotado indica um mergulho para oeste. Acredita-se que este contato possa ter sido modificado pelo falhamento que ocorre nas vizinhanças, embora não se tenha maiores informações a respeito dos falhamento, mapeados a través de fotografias aéreas.

O corpo 2 representa o peridotito serpentizado, que não foi afetado pelo processo de silicificação.

O corpo 3 corresponde a ultramáfica silicificada, não abrangendo no entanto, toda a sua extensão. Tal falta, acredita-se seja devido a uma maior concentração de magnetita na porção oeste desta unidade.

O corpo 4 corresponde a porção leste da ultramáfica silicificada, ultramáfica silicificada brechóide e filito encaixante.

O perfil calculado apresenta a mesma forma do perfil observado, embora não ocorra ajuste quanto a intensidade. Temos a ressaltar que foi feita uma variação em  $\pm 20\%$  no valor das suscetibilidades magnéticas tentando-se um melhor ajuste, mas a variação nos valores calculados foi bastante reduzida. Consideramos o ajuste obtido satisfatório, pois está de acordo com a geologia da área, caso procurássemos modificar o modelo para obter total coincidência de valores, correríamos o risco de criar um modelo fora da realidade. Precisa-se levar em conta que assumiu-se: a) que a superfície do terreno é plano, o que o perfil geológico (Anexo 4) demonstra o contrário; b) não foi avaliada a influência da topografia nos dados observados; c) que a magnetização é induzida; d) substituição da laterita por variações na geometria do corpo. Por todos estes fatores não seria razoável procurar um melhor ajuste.

### 3. MÉTODO ELETROMAGNÉTICO

#### 3.1. Introdução

Campos eletromagnéticos alternados gerados primariamente na superfície da terra, ao se propagarem em presença de um meio condutor em subsuperfície, induzem campos secundários. Estes campos secundários se opõem ao campo indutor, e se encontram defasados em relação ao campo primário, bem como apresentam direção não coincidente com a do campo indutor. A intensidade do campo secundário é função, entre outros fatores, da condutividade elétrica do condutor e da frequência do campo primário. A defasagem existente entre campo primário e secundário implica em que o campo resultante se apresente elipticamente polarizado.

Medidas do campo resultante da interação do campo primário indutor com o campo secundário induzido, permitem a localização da projeção vertical dos "eixos elétricos" em subsuperfície, desde que sejam conhecidas as características do campo indutor.

Os parâmetros que em geral são medidos em levantamentos eletromagnéticos são os ângulos de inclinação do eixo maior da elipse de polarização, com a horizontal ou com a vertical (método "tilt" ou "dip angle") ou ainda relações entre componentes em fase e quadratura dos campos resultante e primário (Ward, 1971).

Um condutor finito em presença de um campo eletromagnético, se comporta como um dipolo induzido, com direção paralela ao campo indutor, sendo seu centro coincidente com um ponto do "eixo elétrico" do condutor. O campo magnético gerado pelo dipolo induzido, apresentará componente vertical positiva de um lado, e negativa do outro lado do "eixo elétrico" e um valor zero no ponto correspondente a projeção vertical do "eixo elétrico" na superfície.

Obtendo-se medidas dos ângulos de inclinação, os pontos de mudança de sinal, denominados "crossovers", são as expressões dos pontos dos "eixos dos condutores", sendo importantes no mapeamento dos condutores. Estes condutores podem ser corpos



com mineralizações maciças, veios de sulfetos disseminados, corpos intrusivos de rochas básicas e ultrabásicas, zonas de contato, zonas de cisalhamento, falhas e fraturas.

Os "crossovers" podem ser verdadeiros ou falsos. Os "crossovers" verdadeiros se caracterizam por valores positivos dos ângulos à direita do condutor, estando o condutor inclinado ou não. Os "crossovers" falsos se caracterizam por apresentarem valores dos ângulos de inclinação negativos à esquerda e positivos à direita do condutor. Ocorrem sempre entre dois "crossovers" verdadeiros. Podem se originar também por efeito de mergulho do condutor, quando o condutor é bastante largo (Ward, 1971).

### 3.2. Aplicação do Método

O instrumento utilizado no presente trabalho constitui-se de uma unidade transmissora construída no Laboratório de Desenvolvimento de Instrumentação do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará, modelo EM-NE-01TX cuja potência de saída é 60 watt e frequência de operação 1000 e 5000 Hz, sendo a antena um "loop" de um (1) metro de diâmetro. O receptor utilizado foi o do equipamento eletromagnético SS-15 construído pela McPhar Geophysics Limited.

O arranjo utilizado foi "broad-side", em que tanto o transmissor como o receptor são móveis. O levantamento foi realizado ao longo da linha este-oeste espaçadas de cem (100) metros e as medidas ao longo destas linhas distanciadas de cinquenta (50) metros. O transmissor localizava-se sempre ao norte do receptor mantendo constante a distância entre transmissor-receptor de cem (100) metros.

A convenção de sinal adotada foi de que quando o receptor girasse no sentido anti-horário o ângulo de inclinação é positivo e no sentido horário é negativo, estando o receptor em frente ao transmissor e este a norte do receptor.

Os valores dos ângulos de inclinação foram assumidos como o valor no local onde estava o receptor e estão apresentados sob a forma de perfis (Anexo 4).

A topografia da área possibilitou erro nas medidas dos

ângulos de inclinação, uma vez que nem sempre transmissor e receptor encontravam-se num plano horizontal.

A sensibilidade do receptor eletromagnético é de  $\pm 10^\circ$ .

Utilizou-se bússola para orientação entre transmissor e receptor; no entanto erro de orientação deve ser levado em consideração.

### 3.3. Análise e Interpretação dos Dados

As medidas do ângulo de inclinação são apresentadas na forma de perfis (Anexo 5). Os ângulos de inclinação variaram de  $+30^\circ$  a  $-25^\circ$  para frequência alta e de  $+19^\circ$  a  $-15^\circ$  para frequência baixa.

A profundidade de investigação é de aproximadamente cinquenta (50) metros, que é estimada como sendo metade da distância entre transmissor e receptor, que no nosso caso foi constante e de cem (100) metros.

Os condutores foram definidos pela linha que une os "crossovers" verdadeiros. Os "crossovers" são interpretados como a projeção dos eixos elétricos. Foram definidos como condutores os pontos em que houvesse "crossover" para as frequências alta e baixa. No entanto em função da continuidade dos condutores algumas linhas não apresentam "crossover" para as duas frequências.

Apenas o falhamento 1 respondeu a método eletromagnético.

O conjunto de condutores nº 9 a 15 ao leste da área parece estar associado ao contato serpentinito/laterita-ultramáfica silicificada.

Os condutores em sua maioria são devido a presença de minerais condutores, magnetita e pirita principalmente.

#### 4. MÉTODO DE POLARIZAÇÃO ELÉTRICA INDUZIDA-RESISTIVIDADE

##### 4.1. Introdução

A condução elétrica nas rochas tem sua maior contribuição dada pelas soluções eletrolíticas que percolam as rochas, através de seus poros, fissuras e fraturas.

A polarização induzida se dá na interface mineral metálico-eletrólito, uma vez que nesta interface ocorre uma mudança no tipo de transporte da corrente elétrica, de eletrônica para iônica, chamada de polarização de eletrodo (Madden e Cantwell, 1967).

Um outro tipo de polarização, chamada polarização de membrana, ocorre na interface mineral de argila-eletrólito, pois se forma uma membrana devido os minerais de argila que tem suas superfícies com um deficit de carga positiva, propiciam um acúmulo de íons positivos, impedindo a mobilidade dos íons negativos (Madden e Cantwell, 1967).

Os minerais para apresentarem efeito de polarização induzida não necessariamente devem ser metálicos, mas devem apresentar condução eletrônica. Assim sendo alguns óxidos e sulfetos semi-condutores também mostram este fenômeno. Tem-se abaixo uma relação de minerais comuns que apresentam até um certo grau condução eletrônica.

TABELA 2: Minerais comuns que apresentam condução eletrônica (Madden e Cantwell, 1967).

ÓXIDOS	SULFETOS	ELEMENTOS NATIVOS
magnetita pirolusita cassiterita	pirita pirrotita marcassita galena calcopirita molibdenita pentandita cobaltita argentita bornita calcocita enargita	grafita cobre nativo

A maioria dos minerais que apresentam o fenômeno de polarização elétrica induzida são de importância econômica, no entanto dois minerais, pirita e grafita, que fornecem fortes contribuições a este fenômeno, normalmente não são de interesse econômico. Este fato merece destaque uma vez que a pirita é o mineral metálico de maior distribuição nas rochas e a grafita é um mineral comum em área de rochas metamórficas.

É difícil se estabelecer uma relação direta entre o efeito de polarização induzida e o conteúdo de minerais metálicos, porque diversos fenômenos, tais como, acoplamento eletromagnético, cobertura condutora, presença de minerais de argila, topografia, mascaram a resposta. No entanto este método é bastante efetivo para determinação de depósitos disseminados de minerais metálicos.

A observação do efeito de polarização induzida é possível através do decaimento da tensão, após a passagem da corrente no subsolo ou pela diminuição da impedância elétrica com o aumento da frequência. Consequentemente a polarização induzida pode ser medida de duas maneiras:

1. aplicando-se corrente elétrica no subsolo durante um certo tempo, ao se desligar esta corrente, a tensão não cai a zero imediatamente, devido a redistribuição dos íons, então a tensão residual proveniente deste efeito transiente é medida após um período de tempo determinado. Esta medida é dita no domínio do tempo (Madden e Cantwell, 1967).
2. a impedância elétrica dos materiais varia com a frequência empregada, quanto maior a frequência, menor a impedância elétrica. Mede-se então a percentagem do efeito de frequência (PFE), que é o aumento da impedância elétrica quando medido em uma frequência mais alta e em uma frequência mais baixa. Esta medida é descrita no domínio das frequências (Madden e Cantwell, 1967).

$$PFE = \frac{\rho_{dc} - \rho_{ac}}{\rho_{ac}} \times 10^2 \quad (\%)$$

$\rho_{dc}$  - resistividade na frequência mais baixa

$\rho_{ac}$  - resistividade na frequência mais alta

A faixa de frequência utilizada é de 0,1 a 10 Hz, não sendo possível o uso de frequência mais altas para evitar o acoplamento eletromagnético.

A equivalência matemática do domínio do tempo e da frequência é feita pela transformada de Fourier.

É possível se obter uma medida da quantidade de condutividade envolvida na polarização induzida, chamada "metal factor (MFa)".

$$MFa = \frac{PFE}{\rho_{dc}} \times 2\pi \times 10^3 \text{ (mho/pé)}$$

A energia elétrica que atravessa uma rocha pode ser armazenada de duas maneiras: primeiro como energia elétrica, sendo então a polarização induzida produto de propriedade dielétrica, no entanto sua magnitude não é da ordem das medidas obtidas no campo, logo um segundo mecanismo se acha envolvido, que é o armazenamento como energia química, que ocorre devido a mobilidade dos íons dentro da rocha variar de ponto para ponto, ocorrendo um deficit ou excesso de certos íons nas interfaces onde ocorrem diferentes mobilidades.

#### 4.2. Aplicação do Método

O equipamento utilizado durante o desenvolvimento desta pesquisa foi o modelo 650 construído pela McPhar Geophysics Limited. que permite observações no domínio das frequências. As medidas obtidas são de percentagem do efeito de frequência (PFE) nas frequências 0,3125 (dc nas fórmulas acima) e 5 Hz (ac nas fórmulas acima), e resistividade aparente ( $\rho_a$ ), medida na frequência 0,3125 Hz. Com estes dois valores, calcula-se o "metal factor" (MFa).

As medidas foram obtidas utilizando-se o arranjo dipolo-dipolo, que emprega dois eletrodos para injeção de corrente e dois eletrodos para as medidas de PFE e  $\rho_a$ , sendo o espaçamento entre os eletrodos de 60 metros. Para cada posição do dipolo

de corrente são efetuadas medidas em quatro posições, que distam 60, 120, 180 e 240 metros dos eletrodos de corrente. Este procedimento permite a investigação em profundidades cada vez maiores.

Os locais de medida da polarização induzida foram selecionada a partir da interpretação dos dados eletromagnéticos.

A apresentação dos dados é sob forma de contornos em um plano vertical, chamado pseudo-seção, segundo a configuração geométrica desenvolvida por Hallof (1957) (Figs. 3 a 28).

As medidas de resistividade aparente são afetadas pelo efeito de topografia. Hallof (1970) através de modelos e Rijo, Fox e Hohmann (1978) através de elementos finitos demonstraram que apenas variando a topografia do terreno teríamos anomalias de resistividade aparente. Para o caso de elevação temos um aumento da resistividade aparente imediatamente abaixo do ponto máximo da elevação e valores baixo de resistividade aparente nas laterais para arranjo dipolo-dipolo. Para situação de vales temos o inverso, uma parte central com baixa resistividade aparente ladeada por valores altos de resistividade aparente. O efeito de topografia diminui a resistividade aparente em até 50% e aumenta em até 400% (Rijo, Fox, Hohmann, 1978).

O "metal factor" terá reflexos do efeito de topografia uma vez que é obtido pela relação entre PFE, que não sofre efeito de topografia, e a resistividade aparente.

A sensibilidade na medida do PFE é de  $\pm 0,5\%$  e da resistividade aparente é  $0,25\%$ .

A localização dos eletrodos possui erro em função da variação de topografia.

#### 4.3. Análise e Interpretação dos Dados

O método de polarização elétrica induzida-resistividade (IP) foi utilizado em caráter de detalhe a partir dos condutores determinados pelo método eletromagnético. Este método foi aplicado em linhas alternadas (138 N, 140 N, etc...) uma vez que os condutores são bastante extensos. As linhas 155 N e 157 N não obedeceram este critério para se detalhar melhor o



SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

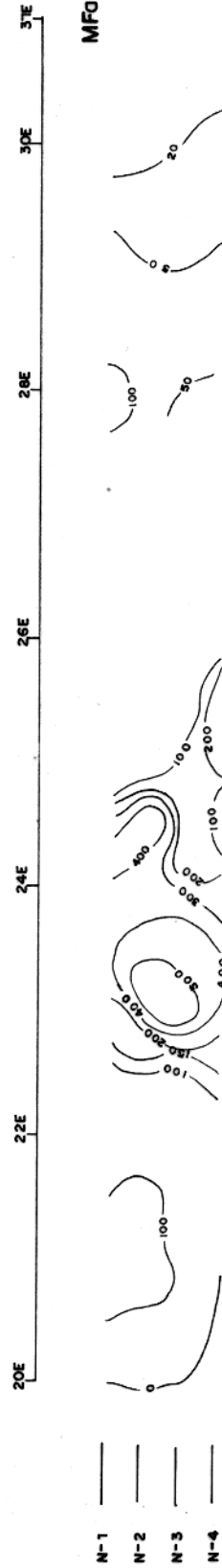
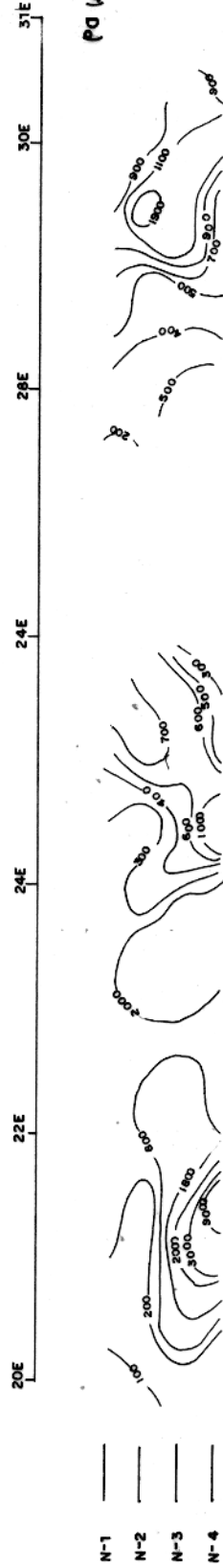
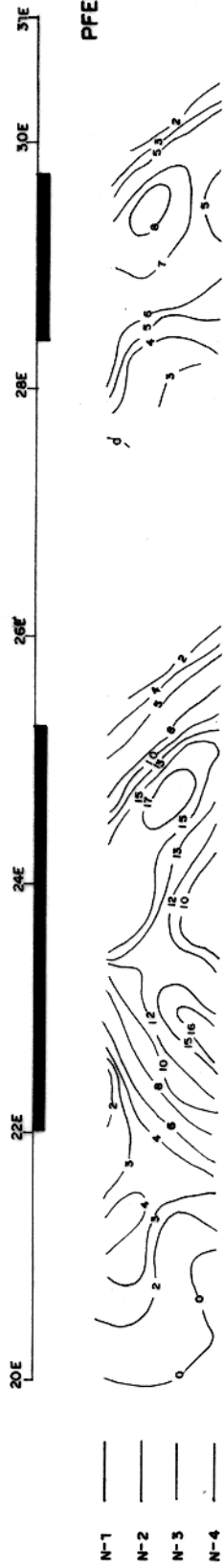


FIG. 3 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 138N - 20E A 26E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
 MALHA - 2  
 ARRANJO DIPOLO - DIPOLO  
 L = 60 m

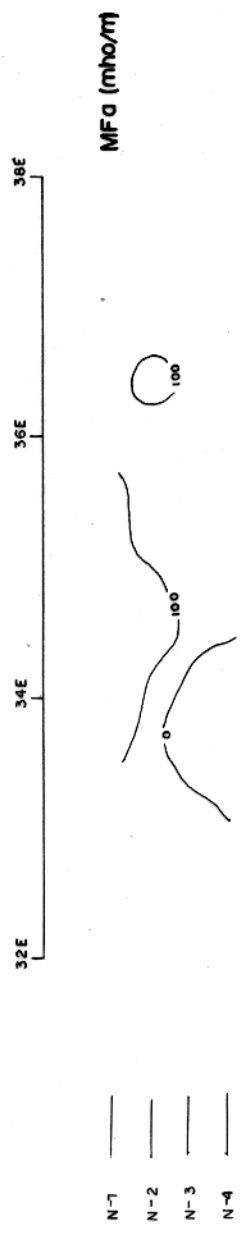
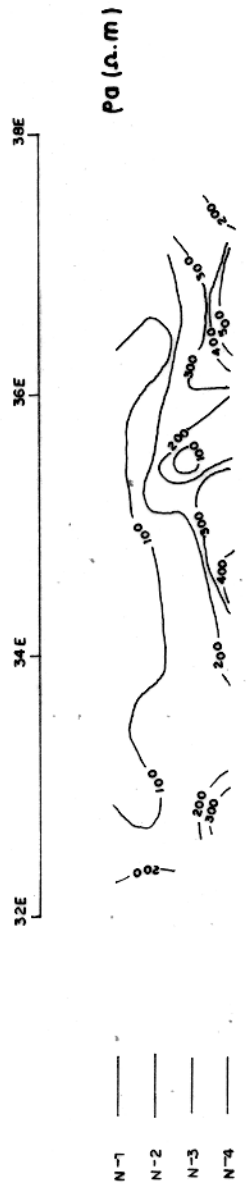
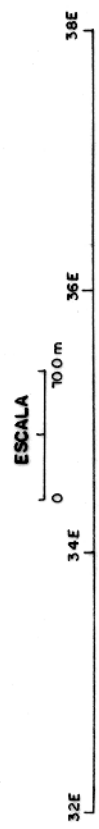


FIG. 4 - P SEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 138N - 32E A 38E.



SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO - DIPOLO  
L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

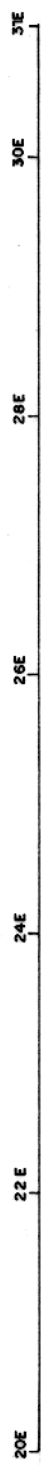
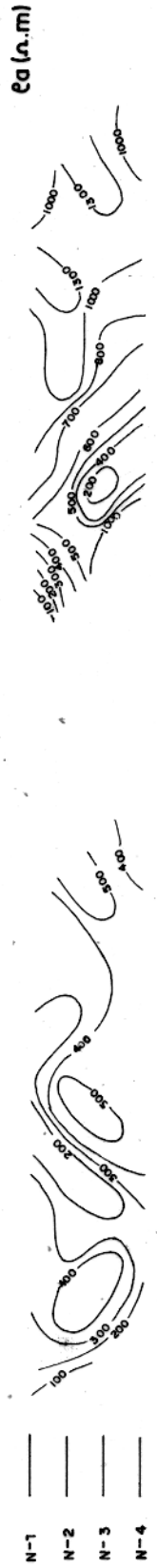


FIG. 5 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 140N - 20E A 31E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

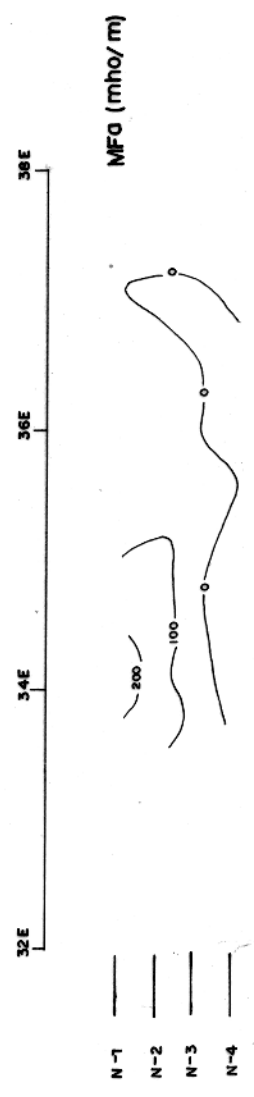
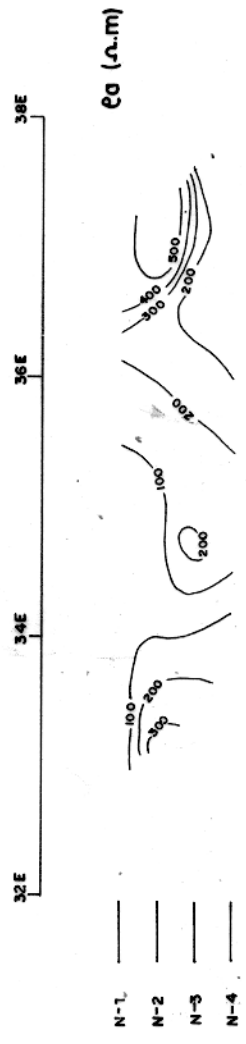


FIG. 6 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 140N - 32E A 38E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

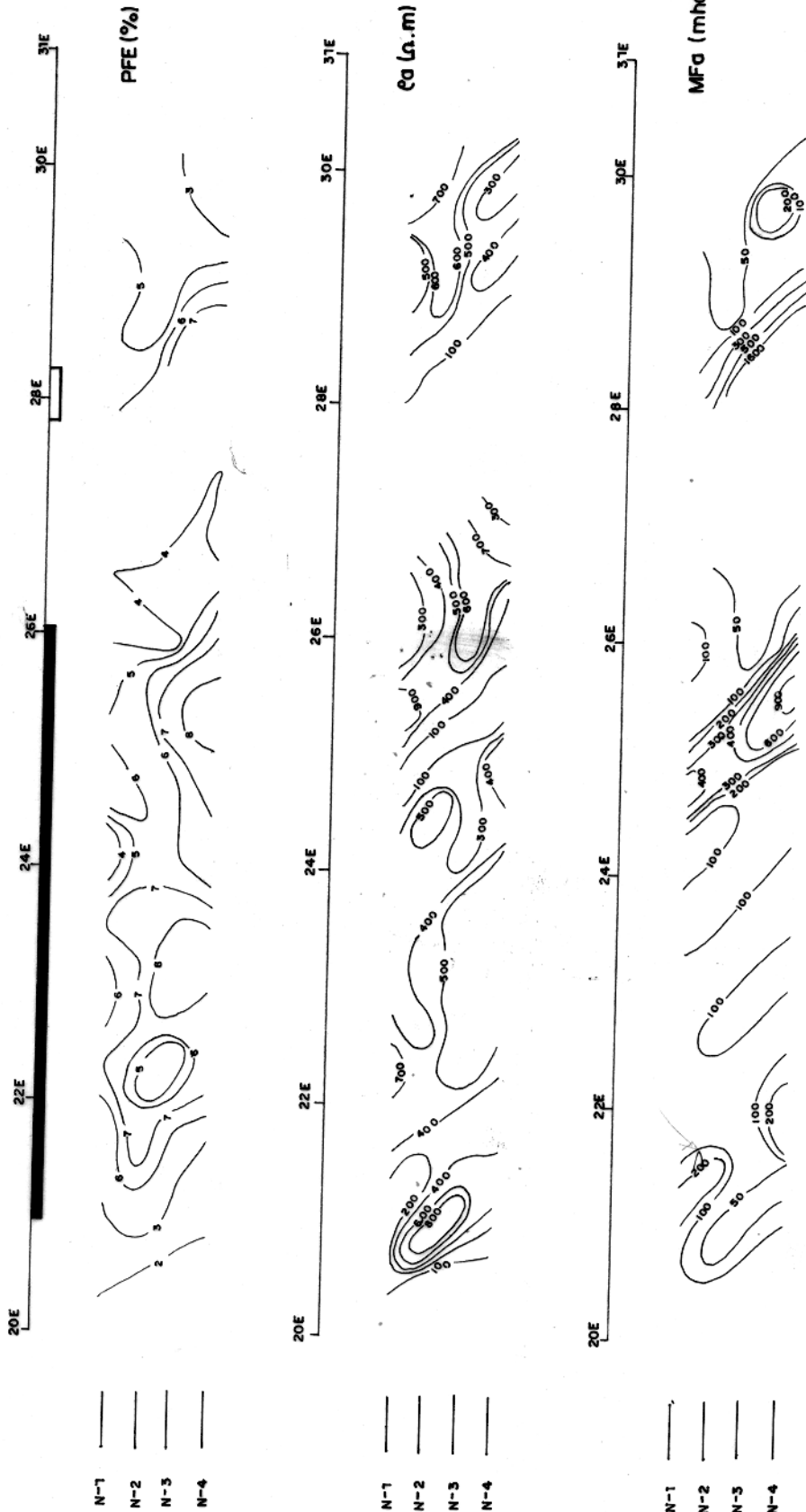


FIG. 7 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 142N - 20E A 31E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

31E 33E 35E 37E

N-1  
N-2  
N-3  
N-4

PFE (%)



31E 33E 35E 37E

N-1  
N-2  
N-3  
N-4

$\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ )



31E 33E 35E 37E

N-1  
N-2  
N-3  
N-4

MFA (mho/m)

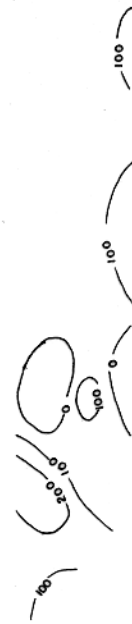


FIG. 8 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 142N - 31E A 37E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

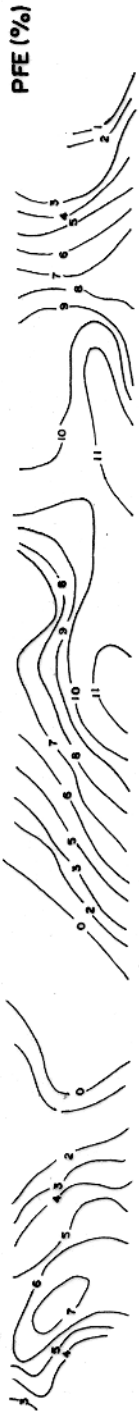
L = 60m

ESCALA 0 100m

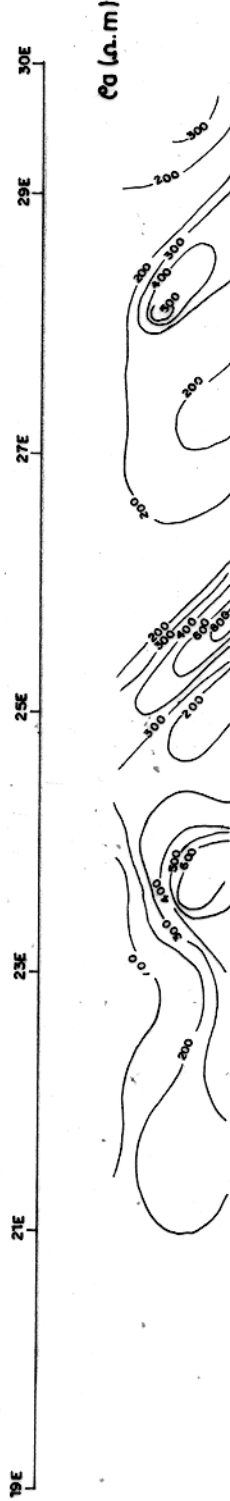
ZONA ANÔMALA



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

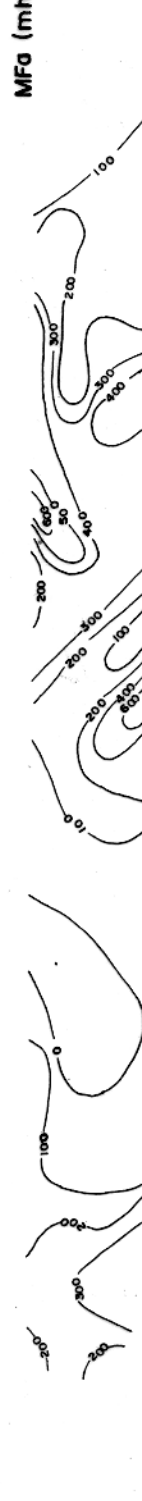


FIG. 9 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 144N - 19E A 30E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100m

ZONA ANÔMALA

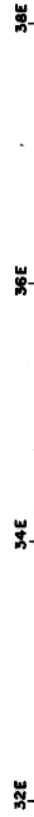


PFE (%)



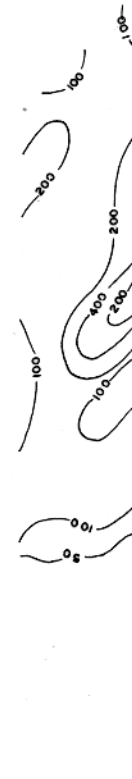
N-1  
N-2  
N-3  
N-4

$\epsilon_0$  (n.m)



N-1  
N-2  
N-3  
N-4

MFa (mho/m)



N-1  
N-2  
N-3  
N-4

FIG.10- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 144N - 32E A 38E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

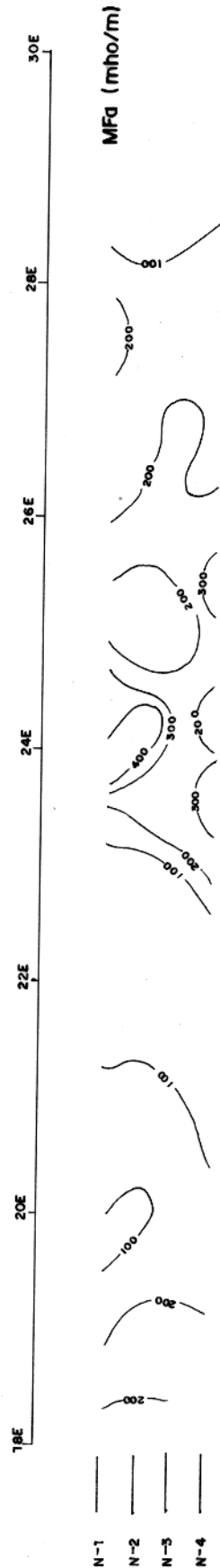
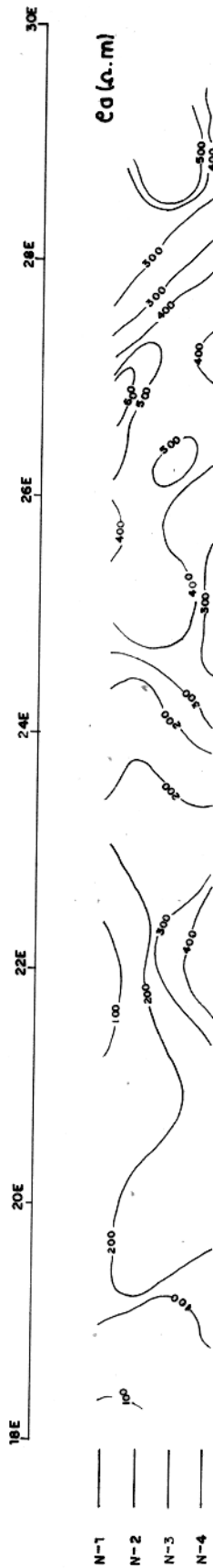
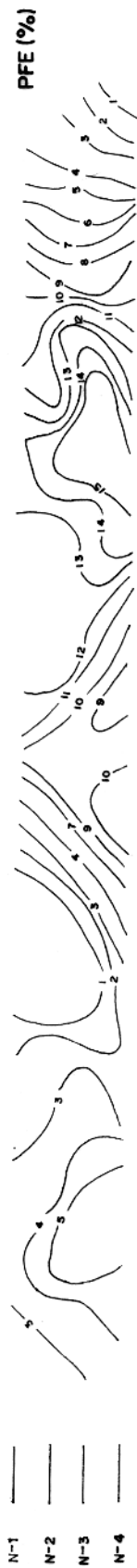
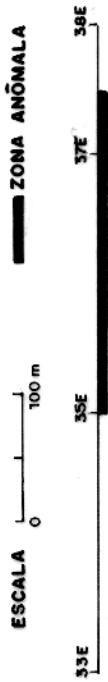


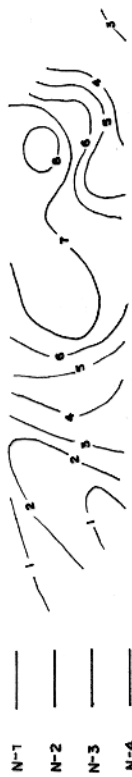
FIG. 11 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 146N - 18E A 30E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

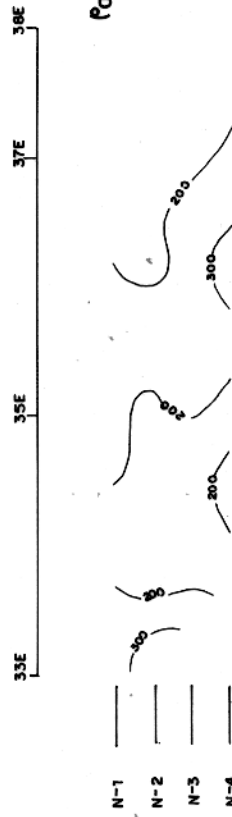
L = 60m



PFE (%)



$\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ )



MFA (mho/m)

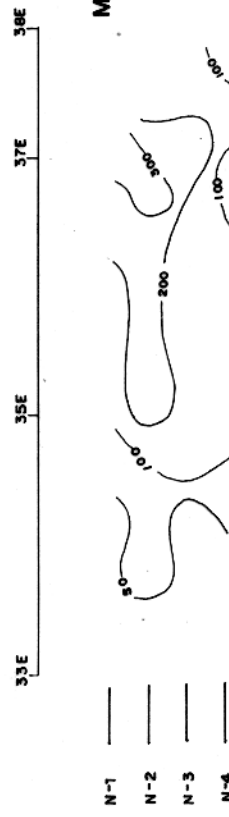


FIG.12 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 146N - 33E A 38E.



SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

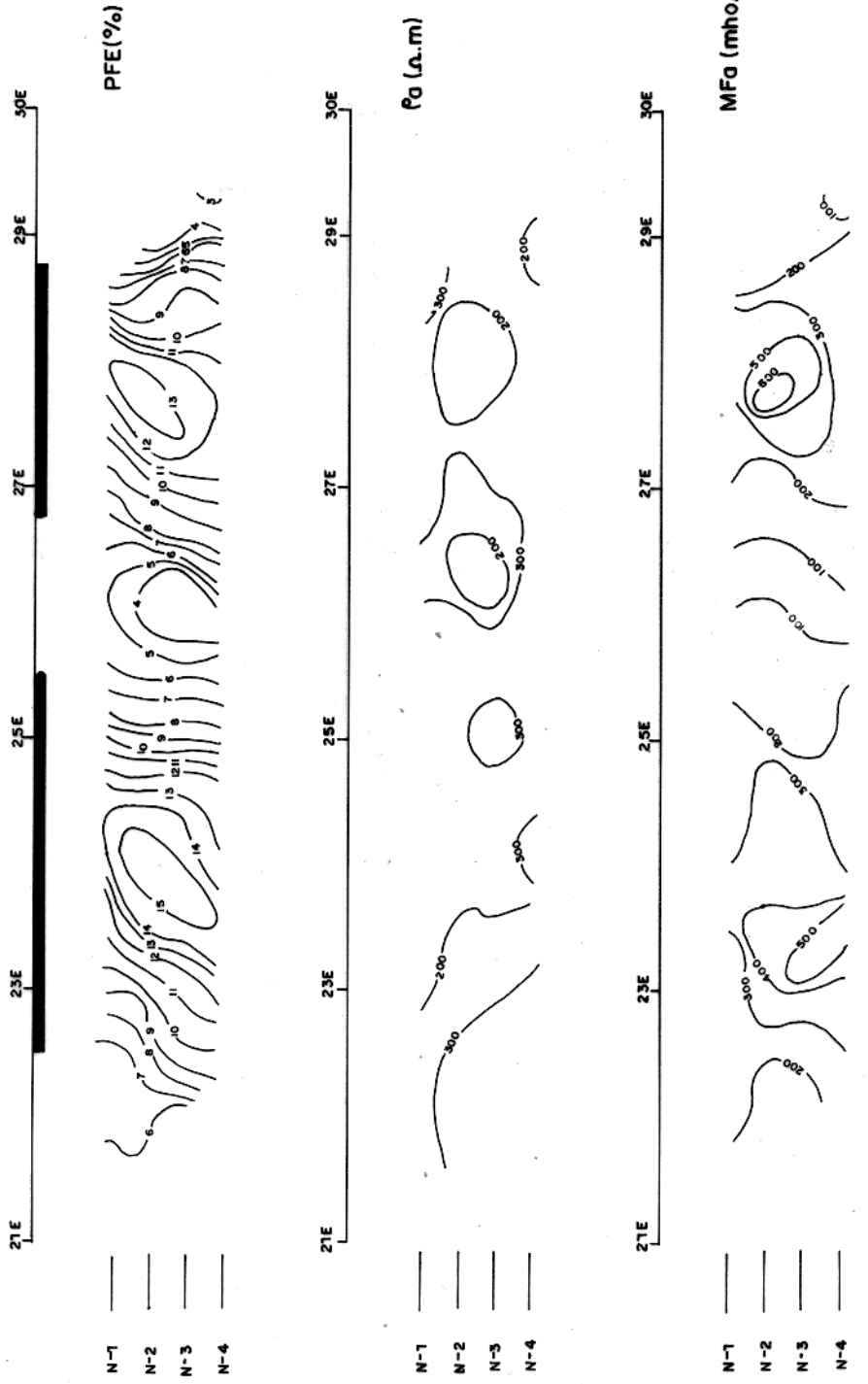


FIG. 13 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 148N - 21E A 30E.

# SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

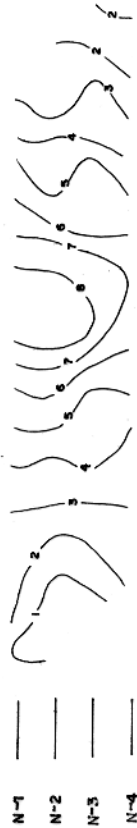
ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m **ZONA ANÔMALA**



PFE (%)



$\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ )



MFA (mho/m)

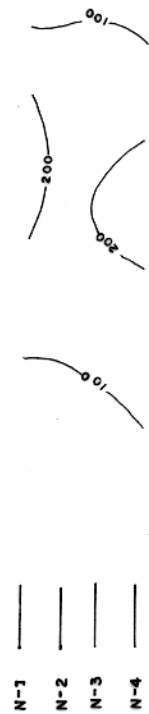


FIG. 14 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 148N - 33E A 39E.

# SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100m

ZONA ANÔMALA

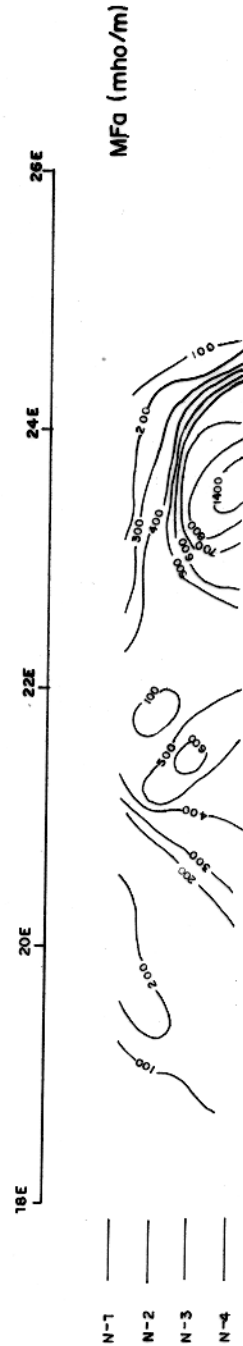
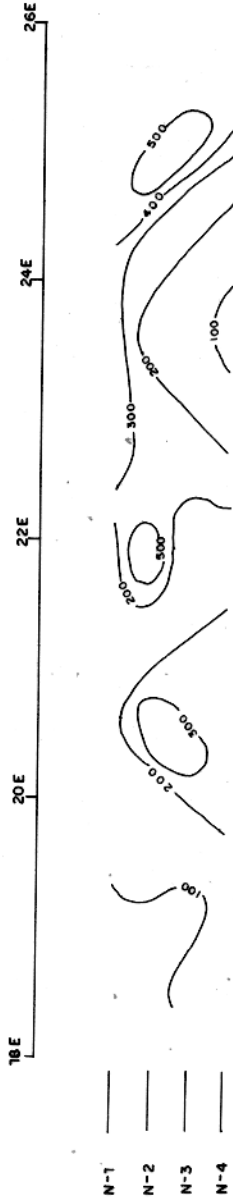
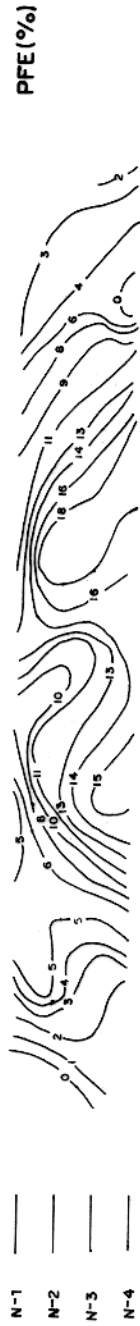
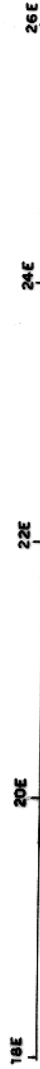


FIG.15 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 150N - 18E A 26E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100m

ZONA ANÔMALA

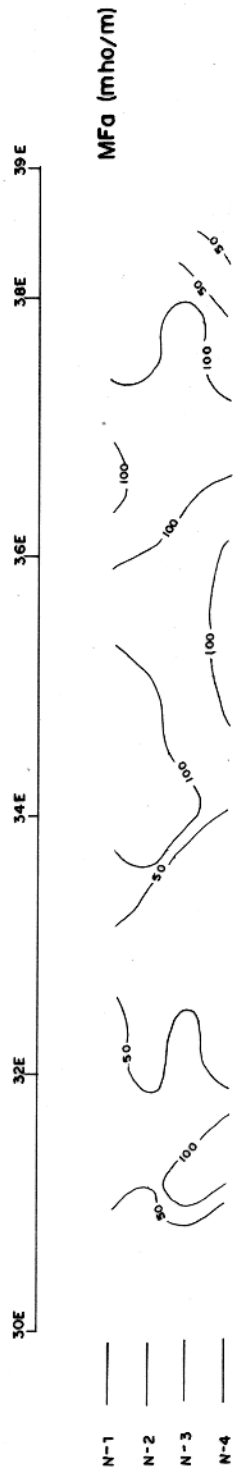
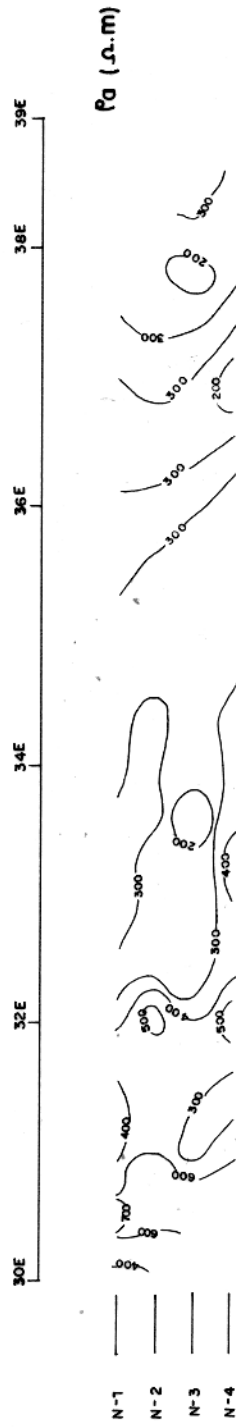


FIG.16- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 150N - 30E A 39E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

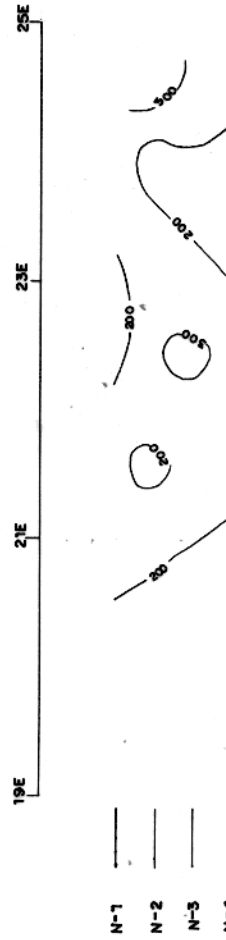
ZONA ANÔMALA



PFE (%)



$\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ )



MFa (mho/m)

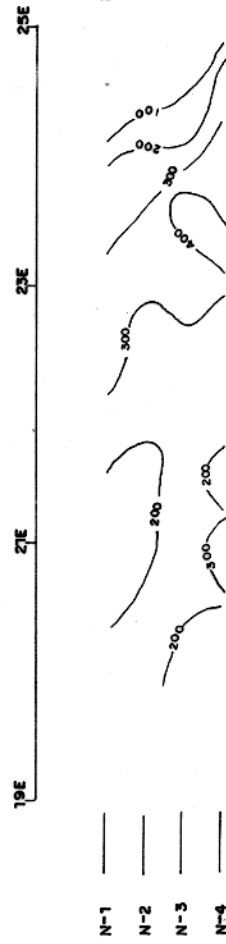


FIG.17 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 152N - 19E A 25E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

L = 60 m

ZONA ANOMALA

ESCALA 0 100 m



PFE(%)



N-1  
N-2  
N-3  
N-4

$\rho_0$  ( $\Omega \cdot m$ )



N-1  
N-2  
N-3  
N-4

MFO (mho/m)



N-1  
N-2  
N-3  
N-4

FIG.18 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 152N - 31E A 39E.

# SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

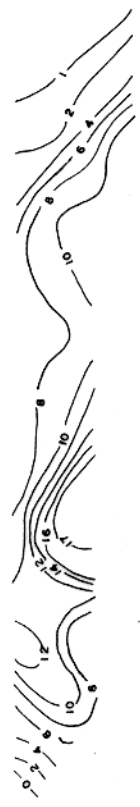
L = 60 m

ESCALA 0 100m

ZONA ANÔMALA

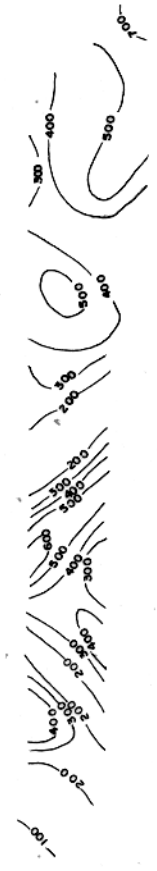
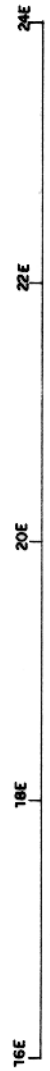


PFE(%)



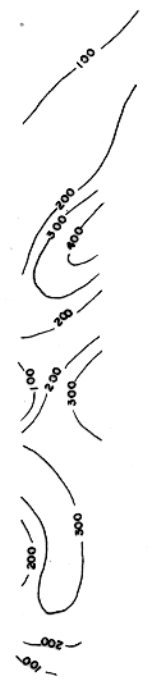
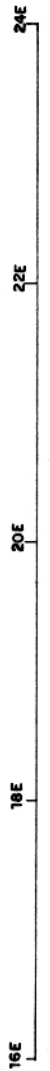
- N-1
- N-2
- N-3
- N-5

f(a.m)



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

MFa(mho/m)



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

FIG.19- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 154N - 16E A 24E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

L = 60 m

■ ZONA ANÔMALA

ESCALA 0 100 m

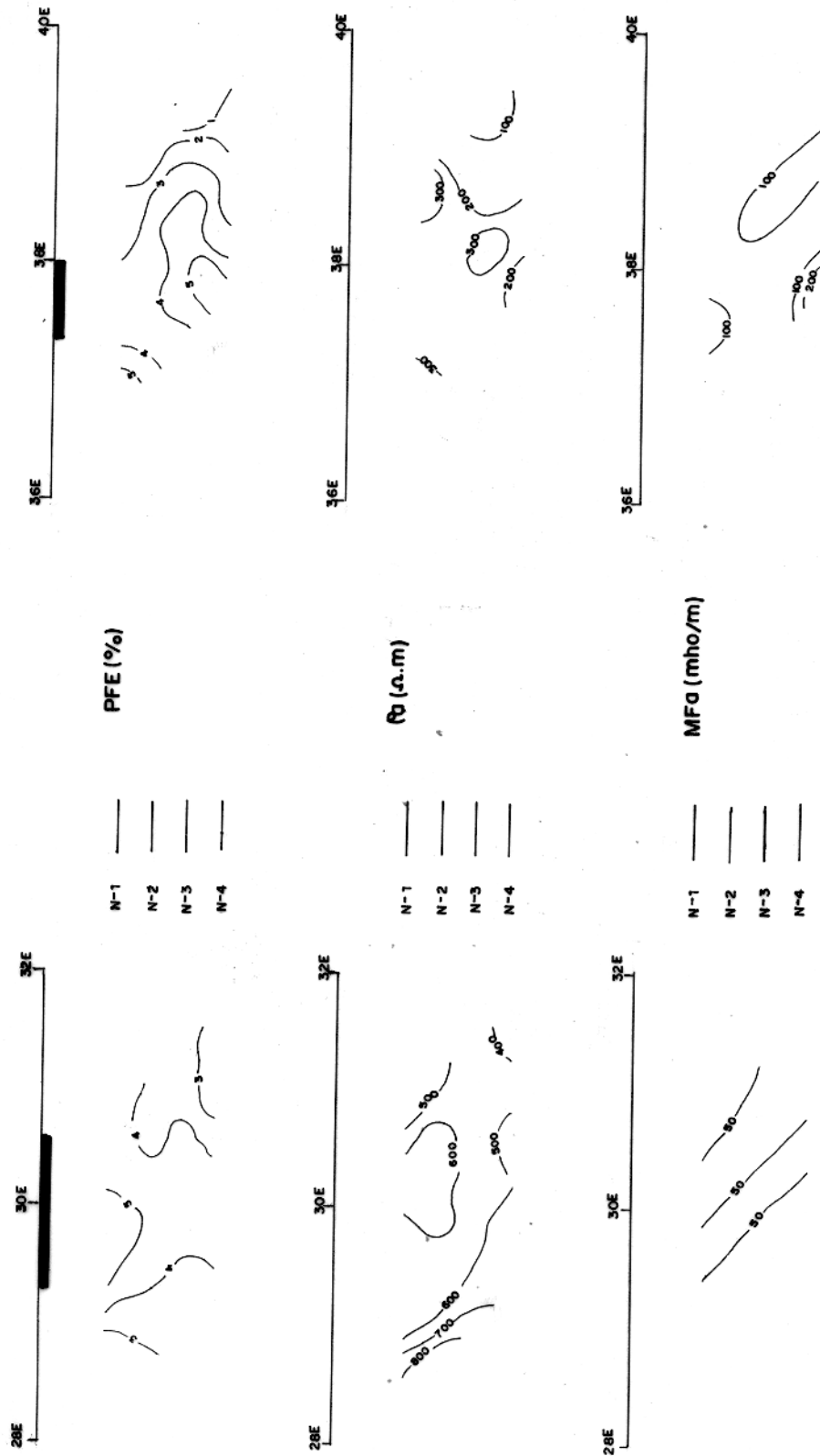


FIG. 20 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 154N - 28E A 40E.



SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

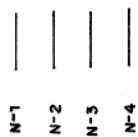
L = 60 m

ESCALA 0 100 m

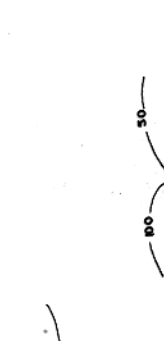
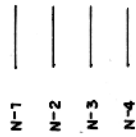
ZONA ANÔMALA



PFE (%)



$\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ )



MFa (mho/m)

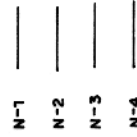


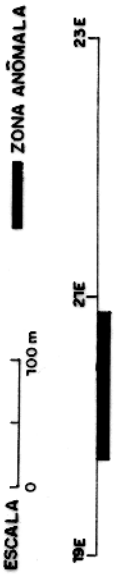
FIG.21 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 155N - 24E A 33E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

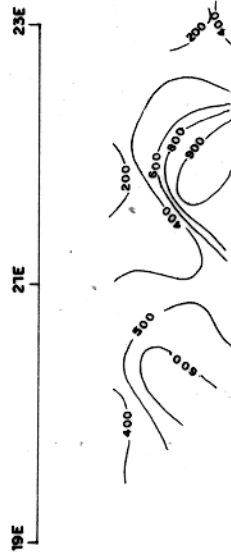


PFE (%)



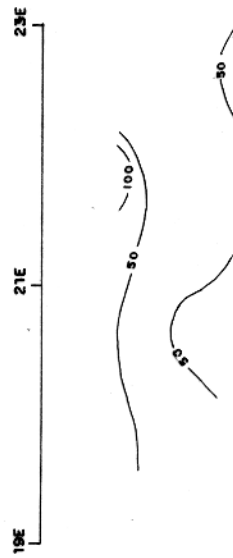
- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

$\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ )



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

MFA (mho/m)



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

FIG.22- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 156N - 19E A 23E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

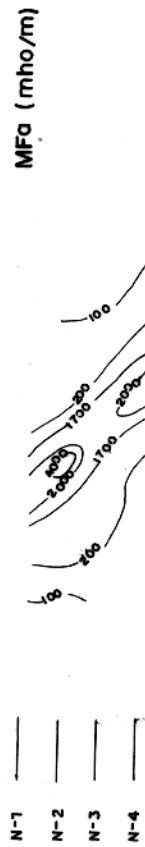
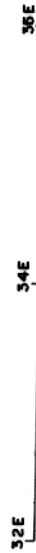
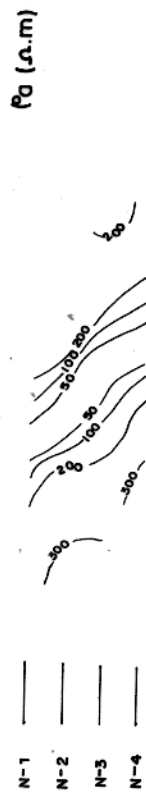
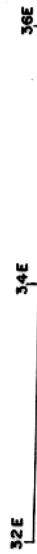
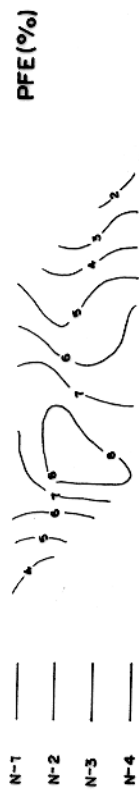
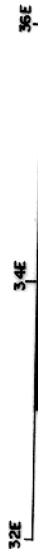


FIG.23- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 157N - 32E A 36E

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

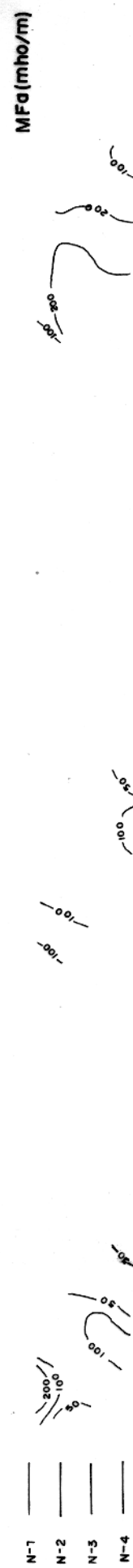
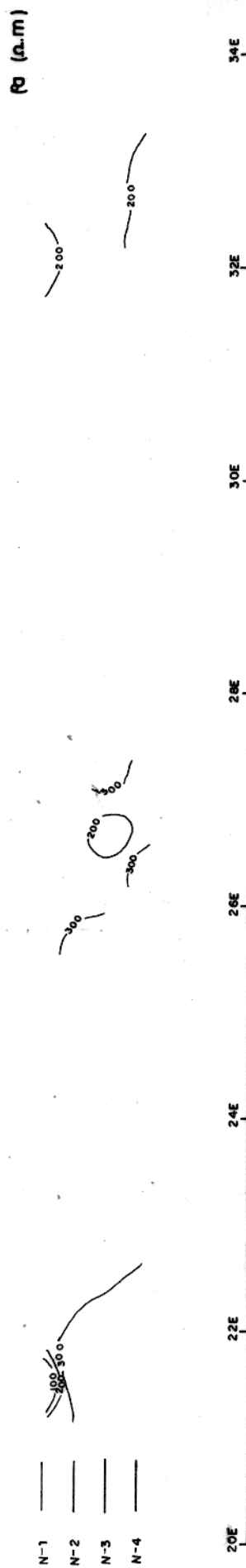
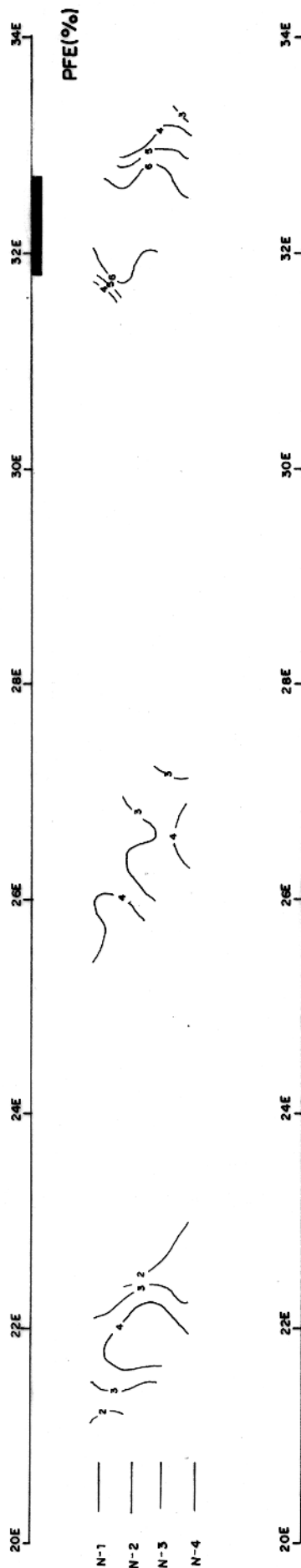


FIG.24-PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 158N - 20E A 34E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA



FIG.25- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 160N - 21E A 34E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100 m

ZONA ANÔMALA

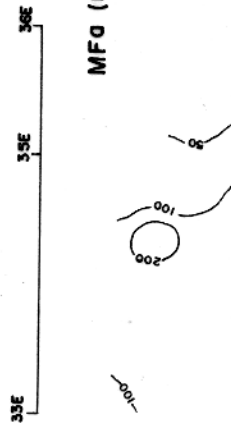
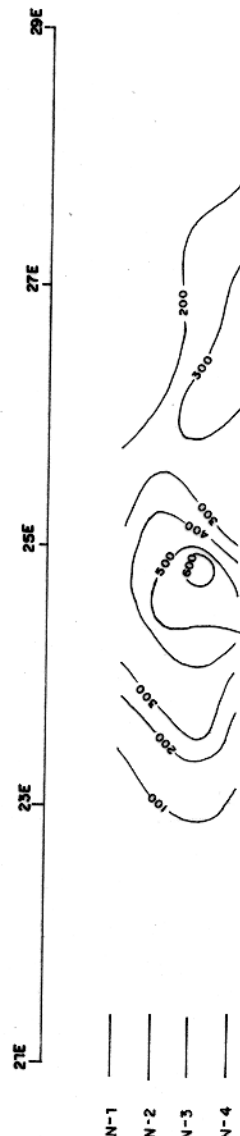
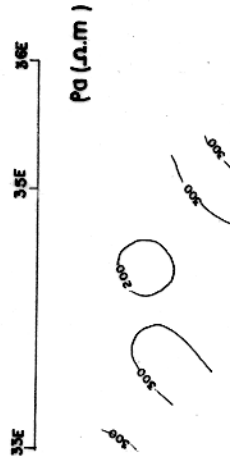
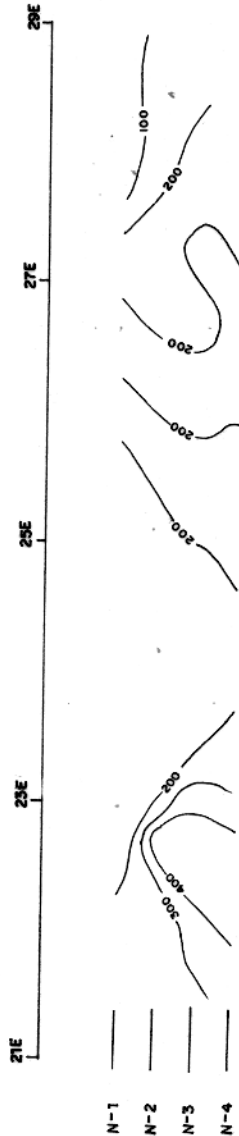
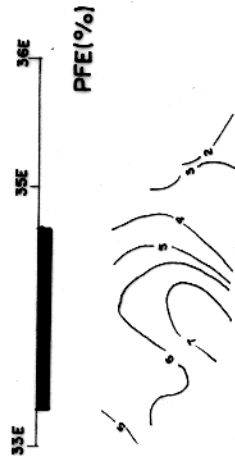
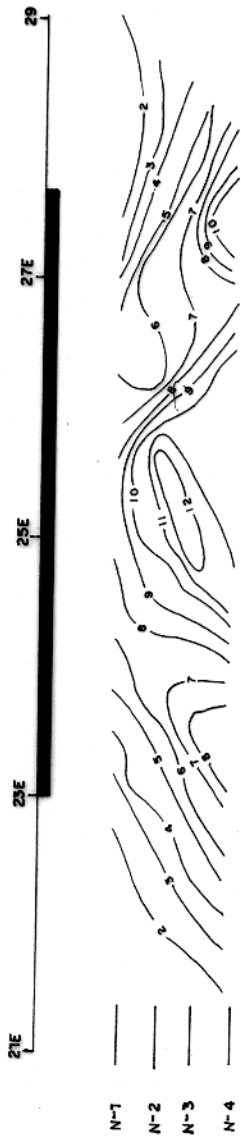


FIG. 26 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 162N - 21E A 36E.

# SERRA DE QUATIPURU - PARÁ

MALHA - 2

ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 10,0m

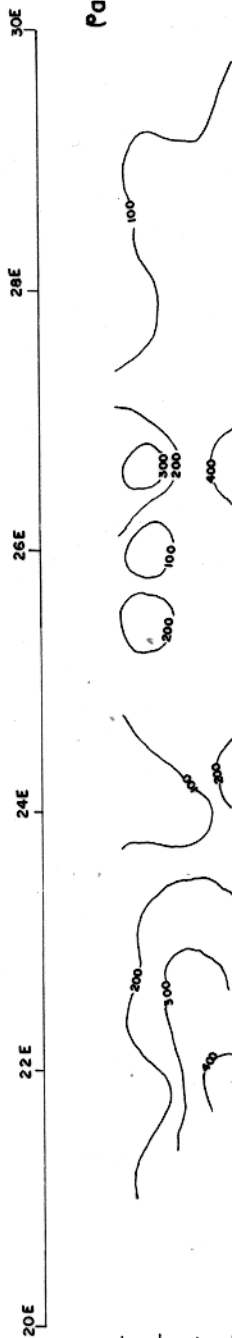


PFE (%)



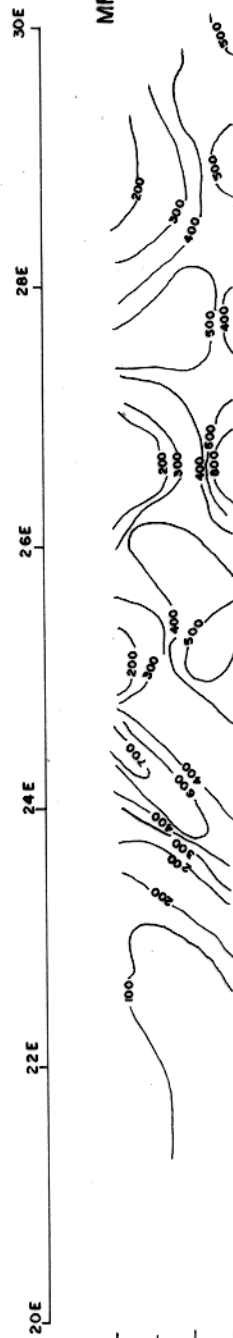
- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

Pa (a.m.)



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

MFa (mho/m)



- N-1
- N-2
- N-3
- N-4

FIG.27- PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 163N - 20E A 30E.

SERRA DE QUATIPURU - PARÁ  
MALHA - 2  
ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

L = 60 m

ESCALA 0 100m

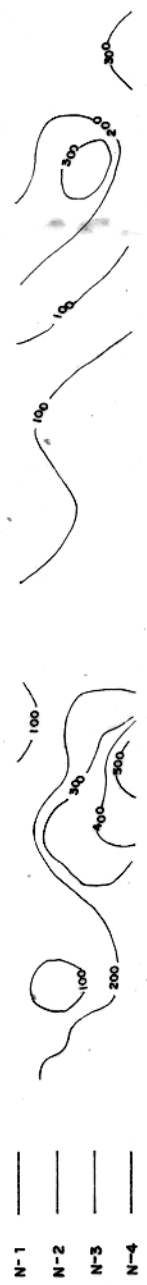
ZONA ANÔMALA



PFE (%)



Ca (p. m)



Mfα (mho/m)

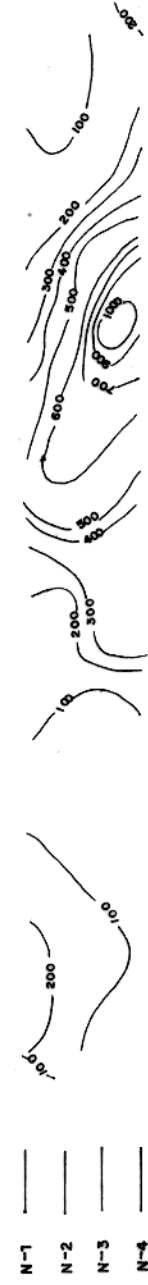


FIG.28 - PSEUDO SEÇÃO DE IP - LINHA 164N - 19E A 29E.



condutor 3.

A interpretação do IP foi feita comparando-se as pseudo seções obtidas com os dados de campo com curvas teóricas (Hal lof, 1967, 1968, 1970). Dentre os vários modelos os que mais se aproximam das formas de anomalias de campo são corpos do tipo dique finos, verticais ou sub-verticais, que podem estar aflo rando ou não. A maioria das anomalias apresentam como melhor a juste dois corpos do tipo dique finos paralelos, verticais ou subverticais.

Estes corpos tipo diques finos estariam representando porções do peridotito serpentizado que apresentam maior con centração de magnetita e sulfetos.

Através dos resultados de IP podemos definir 2 regiões anômalas: a região A (Anexo 6) à oeste, situada em serpentini tos e lateritas cujos valores de PFE chegam a atingir 19% e a região B (Anexo 6) à leste, situada em ultramáfica silicificada com valores de PFE mais baixos do que na região A, que atingem 10%. Estas duas regiões tem direção geral norte-sul e se esten dem por toda a área estudada.

Pela análise dos valores de resistividade aparente ( $\rho_a$ ) observamos que este parâmetro apresenta comportamento semelhan te nas regiões A e B. A resistividade aparente diminui desde a linha 138 N até 152 N quando então começa a apresentar valores maiores atingindo valores máximos na linha 156 N para região A e 154 N para a região B. A partir destas linhas diminui novamen te de valores até o extremo norte da área.

Observa-se que os menores valores de PFE para a re gião A encontram-se nas linhas 155 N, 156 N e 158 N e para a região B encontram-se nas linhas 154 N e 155 N.

A partir de que o aumento da resistividade aparente é acompanhado de uma diminuição do PFE acredita-se que este fato é causado por uma diminuição de minerais condutores.

Na área estudada foram feitos 4 furos de sonda (Fig. 2) com profundidades variando entre 85 e 122 metros. A partir das informações obtidas pelo furo de sondagem foi possível definir que as anomalias de IP são produzidas por sulfetos, do tipo pi rita e pirrotita, disseminado ou em microveios e magnetita sob a forma de cristais isolados ou em microveios e veios.

## 5. CONCLUSÕES

Foi possível correlacionar as ocorrências minerais da área com as anomalias geofísicas. O peridotito serpentizado e lateritas vermelhas estão definidos pela faixa de anomalias magnéticas (Anexo 3). Os dados magnéticos também possibilitaram traçar os contatos do peridotito serpentizado e laterita com os filitos e com a ultramáfica silicificada.

Os falhamentos mapeados pela geologia, de uma maneira geral, foram determinados pelo método magnético (Anexos 1 e 2), porém apenas o falhamento 1 respondeu ao método magnético e ele tromagnético.

Pela interpretação qualitativa das pseudo-seções de IP, feita por comparação de curvas teórica (Hallof, 1967, 1968, e 1970), foi sugerido o modelo de corpos finos tipo dique, verti cais ou sub-verticais, aflorantes ou não. Este modelo está com patível com a interpretação semi-quantitativa do perfil magnéti co (Anexo 4), em que as porções do peridotito serpentizado de maior concentração de magnetita e onde ocorre também sulfe tos, está representado por corpos finos verticais.

Dentro da faixa anômala magnética está localizada a re gião A de anomalias de IP. As anomalias de IP da região A são causadas pela presença de: magnetita de origem primária e de o rigem secundária, formada durante o processo de serpentização que atuou na área; sulfetos disseminados, pirita, pirrotita, cal copirita e raramente pentlandita. A região A é bastante larga atingindo de 1000 metros.

A região B (Anexo 6) definida pelo IP, localizada em ultramáfica silicificada, é bastante estreita atingindo uma lar gura média de 200 metros. Os valores de PFE desta região apre sentam como média 6%. Acreditamos serem este valores causados por magnetita de origem primária e sulfetos do tipo pirita e pir rotita, pelo fato de que ocorrem neste tipo de rocha, no en tanto não foi realizado furo de sonda nesta parte da área.

Através dos métodos geofísicos empregados na área foi possível concluir que as ocorrências minerais não apresentam in

teresse econômico. No entanto ressalte-se o fato de que com este procedimento se eliminou uma área, através de uma metodologia mais rápida e menos dispendiosa, que do contrário, só seria possível com métodos mais caros e demorados, qual seja sondagem mecânica.

Sugere-se uma continuidade do trabalho no sentido de uma interpretação quantitativa extensiva para os dados de magnetometria e IP, através de modelos.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, M.R. de & BOTELHO, L.C.A. - 1974 - Perfil Analítico do Níquel. Ministério das Minas e Energia-DNPM (boletim 33).
- BACELAR, G.A. & LEAL, G.R.N. - 1973 - Perfil analítico da Cromita. Ministério das Minas e Energia-DNPM (boletim 10).
- BAILEY, A.D. - 1974 - Near surface fault detection by magnetometer (separata). California Geology 27(12):265-288.
- BREINER, S. - 1973 - Application manual for portable magnetometers. California, Geometrics. p. 58.
- CONN, H.M.K. - 1967 - Geophysics and asbestos exploration. Mining and Groudwater Geophysics. Canada, Department of energy, mines and Resources. p. 485-491 (Economic Geology Report, 26).
- CORDEIRO, A.A.C. - 1977 - Relatório Final de Pesquisa Serra de Quatipuru. Belém. Rel. Int. Rio Doce Geologia e Mineração.
- DIAS, A.C. - 1972 - Uma nova ocorrência de cobre determinada por métodos geofísicos na Fazenda Bela Vista-Bahia. Tese de Mestrado, Salvador, Universidade Federal da Bahia. p. 53.
- DOBRIN, M.B. - 1952 - Introduction to Geophysical prospecting. New York, McGraw-Hill Book.
- DOELL, R. & COX, A. - 1971 - Magnetization of Rocks, Mining Geophysics (Theory) 2, p. 446-453.
- DOLAN, W.; BALLANTYNE, E.J.Jr.; MACAULEY, T. - s.d. - Geophysics of the Copper Mountain and Ingerbelle ore bodies in British (separata). Newmont Mining Corporation of Canada.
- FOUNTAIN, D.K. - 1969 - The use of geophysics in Mineral Exploration. In the Northwestern United States and Southern Bristish Columbia. Western Miner, october, s.l.
- GAMMA, L.I. - 1969 - Campo Magnético normal e sua variação secular no Brasil - 1965 - Observatório Nacional, MEC, 24 p. (Publicações do Serviço Magnético, 13).
- GIRODO, A.C. & PAIXÃO, J.E. - 1973 - Perfil analítico do amianto. Ministério das Minas e Energia-DNPM (Boletim 2).
- GRANT, F.S. & WEST, G.F. - 1965 - Interpretation theory in applied geophysics, New York, McGraw Hill Book.

- GRIFFITHS, D.H. & KING, R.F. - 1972 - Geofísica Aplicada para ingenieros y geólogos. Madrid, Paraninfo.
- HALLOF, P.G. - 1967 - Theoretical induced polarization and resistivity studies scale model cases. McPhar Geophysics.
- HALLOF, P.G. - 1968 - Theoretical induced polarization and resistivity studies scale model cases. Phase II. McPhar Geophysics.
- HALLOF, P.G. - 1970 - Theoretical induced polarization and resistivity studies scale model cases. Phase III. McPhar Geophysics.
- IRVING, E. - 1964 - Paleomagnetism and its application to geological and geophysical problems. New York, John Wiley, p. 10-38.
- JACOBS, J.A. - 1967 - The Earth's magnetic field. Mining Geophysics (Theory) 2, p. 424-436.
- KELLER, G.V. & FRISCHKNECHT, F.C. - 1966 - Electrical methods in Geophysical prospecting. New York, Pergamon Press. p. 519. (International series of monographs in Eletromagnetic waves, 10).
- LUIZ, J.G. - 1977 - Reconhecimento Geofísica da Faixa Mundo Novo Sítio Davi-Bahia. Tese de Mestrado, Salvador, Universidade Federal do Bahia. 55 p.
- MADDEN, T.R. - 1967 - Induced polarization and its applications to mineral exploration. Relatório, U.S. Atomic En. Comm.
- MADDEN, T.R. & CANTWELL, T. - 1967 - Induced Polarization, A Review (Theory). Mining Geophysics, p. 373-400.
- MARQUES, T.M. - 1976 - Estudos Geofísicos na área de Patamuté-Bahia e suas aplicações à prospecção de cobre. Tese de Mestrado. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 105 p.
- NAGATA, T. - s.d. - Magnetic Properties of Rocks and Minerals. Handbunch der Physik, 49(1).
- PARASNIS, D.S. - 1971 - Geofísica Minera. Madrid, Paraninfo.
- PARASNIS, D.S. - 1972 - Principles of applied geophysics, London, Chapman and Hall.

- REILLY, W.I. - 1972 - Use of the International system of Units (SI) in Geophysical publications. Journal of Geology and Geophysics. 15(1). New Zealand.
- RIJO, L.; HOHMANN, G.W.; FOX, R.C. - 1978 - Topographic effects in resistivity surveys. Earth Science Laboratory, Salt Lake City University of Utah Research Institute.
- SÁ, O.B. - 1977 - Relatório Interno de Geoquímica do Projeto Prospecção Geofísica aplicada ao Ultramafito da Serra de Quatiuru. Belém, Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas-UFPA.
- SAAD, A.H. - 1969 - Magnetic properties of ultramafic rocks from Red Mountain. Geophysics. 34(6):974-987.
- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S.; GUIMARÃES, G. - 1974 - Geologia das Folhas SB.22 Araguaia e parte de SC.22 Tocantins. Projeto RADAM, vol. 4.
- SILVA, R.W.S. - 1974 - Métodos integrados da prospecção geofísica na área da Fazenda Poço da Vaca-Bahia. Tese de Mestrado. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 78 p.
- STRANGWAY, D.W. - 1971 - History of the earth's magnetic field. New York. McGraw Hill Book.
- SUMI, F. - 1967 - The induced polarization method in ore investigation. Geophysical Prospecting, 9(3):459-477.
- WARD, S.H. - s.d. - Active ground electromagnetic methods, University of Utah, Department of Geology and Geophysics, 46p.
- WARD, S.H. - 1971 - The electromagnetic method. Mining Geophysics (Theory) 2, p. 224-372.

APÊNDICE I

```

C TWO DIMENSIONAL MAGNETIC PROFILES, READ FROM TAPES WRITE
C ON TAPES
C SOURCE OF PROGRAM--USGS. MODIFIED BY W.A.SAUCK, JUNE, 1971.
C PROGRA11MAGT2D (INPUT,KOUTP,TA1E8=INPUT,TAPES=KOUTP)
C ALFA=ANGULO ENTRE AA DIRECAO DO PERFIL E A NORMAL AO
C 'STIKE' ALFA, DATUM
C DIMENSION ALPHM(20),ZR(100),HR(100),KK(101),XC(5),DC(5),
1DP(500),CC(500),CS(500),Y(500,4),YOBS(500),XI(500),
2XP(500)
COMMON PLOT(4)
DATA ZP,HP,TP,OP/'Z','H','T','O'/
501 FORMAT(11,19A4)
502 FORMAT(1H1,44X,32HTWO DIMENSIONAL MAGNETIC PROFILE//20X,
119A4//)
505 FORMAT(20X,11HTOTAL FIELD,F8.0,7H GAMMAS/20X,
111HINCLINATION,F7.1,5H DEG./20X,6HSTRIKE,F13.1,
25H DEG./20X,5HDATUM,I13,7H GAMMAS)
510 FORMAT(I1,2I3,F7.5,2F5.1,I1,F5.1)
511 FORMAT(21H INCORRECT INPUT DECK)
512 FORMAT(17H0BODY SEGMENT NO.,I4,4X,I3,7H POINTS,4X,
19HINTENSITY,F15.6,4H EMU,4X,11HINCLINATION,F7.1,
25H DEG.,4X,6HSTRIKE,F7.1,5H DEG./)
513 FORMAT(30H BODY EXTENDS TO INFINITY DIP ,F7.1,5H DEG./)
514 FORMAT(5(10X,1HX,6X,5HDEPTH))
515 FORMAT(I1,2I3,3X,10F7.2)
516 FORMAT(10F11.3)
517 FORMAT(I1,A4,2X,F10.2,I3)
518 FORMAT(18H1OBSERVATION LEVEL,F15.3,/,14X,6HX DIST,18X,
15HDEL Z,5X,5HDEL H,15X,5HDEL T,15X,5HDEL O,/)
519 FORMAT(1H*,8X,F15.3,4(5X,F15.1))
522 FORMAT(I1,I3,I1,I2,F8.0,2F5.1,I5,F10.3,I6,4I1,2F10.3,I5,
I2,I3)
6 READ(2,522) ID,LIM,IOBS,NB,T,FINC,STRK,NLIM,DX,NEL,IZ,IH,
1IT,IO,YMAX,YMIN,NPLOT,ALFA,DATUM
40 FORMAT(16F5.0)
IF(ID-1)1,2,1
1 WRITE(3,511)
2 IF(IOBS)10,10,3
3 READ(2,40) (YOBS(J),J=1,LIM)
10 READ(2,501) ID, (ALPHM(J),J=1,19)
IF(ID-2)10,11,10
11 WRITE(3,502) (ALPHM(J),J=1,19)
GO TO 14
13 WRITE(3,511)
GO TO 10
14 WRITE(3,505) T,FINC,STRK,DATUM
C DETERMINE PLOT CHARACTERS.
JP = 0
IF(IZ) 802,802,801
801 JP = 1
PLOT(1)=ZP
802 IF(IH) 804,804,803
803 JP=JP+1
PLOT(JP)=HP
804 IF(IT) 806,806,805
805 JP=JP+1
PLOT(JP)=TP
806 IF(IO) 809,809,807
807 JP=JP+1
PLOT(JP)=OP
DO 808 N=1,LIM
808 Y(N,JP)=YOBS(N)+DATUM
809 RAD=0.017453293
STRK=STRK*RAD
FINC=FINC*RAD
H=T*COS(FINC)
Z=T*SIN(FINC)
HSN=H*SIN(STRK)
HCS=H*COS(STRK)
I=1
DO 200 N=1,NB
READ(2,510) ID,NBC,NP,FMAG,RINC,STRR,INF,PHI
IF(ID-3)13,31,13
31 IF(NBC-N) 13,33,13
33 WRITE(3,512) N,NP,FMAG,RINC,STRR
IF(INF-1)35,34,35
34 WRITE(3,513) PHI

```



```

35  WRITE(3,514)
    FMAG=FMAG*100000.0
    RINC=RINC*RAD
    STRR=STRR*RAD
    PHI=PHI*RAD
    ZR(N)=FMAG*SIN(RINC)
    HR(N)=FMAG*COS(RINC)*COS(STRR)
    KK(N)=I
    KF=I+NP-1
    KI=I
    NC=1
100  READ(2,515) ID,NBCQ,NQC,(XC(J),DC(J),J=1,5)
    IF(ID-4)13,101,13
101  IF(NBCQ-N)13,102,13
102  IF(NQC-NC)13,109,13
109  WRITE(3,516) (XC(J),DC(J),J=1,5)
    J=1
    IF(KI-I)104,103,104

103  XP(I)=XC(J)
    DP(I)=DC(J)
    I=I+1
    J=J+1
104  XP(I)=XC(J)
    DP(I)=DC(J)
    R2=(XP(I)-XP(I-1))**2+(DP(I)-DP(I-1))**2
    CC(I)=(XP(I)-XP(I-1))**2/R2
    CS(I)=(XP(I)-XP(I-1))*(DP(I)-DP(I-1))/R2
    I=I+1
    J=J+1
    IF(KF-I)106,105,105
105  IF(J-5)104,104,110
110  NC=NC+1
    GO TO 100
106  IF(INF-1)108,107,108
107  CC(KI)=COS(PHI)**2
    CS(KI)=COS(PHI)*SIN(PHI)
    GO TO 200
108  R2=(XP(KI)-XP(KF))**2+(DP(KI)-DP(KF))**2
    CC(KI)=(XP(KI)-XP(KF))**2/R2
    CS(KI)=(XP(KI)-XP(KF))*(DP(KI)-DP(KF))/R2
200  CONTINUE
    KK(NB+1)=KK(NB)+NP
    DO 900 M=1,NEL
    READ(2,517) ID,ALPHM(20),E,IEND
    IF(ID-5)13,201,13
201  WRITE(3,518) E
    X=0.
    DO 800 K=1,NLIM
    DZ=0.
    DH=0.
    DT=0.
    DO 700 N=1,NB
    II=KK(N)
    IE=KK(N+1)-1
    ANGB=ATAN((XP(IE)-X)/(DP(IE)+E))
    FLRB=0.5*ALOG((XP(IE)-X)**2+(DP(IE)+E)**2)
    ZZ=0.
    ZH=0.
    JF=IE-II+1
    DO 650 JJ=1,JF
    I=II+JJ-1
    ANGA=ATAN((XP(I)-X)/(DP(I)+E))
    DELAG=ANGA-ANGB
    FLRA=0.5*ALOG((XP(I)-X)**2+(DP(I)+E)**2)
    ZZ=ZZ+CC(I)*DELAG+CS(I)*(FLRA-FLRB)
    ZH=ZH+CC(I)*(FLRA-FLRB)-CS(I)*DELAG
    ANGB=ANGA
    FLRB=FLRA
650  DZ=DZ+2.*ZR(N)*ZZ+2.*HR(N)*ZH
700  DH=DH+2.*ZR(N)*ZH-2.*HR(N)*ZZ
    DT=SQRT((Z+DZ)**2+(HCS+DH)**2+HSN**2)-T
    DO = YOBS(K)+DATUM
    WRITE(3,519) X,DZ,DH,DT,DO
    XI(K)=X

```

```
      IF(IZ)702,702,701
701  Y(K,IZ)=DZ
702  IF(IH)704,704,703
703  Y(K,IH)=DH
704  IF(IT)800,800,705
705  Y(K,IT)=DT
800  X=X+DX
      DO 900 N=1,NPLOT
      CALL GRAPH(XI, Y, NLIM,JP,YMIN, YMAX , ALPHM)
      IF(IOBS)850,900,850
850  IF(IO)875,875,900
875  PLOT(1)=OP
C    FOLLOWING CALL PLOTS OBSERVED PROFILE SEPARATELY.
      CALL GRAPH(XI, YOBS, LIM, 1, YMIN, YMAX, ALPHM)
900  CONTINUE
      IF(IEND) 999,999,6
999  CONTINUE
```

---