



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA

ANGELO MASAYOSHI OKADA MOREIRA

**MEDIDAS GEOFÍSICAS COM OS MÉTODOS MAGNÉTICO,
ELETROMAGNÉTICO E RADIOMÉTRICO PARA ESTABELECIMENTO DO
BACKGROUND NO CAMPO DE TESTES DA FACULDADE DE GEOFÍSICA
DA UFPA.**

**Belém - Pará
2007**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA

ANGELO MASAYOSHI OKADA MOREIRA

**MEDIDAS GEOFÍSICAS COM OS MÉTODOS MAGNÉTICO,
ELETROMAGNÉTICO E RADIOMÉTRICO PARA ESTABELECIMENTO DO
BACKGROUND NO CAMPO DE TESTES DA FACULDADE DE GEOFÍSICA
DA UFPA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geofísica
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará - UFPA,
em cumprimento às exigências para
obtenção de Bacharel em Geofísica.
Orientador: José Gouvêa Luiz

**Belém - Pará
2007**

ANGELO MASAYOSHI OKADA MOREIRA

**MEDIDAS GEOFÍSICAS COM OS MÉTODOS MAGNÉTICO,
ELETROMAGNÉTICO E RADIOMÉTRICO PARA ESTABELECIMENTO DO
BACKGROUND NO CAMPO DE TESTES DA FACULDADE DE GEOFÍSICA
DA UFPA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geofísica
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará - UFPA,
em cumprimento às exigências para
obtenção de Bacharel em Geofísica.

Data de Aprovação: ___ / ___ / ___

Banca Examinadora

UFPA Prof. Dr. José Gouvêa Luiz - Orientador

UFPA Prof. Dr. Marcos Welby - Membro

UFPA Prof^a. Dr. Lucia Maria Costa e Silva - Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, da escolha e por todas as fases boas e ruins que passei na vida;

Aos meus pais, João Moreira Gonçalves e Erikó Okada Moreira, pelo grande amor e afeto destinados a mim e à nossa grande e bela família;

Aos meus irmãos de sangue e melhores amigos que a vida conseguiu reunir em uma família Natasha, Marcos e Marcelo;

Ao meu grande irmão Rafael (in memoriam) que com ele eu aprendi muito e até hoje eu me espelho;

Aos meus amigos nos vários momentos de descontração Paulo Miranda, Sérgio Miranda, Junior Leite, Cláudio Leite, Fábio Pinto, Gabriel Rosário, Marcelo Fernandes, Luana Alencar, Thiago Santhiaele, Franklin Roberto, Maiton Rian, Marcos Kaire (Jaca), Disraeli Baia, Jefferson Soares, Hebert (Moicano), Carla Patrícia, Allex (Gordo), Elyston (Jacaré), Michel (Micgeof), Glauber (Bode), Cláudio (Galo), Vlad, Targo, Virgílio (Vigageof), Morte, Danilo (Daniboy), Brena, Agatha Kelly;

Ao Prof. José Gouvêa Luiz pela orientação dada ao longo deste trabalho;

A todos os professores do curso de geofísica;

A secretária Benildes Lopes, pela grande amizade e ajuda em todos os momentos;

A todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram na confecção desse trabalho;

A todos vocês, meu mais sincero obrigado.

RESUMO

Este trabalho descreve a primeira etapa das três estabelecidas para a construção do Campo de Testes da Faculdade de Geofísica da UFPa. As medidas foram realizadas com os métodos magnético, eletromagnético e radiométrico a fim de se obter o padrão de referência (*background*) para medidas posteriores a serem tomadas com esses métodos, quando os materiais artificiais que simularão as fontes de anomalias já estiverem enterrados no Campo. As medidas permitiram a identificação das melhores zonas para o desenvolvimento da segunda etapa da construção do Campo de Testes, que consiste no enterramento dos materiais que simularão as fontes de distorção dos campos físicos.

Palavras-Chave: Prospecção geofísica. Background. Campo de testes.

ABSTRACT

This work shows the first of three stages planned for the building of the UFPA College of Geophysics Test Site. Measurements were taken using magnetic, electromagnetic, and radiometric methods in order to know the background for the measurements to be obtained later with these methods, when the artificial materials that will simulate the source of anomalies had already been buried. The measurements allowed the identification of the best places to bury the artificial materials, which represents the second stage in the building of the Site.

Keywords: Geophysical Prospection. Background. Test Site.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Campo de testes de Massachusetts.....	10
Figura 2	Localização do Campo de Testes dentro da UFRA.....	12
Figura 3	Posição das estações.....	13
Figura 4	Linhas e estações de medidas.....	13
Figura 5	Composição da onda eletromagnética.....	18
Figura 6	Princípio do método eletromagnético.....	19
Figura 7	Medidas do campo magnético da Terra.....	23
Figura 8	Medidas de condutividade aparente com o arranjo de bobinas coplanar vertical ou dipolo horizontal.....	25
Figura 9	Medidas de radiometria.....	26
Figura 10	Mapa de anomalia magnética no Campo de Testes.....	28
Figura 11	Mapa de condutividade para o dipolo horizontal.....	30
Figura 12	Mapa de condutividade para o dipolo vertical.....	31
Figura 13	Mapa radiométrico do Campo de Testes.....	32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Abundância de Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K) em alguns tipos de rochas..... 21
- Tabela 2** – Profundidade de investigação em relação ao espaçamento das bobinas e modo do dipolo..... 24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	12
3	CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	14
4	MÉTODOS GEOFÍSICOS	15
4.1	MÉTODO MAGNÉTICO	15
4.2	MÉTODO ELETROMAGNÉTICO	18
4.3	MÉTODO RADIOMÉTRICO	21

5	METODOLOGIA	23
5.1	MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE	23
5.2	MEDIDAS ELETROMAGNÉTICAS	24
5.3	MEDIDAS RADIOMÉTRICAS	25
6	RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS	27
6.1	LEVANTAMENTO MAGNÉTICO	27
6.2	LEVANTAMENTO ELETROMAGNÉTICO	29
6.3	LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO	32
7	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A prospecção Geofísica constitui a especialidade da Geofísica voltada para a investigação da crosta rasa da Terra (até cerca de 5000 m de profundidade). Nessa especialidade, os métodos geofísicos são aplicados visando à detecção de distorções (anomalias) nos campos físicos sob análise, que podem ter sido causadas por corpos geológicos ou por materiais artificiais enterrados na crosta rasa.

O aprendizado da Geofísica de prospecção requer, portanto, o conhecimento da metodologia de aquisição de dados sobre os campos físicos, bem como de sua interpretação, que visa obter informações detalhadas sobre a causa das distorções detectadas.

Um modo bastante efetivo de adquirir o referido conhecimento é realizar treinamento em um ambiente onde se conheçam previamente as características físicas e geométricas das fontes causadoras das distorções e da subsuperfície em geral. Isso tem sido conseguido a partir da construção de campos de testes onde são enterrados materiais cujas dimensões e propriedades físicas são bem conhecidas. Tais materiais servem para simular as fontes causadoras das distorções dos campos físicos procurados na Geofísica de Prospecção.

Campos de testes têm sido construídos por universidades a fim de proporcionar treinamento aos seus alunos. Entre esses destacam-se os campos da Universidade de São Paulo (SANTOS; PORSANI, 2006), da Universidade de Stanford nos Estados Unidos, construído em parceria com a Geometrics, fabricante de instrumentos geofísicos e da Universidade de Massachusetts, nos Estados Unidos (Figura 1).



Figura 1 – Campo de testes de Massachusetts.

Na construção de um campo de testes, três etapas devem ser vencidas. A primeira etapa consiste em realizar medidas geofísicas para conhecer o ambiente natural. A segunda etapa consiste em enterrar os materiais, que simularão as distorções e finalmente, a terceira etapa envolve a realização de novas medidas, a fim de obter as distorções dos campos físicos relativas às medidas realizadas na primeira etapa.

A UFPA está implantando um campo de testes para medidas geofísicas com os seguintes objetivos:

- Demonstrar o funcionamento dos equipamentos geofísicos usados para prospecção,
- Proporcionar treinamento aos alunos sobre as metodologias de aquisição de dados,
- Testar e calibrar os equipamentos geofísicos e
- Verificar esquemas de interpretação.

O presente trabalho é parte do conjunto de etapas previstas para a instalação do campo de testes da UFPA. Serão apresentados aqui os resultados das medidas geofísicas realizadas com os métodos magnético, eletromagnético e radiométrico na área do campo. O objetivo das medidas é obter os valores dos campos físicos que refletem o ambiente natural antes do enterramento dos materiais que simularão as fontes de distorções.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Campo de Testes do Departamento de Geofísica da UFPA encontra-se dentro da área do campus da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) (Figura 2), que se localiza adjacente ao campus da UFPA, em Belém, no bairro da Terra Firme, nas coordenadas geográficas $1^{\circ} 26' 59'' S$ e $48^{\circ} 26' 3,3'' W$.

A área do campo foi escolhida nesse local por se apresentar isenta de efeitos culturais que possam causar anomalias magnéticas e eletromagnéticas tais como cercas, fiação elétrica, tubulações, etc. Anteriormente, o local foi utilizado como um depósito de materiais inservíveis pela Prefeitura da UFRA, pois fica afastada de locais como salas de aulas, criação de animais e tráfego de veículos e pedestres.

O acesso ao campo de testes é feito por via terrestre através da Avenida Presidente Tancredo Neves (antiga Perimetral).



Figura 2 – Localização do Campo de Testes dentro da UFRA.

Fonte: Luiz, 2006

O Campo de Testes é constituído por 6 linhas de medidas espaçadas de 4 m, de comprimento 40 m e direção N25E. Nessas linhas encontram-se piquetes de madeira, colocados a intervalos de 2 m (Figura 3) para marcar a posição das estações de medidas.

A figura 4 ilustra o posicionamento das linhas e estações de medidas do Campo.



Figura 3 – Posição das estações.

medidas.

Fonte: Luiz, 2006

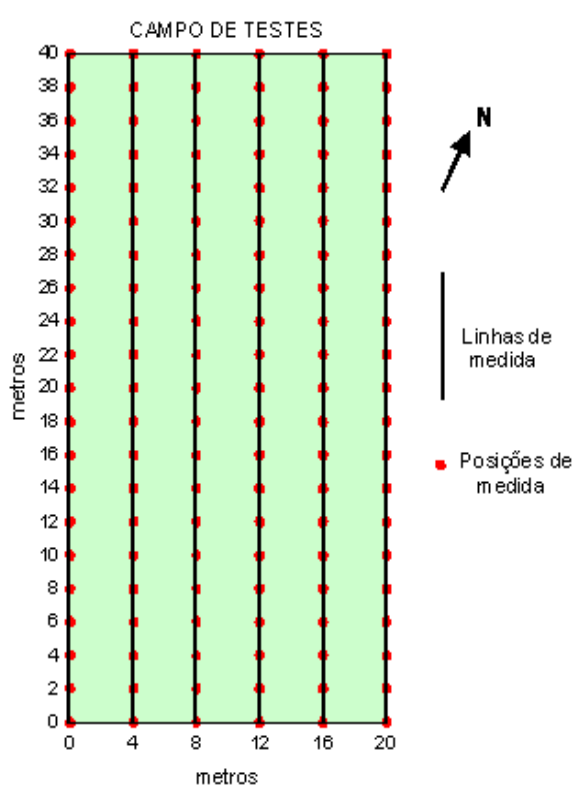


Figura 4 – Linhas e estações de

Fonte: Luiz, 2006

3 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

Na região metropolitana de Belém predominam na superfície e na subsuperfície rasa sedimentos do Quaternário representados pela Unidade Pós-Barreiras e sedimentos holocênicos (FARIAS et. al. 1992 ; SANTOS, 1982).

De acordo com Rosseti et al. (1989), os sedimentos Pós-Barreiras são compostos de areias quartzosas de granulometria fina a média, distribuídas na zona litorânea, leitos de rios e igarapés. Também fazem parte desses sedimentos argilas e siltes ligados a manguezais. Já os sedimentos holocênicos apresentam-se inconsolidados e são constituídos por material areno-argiloso e argilo-arenoso, de cor amarelada a avermelhada com grãos de quartzo e blocos de arenito ferruginoso (Grês-do-Pará). Esses sedimentos geralmente originam solos arenosos com baixos teores de elementos nutritivos e alta porcentagem de ferro total (SANTOS, 1982).

Na área do Campo de Testes é possível observar na superfície do terreno blocos de arenito ferruginoso, que caracterizam os sedimentos holocênicos descritos.

Na área do campus da UFRA predominam os solos do tipo latosolo amarelo, concrecionário laterítico e gley pouco húmico (SANTOS, 1982). O solo do Campo de Testes apresenta características de solo concrecionário.

4 MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os seguintes métodos foram utilizados na investigação geofísica realizada no Campo de Testes: Magnético, Eletromagnético e Radiométrico. Apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada um desses métodos.

4.1 MÉTODO MAGNÉTICO

Um dos primeiros métodos geofísicos utilizados em prospecção foi o método magnético. As primeiras observações de anomalias magnéticas foram realizadas na Suécia em 1640 com o intuito de localizar depósitos de ferro; elas consistiram na observação direta da variação da declinação magnética em bússolas náuticas (LUIZ; SILVA, 1995).

Com o avanço da tecnologia as observações magnéticas ficaram mais precisas, devido à construção de equipamentos capazes de medir variações do campo magnético com mais exatidão. Atualmente as medidas são realizadas com equipamentos denominados de Magnetômetros.

Alguns minerais, como a magnetita, a pirrotita e a ilmenita são responsáveis pelas variações no campo magnético. A presença desses minerais pode também informar, de forma indireta, a presença de minerais não magnéticos econômicos tais como: galena, calcopirita e calcocita. O método também permite identificação de litologias com base na susceptibilidade magnética das rochas.

A origem do campo magnético terrestre foi discutida por um longo tempo e várias hipóteses foram apresentadas. Uma delas considerava que este campo era gerado por rochas magnéticas que constituem a crosta oceânica, por esta conter rochas do tipo do gabro e basalto, que apresentam elevada susceptibilidade magnética. Atualmente a teoria mais

aceita para explicar a presença do campo magnético terrestre está fundamentada na Teoria do Dínamo. Essa teoria, apresentada na década de 40 por W. M. Elasser e Sir Edward Bullard, afirma que o campo magnético é gerado pelo movimento de correntes elétricas no núcleo líquido da Terra.

Além do campo gerado no núcleo terrestre, outras fontes contribuem para os valores do campo magnético medido na prospecção, que vão desde as fontes externas como vento solar e correntes elétricas que fluem na ionosfera até minerais magnéticos encontrados na crosta terrestre.

Quando um campo H é aproximado de um material qualquer, este adquire uma intensidade de magnetização M proporcional ao campo, dada por (LUIZ; SILVA, 1995):

$$M = kH, \quad (1)$$

em que k é a susceptibilidade magnética do material.

A magnetização de um material é um processo físico que resulta do alinhamento dos momentos de dipolos internos ao material. Esse alinhamento provoca o aparecimento de um campo adicional que, somado ao campo externo H , produz um campo conhecido por indução magnética (fisicamente, este é um campo magnético como qualquer outro). O campo indução magnética B é relacionado ao campo magnético H através da relação (LUIZ; SILVA, 1995):

$$B = \mu H, \quad (2)$$

sendo μ a permeabilidade magnética do material, que se relaciona à susceptibilidade magnética do material, por meio da relação

$$\mu_r = 1 + k, \quad (3)$$

em que μ_r é a permeabilidade relativa (permeabilidade do meio/permeabilidade do vácuo).

Os valores de susceptibilidade magnética das rochas dependem principalmente da forma, tamanho dos grãos e do modo de distribuição dos minerais ferromagnéticos presentes.

A susceptibilidade magnética dos materiais é a propriedade física mais importante no método magnético, pois os materiais que apresentam os maiores valores de susceptibilidade magnética estão sujeitos a se magnetizarem mais fortemente.

Algumas substâncias ou materiais presentes na terra apresentam diferentes comportamentos magnéticos quando estão sob ação de um campo magnético. As substâncias denominadas de ferromagnéticas apresentam susceptibilidade magnética muito elevada e positiva, adquirindo alta magnetização na presença de um campo externo. Os minerais ferromagnéticos ocorrem nas rochas comumente na forma de grãos finos dispersos em uma matriz de minerais paramagnéticos e diamagnéticos representados por silicatos.

As rochas apresentam dois tipos de magnetização: a induzida, que é provocado pelo campo magnético atual da Terra, e a remanescente, que é adquirida ao longo da historia geológica da rocha.

Um dos instrumentos mais usados para medir o campo magnético é o magnetômetro de precessão de prótons, que consiste basicamente de um sensor contendo uma fonte de prótons (água metanol, álcool etílico, querosene, entre outros) e um contador eletrônico. Durante a medida, o sensor é submetido a um campo magnético artificial muito mais forte do que o campo magnético terrestre (150 a 300 vezes) e perpendicular a ele. Os prótons são polarizados segundo a resultante dos dois campos, virtualmente paralela ao campo artificial. A remoção repentina do campo artificial faz com que os prótons voltem a se orientar com o campo magnético terrestre, girando em torno deste campo com uma frequência angular:

$$\omega = \gamma_p F_0, \quad (4)$$

em que $\gamma_p = 26.751,13 \text{ rad/s.nT}$ é a razão giromagnética do próton e F_0 é a intensidade do campo magnético terrestre total, que pode ser determinada medindo-se a frequência de precessão dos prótons com um contador eletrônico. A precisão desse magnetômetro é de 1 nT, dentro de uma faixa de medidas de 20.000 a 100.000 nT (LUIZ; SILVA, 1995).

Durante um levantamento magnético podem ocorrer interferências causadas por campos magnéticos externos. Uma delas é a variação diurna que produz flutuações magnéticas no espaço de 24 horas, com amplitude máxima em torno de 50 a 80 nT. Com a variação diurna, o valor do campo magnético aumenta suavemente durante as primeiras horas da manhã, atinge seu valor máximo por volta do meio-dia e torna a decrescer suavemente durante a tarde. Durante um levantamento, é necessário registrar essa variação do campo, para posterior correção dos valores medidos (LUIZ; SILVA 1995).

Outra fonte de interferência são as tempestades magnéticas que produzem variações rápidas no campo magnético, chegando a intensidades de 1000 nT. Essas variações são causadas por emissões intensas de plasma solar e de sua interação com o campo da Terra, podendo ocorrer de uma a três vezes por dia, como periódicas, repetindo-se a cada 27 dias e com efeito de vários dias. Quando ocorrem tempestades magnéticas, o levantamento magnético deve ser suspenso (LUIZ ; SILVA 1995).

Além das interferências naturais, outras interferências podem ocorrer provenientes de: pequenos objetos metálicos (que provocam interferência num raio de 1 a 2 m), cercas de arame, construções modernas, linhas elétricas e telefônicas e qualquer outra estrutura contendo material magnético.

Por isso, além das aplicações relacionadas à detecção de corpos e estruturas geológicas, o método magnético pode ser empregado na localização de artefatos artificialmente enterrados pelo homem, tais como: tambores e tanques metálicos, cerâmicas e resíduos metálicos.

4.2 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO

O método eletromagnético é baseado no fenômeno físico da indução eletromagnética, descrito pelas equações de Maxwell. Nesse fenômeno, a energia de dois campos, um elétrico e outro magnético (Figura 5), se propaga nos meios na forma de difusão ou de onda, com características que dependem das propriedades físicas resistividade elétrica (inverso da condutividade elétrica), permissividade elétrica e permeabilidade magnética.

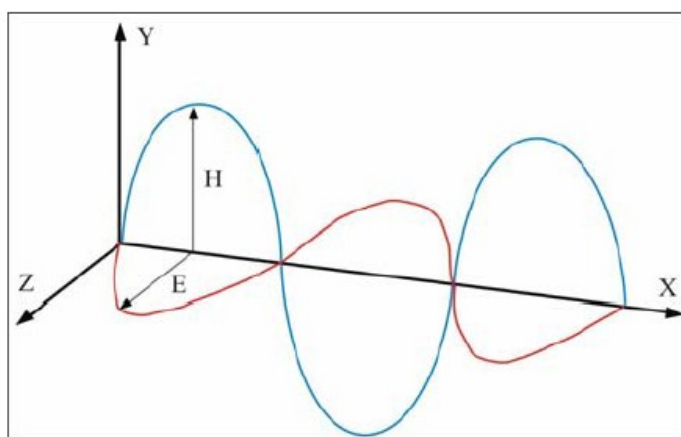


Figura 5 – Composição da onda eletromagnética.
Fonte: Adaptado de Santos (2005)

Ocorre a propagação na forma de difusão quando as frequências empregadas são inferiores a 30 KHz. Também para essas frequências, quando o meio é não magnético, a resistividade elétrica é a principal propriedade física que controla o fenômeno.

O princípio do método eletromagnético indutivo está representado na Figura 6. A aplicação do método requer como procedimento básico a passagem de uma corrente elétrica alternada por uma bobina (denominada de bobina transmissora, Tx) criando ao seu redor um campo magnético alternado (campo magnético primário, H_p). A difusão desse campo através de um meio condutor induz nele correntes, que por sua vez geram um outro campo magnético (campo magnético secundário, H_s). Uma segunda bobina posicionada dentro da área de influência dos campos primário e secundário capta a corrente induzida pela soma desses campos.

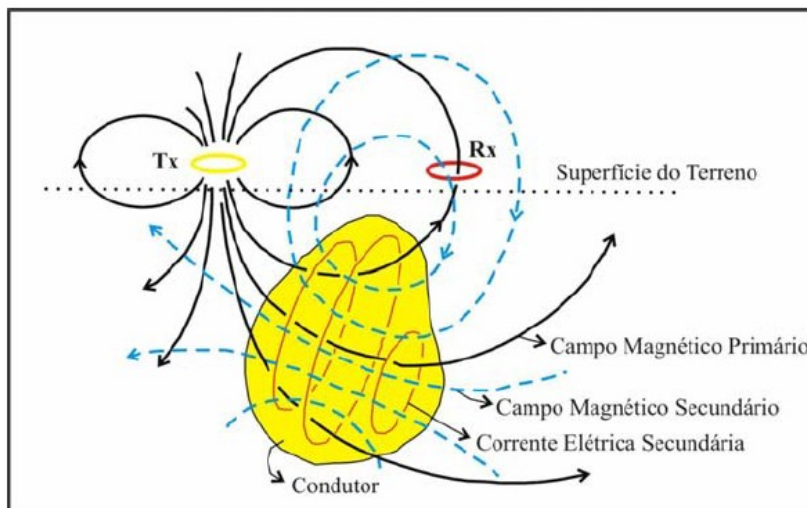


Figura 6 – Princípio do método eletromagnético.
Fonte: Adaptado de Luiz; Silva (1995).

A bobina onde é gerado o campo primário pode ser substituída por uma fonte de corrente natural, como ocorre nos métodos eletromagnéticos AFMAG e MT, ou por uma fonte artificial distante como no método VLF. A medida da razão de intensidade e fase entre os campos primário e secundário pode revelar a presença de corpos condutores.

O uso de duas bobinas no método eletromagnético indutivo caracteriza o que se denomina de sistema Slingram. Nesse sistema, as duas bobinas podem ser dispostas segundo diversas orientações, como por exemplo: (a) disposição de ambas as bobinas em um plano horizontal, constituindo o arranjo coplanar horizontal, dipolo vertical ou HLEM; (b) disposição de ambas as bobinas no mesmo plano vertical, constituindo o arranjo coplanar vertical ou dipolo horizontal e (c) disposição em que a bobina transmissora é colocada no plano vertical e a bobina de recepção é colocada no plano horizontal, constituindo o arranjo de *loop* vertical.

Neste trabalho foi empregado o sistema eletromagnético Slingram desenhado para operação sob a condição de baixo número de indução (LIN). O número de indução K é dado por (McNEILL, 1980):

$$K = (\mu_0 \omega \sigma / 2)^{1/2} S, \quad (5)$$

em que ω é a frequência angular, dada por $\omega = 2\pi f$, sendo f a frequência, μ_0 é a permeabilidade magnética ($4\pi \times 10^{-7}$ no SI), σ é a condutividade elétrica e S é a separação entre as bobinas.

A condição de baixo número de indução ocorre quando $K \ll 1$ (geralmente $K < 0,09$). Na prática, essa condição é conseguida usando-se baixas frequências e pequenas separações entre as duas bobinas sobre uma subsuperfície de condutividade baixa, geralmente inferior a $0,1 \text{ S/m}$ (maior que $10 \text{ } \Omega\text{m}$).

Na operação sob baixo número de indução, a componente em quadratura do campo secundário é proporcional à condutividade elétrica, de modo que é possível obter-se diretamente a condutividade aparente (σ_a) da subsuperfície a partir da expressão (McNEILL, 1980):

$$\sigma_a = (4/\omega\mu_0 S^2) (H_s/H_p). \quad (6)$$

Com o método eletromagnético é possível definir as condições hidrogeológicas naturais, localização de resíduos, tambores e tanques enterrados, galerias subterrâneas e delimitação de plumas de contaminação inorgânica.

4.3 MÉTODO RADIOMÉTRICO

O método radiométrico utiliza a radiação emitida durante a desintegração espontânea dos elementos químicos, para detectar materiais radioativos em subsuperfície.

A radioatividade é um fenômeno que alguns elementos químicos (urânio, tório e potássio) apresentam de desintegrarem-se

espontaneamente, liberando energia do seu núcleo instável com o propósito de adquirir estabilidade. Durante este processo são emitidas partículas alfa (2 prótons e 2 nêutrons) e beta (elétrons) e radiação gama (energia eletromagnética).

O método radiométrico consiste basicamente na detecção de radioatividade proveniente da emissão de radiação gama (γ), uma vez que as emissões alfa e beta têm pouco poder de penetração no ambiente geológico, portanto não apresentando importância na prospecção geofísica.

Em geral, as rochas ácidas (granito, riolitos, etc.) apresentam maior radioatividade do que as rochas sedimentares. Dentre as rochas sedimentares, os folhelhos são as que normalmente apresentam a maior radioatividade. A tabela 1 mostra a abundância dos elementos que mais contribuem para a radioatividade em alguns tipos de rochas.

Tabela 1 – Abundância de Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K) em alguns tipos de rochas.

Rocha	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)
Granito	5	18	3,8
Arenito	0,5	2	0,6
Folhelho	4	12	2,7
Calcário	1,3	1	0,3
Basalto	0,6	3	0,8

Fonte: Adaptado de Sharma (1986).

A radiação proveniente das rochas pode ser facilmente detectada com vários tipos de equipamentos, dentre eles destacam-se a câmara de ionização, o contador Geiger e o cintilômetro. O mais adequado para os trabalhos geofísicos de campo é o cintilômetro, pois este permite a detecção de quase 100% da radiação gama (WIZ; SILVA, 1983).

O método radiométrico, apesar de investigar pequenas profundidades (menores que 0,5 m), apresenta varias aplicações importantes como prospecção direta de minerais radioativos, o mapeamento geológico (separação de litologia), o controle ambiental identificando vazamento de material radioativo, a procura de objetos radioativos manufaturados e perdidos pelo homem, etc.

5 METODOLOGIA

Os levantamentos dos dados no Campo de Testes foram realizados no período de 25 de Outubro até 17 de Novembro de 2006, período que corresponde ao menor índice de chuva na região.

5.1 MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

As medidas do campo magnético foram tomadas em estações espaçadas de 2 m sobre as 6 linhas do Campo de Testes. As medidas foram tomadas com o magnetômetro de precessão de prótons marca Geotest. Em cada estação foram tomadas a média de três medidas do campo magnético, com o propósito de se obter um valor confiável. O sensor do magnetômetro foi mantido a uma altura constante de 1 m do solo. A Figura 7 ilustra a operação de tomada das medidas.

Para o controle da variação diurna do campo magnético, antes de iniciar uma linha de medida e ao final dela, foi feita uma medida em uma estação base. Esses valores foram, então, considerando-se uma variação linear entre os mesmos, utilizado para proceder a correção diurna das medidas ao longo das linhas. Após a correção da variação diurna, os dados foram representados em mapas de contornos de isovalores, relativos aos valores medidos na estação base.



Figura 7 – Medidas do campo magnético da Terra.

5.2 MEDIDAS ELETROMAGNÉTICAS

A aquisição dos dados eletromagnéticos foi realizada a intervalos de 2 m em todas as 6 linhas do Campo de Testes. Para as medidas, foi

empregado o instrumento EM 34-3, que permite a obtenção de valores da condutividade aparente da subsuperfície.

As medidas foram realizadas mantendo as bobinas segundo os arranjos coplanar horizontal (ou dipolo vertical) e coplanar vertical (ou dipolo horizontal), com separação igual a 10 m.

De acordo com McNeill (1980), a profundidade de investigação para esse instrumento depende tanto da separação entre as bobinas, quanto do arranjo entre elas; sendo igual a 75% da separação para o arranjo dipolo horizontal e 150% da separação para o arranjo dipolo vertical. No caso do presente levantamento, respectivamente 7,5 m e 15 m (Tabela 2).

Tabela 2 – Profundidade de investigação em relação ao espaçamento das bobinas e modo do dipolo.

Separação Tx – Rx (m)	Posição das Bobinas	Profundidade Máxima de Investigação (m)
10	Horizontal	7,5
	Vertical	15
20	Horizontal	15
	Vertical	30
40	Horizontal	30
	Vertical	60

Fonte: Adaptado de Moreira; Dourado (2005).



Figura 8 – Medidas de condutividade aparente com o arranjo de bobinas coplanar vertical ou dipolo horizontal.

5.3 MEDIDAS RADIOMÉTRICAS

A aquisição dos dados foi realizada em todas as linhas do Campo de Testes nas estações espaçadas de 2 m. Ao redor de cada estação foram realizados três medidas cintilométricas espaçadas de 0,30 m para se obter um valor médio em volta do piquete da estação. O sensor do equipamento foi mantido a uma altura aproximada de 0,20 m da superfície do terreno. As medidas foram tomadas com o cintilômetro modelo SPP2 que conta a radiação total (sem discriminação de isótopos fontes).

A figura 9 mostra a operação de aquisição dos dados cintilométricos no campo.



Figura 9 – Medidas de radiometria.

6 RESULTADO DOS LEVANTAMENTOS

6.1 LEVANTAMENTO MAGNÉTICO

De acordo com o IGRF (Campo Geomagnético de Referência Internacional), a declinação magnética na área do Campo de Testes é de $19^{\circ}47'W$ e a inclinação do campo, $1^{\circ}54'$, valores válidos para 26/10/2006, data do levantamento magnético.

As medidas do campo magnético terrestre realizado no Campo de Testes estão representadas no mapa de contornos de isovalores mostrado na Figura 10. As medidas são relativas ao valor 26850 nT, medido na estação base localizada cerca de 10 m a leste da estação zero da linha 20.

As medidas variaram de cerca de 400 nT até -300 nT, o que representa uma grande variação magnética.

O mapa mostra uma série de anomalias fortes com alternância de altos e baixos magnéticos orientados segundo a direção do norte magnético, sugerindo anomalias induzidas pelo campo magnético atual.

Considerando que a área do Campo de Testes era usada anteriormente para descarte de materiais inservíveis (lâmpadas, latas, componentes de condicionadores de ar, etc.), as fortes anomalias devem ter sido provocadas por esses materiais artificiais e não representam qualquer feição da subsuperfície. Durante a realização das medidas foi possível observar alguns desses materiais na superfície do terreno, que foram retirados antes das medições. Ocorre, entretanto, que alguns dos materiais devem ter sido encobertos por aterro e vegetação.

Observa-se ainda no mapa uma região em que não existem anomalias, com o campo magnético apresentando uma variação muito suave. Essa região encontra-se no canto noroeste do mapa, entre as linhas 0 e 12 e as estações 24 e 40.

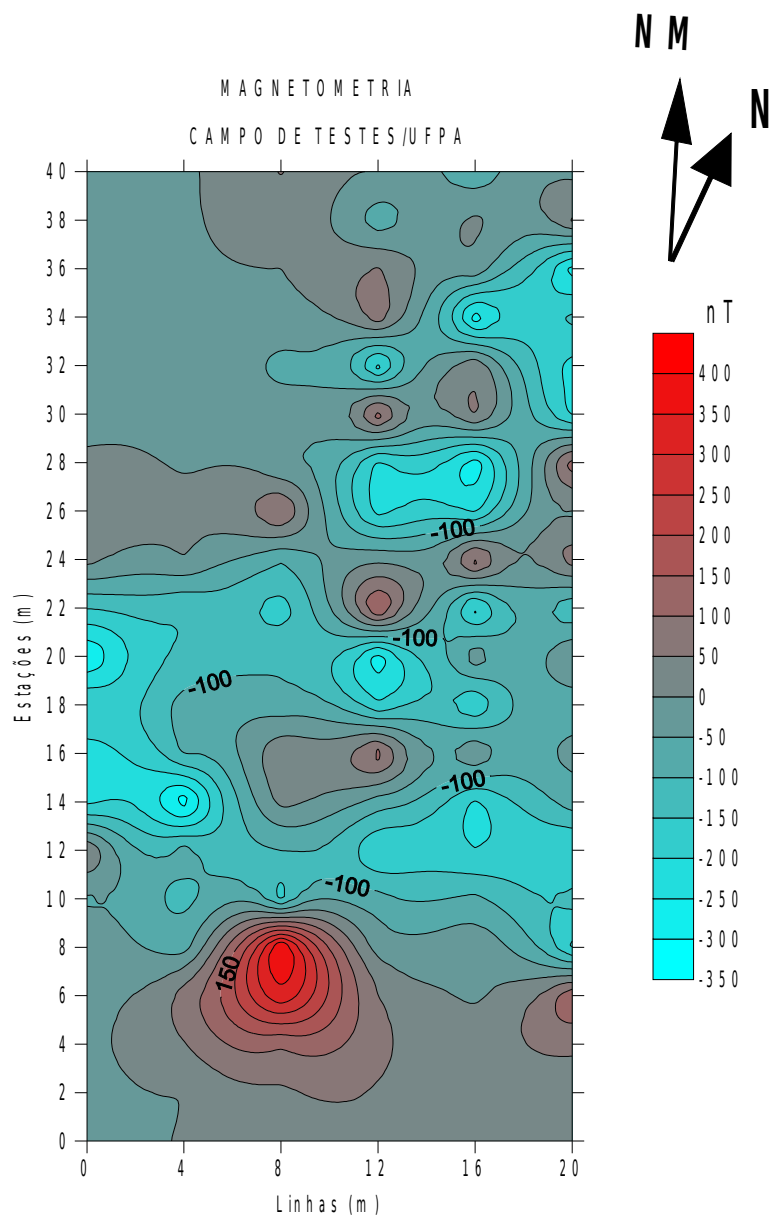


Figura 10 – Mapa de anomalia magnética no Campo de Testes.

6.2 LEVANTAMENTO ELETROMAGNÉTICO

Os dados de condutividade aparente obtidos no levantamento eletromagnético estão representados na forma de mapas de contorno nas Figuras 11 (dipolo horizontal) e Figura 12 (dipolo vertical).

Os valores de condutividade aparente medidos no Campo de Testes com o dipolo horizontal variaram entre 4,8 mS/m e 17,9 mS/m, enquanto os valores obtidos com o dipolo vertical entre 0,3 mS/m e 23,9 mS/m. A maioria dos valores medidos com o dipolo horizontal ficou entre 10,2 e 14,1 mS/m, enquanto que as medidas com o dipolo vertical distribuíram-se predominantemente entre 8,5 e 12,4 mS/m.

Os valores mais elevados de condutividade foram obtidos com o dipolo vertical. A maioria desses valores ocorre, entretanto, em locais isolados quase pontuais, o que pode significar algum erro de medida, como a falta de alinhamento entre as bobinas ou desnível topográfico, que na área é de cerca de 1 m.

Observa-se no mapa da figura 11 obtida com o dipolo horizontal que os valores mais elevados ocorrem separados dos menores valores por uma diagonal orientada aproximadamente com a direção norte. Nessa diagonal, os contornos estão muito próximos entre si (gradiente de variação elevado), sugerindo um contato quase abrupto entre dois tipos de material em subsuperfície: um menos condutivo a oeste e outro mais condutivo a leste. Como as medidas com o dipolo horizontal são mais afetadas pela subsuperfície rasa, as medidas devem refletir a distribuição do solo na área do Campo de Testes.

As anomalias positivas isoladas que se observam nas estações 12 da linha 8, bem como estações 10 e 14 da linha 20 foram possivelmente causadas pelo material metálico inservível da UFRA descartado nessa parte da área.

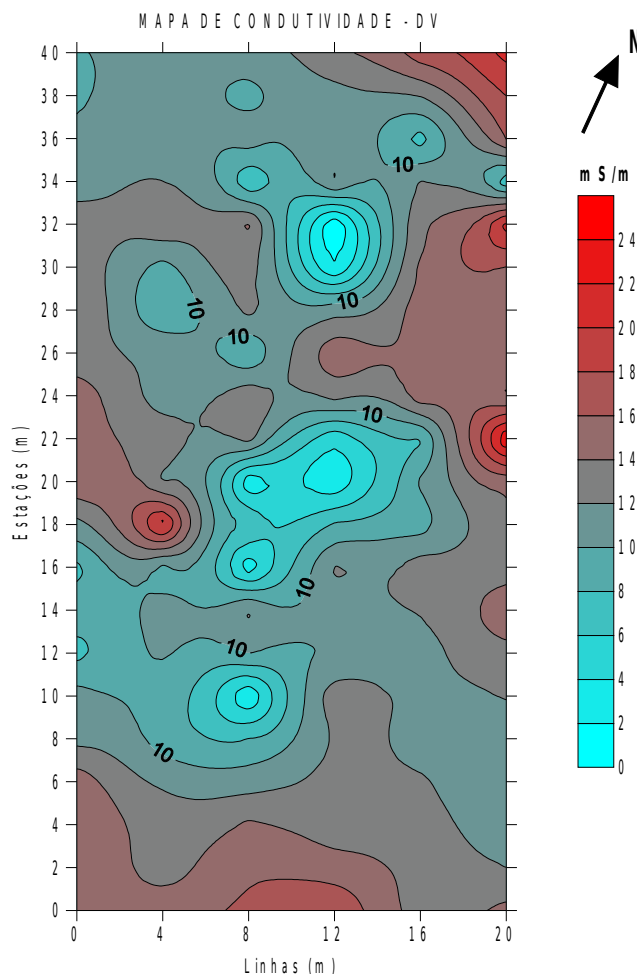


Figura 12 – Mapa de condutividade para o dipolo vertical.

6.3 LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO

A Figura 13 mostra distribuição da radioatividade no Campo de Testes. Observa-se que os altos valores de radioatividade ocorrem na parte norte da área a partir da estação 22 e na parte sul entre as estações 0 e 4. Esses altos valores de radioatividade refletem uma maior quantidade de argila nessas posições, possivelmente associado ao solo laterítico que cobre o Campo de Testes.

A região de baixos valores localizada em todas as linhas entre as estações 6 e 18 ocorrem em local de solo revolvido, onde anteriormente era despejado material inservível da UFRA. Já os baixos valores que ocorrem na extremidade noroeste da área podem ser relacionadas à presença de solo mais arenoso rico e em fragmentos de arenito ferruginoso.

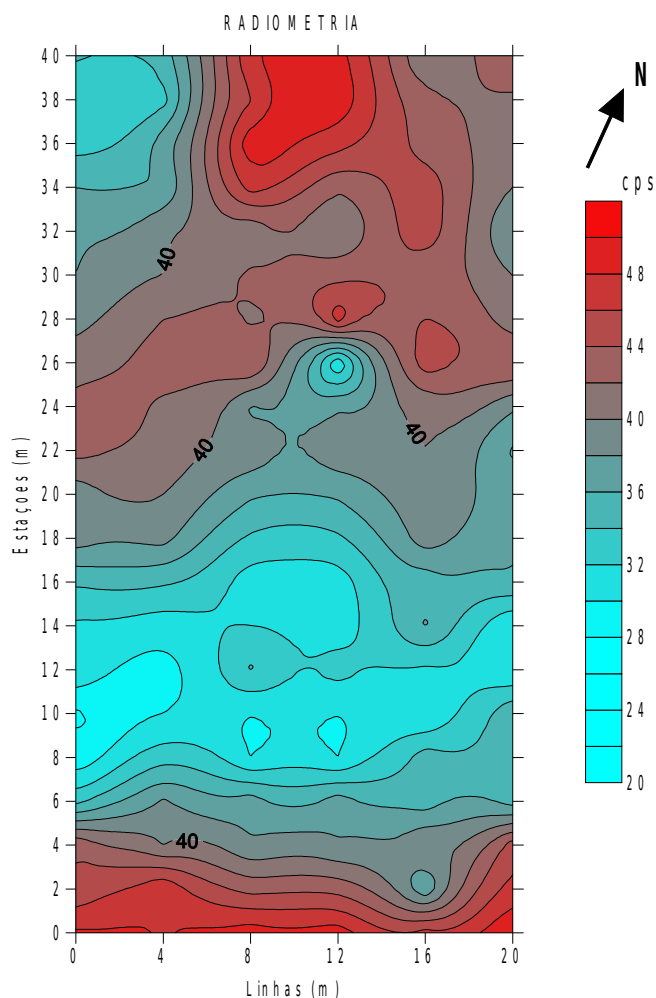


Figura 13 – Mapa radiométrico do Campo de Testes.

7 CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi mapear a área do Campo de Testes da UFRA com os métodos magnético, eletromagnético e radiométrico para estabelecer valores de *background* antes da instalação das fontes de distorção dos campos físicos.

As medidas magnéticas evidenciaram fortes anomalias distribuídas na maior parte da área, que devem estar relacionadas ao material de descarte ali despejado pela UFRA. Somente uma pequena parte da área, a noroeste apresenta-se magneticamente não perturbada.

Muitos dos valores baixos de condutividade observados parecem estar relacionados ao solo revolvido onde foram despejados os materiais

inservíveis na área. Por outro lado, onde o solo não foi revolvido as medidas sugerem um aumento da condutividade com a profundidade. Alguns dos elevados valores de condutividade detectados com o dipolo horizontal ocorrem na zona de descarte de material inservível da UFRA e podem ser devidos ao material metálico ali presente.

Finalmente as medidas radiométricas parecem ter sido influenciadas em grande parte da área pelo solo revolvido onde foi descartado o material inservível da UFRA, produzindo baixos valores. Fora dessa região, as medidas mostram uma predominância de material argiloso, associados aos valores mais elevados.

REFERÊNCIAS

CAMPO de teste. Disponível em
<http://www.geo.umass.edu/dept_info/hydro/hyphy.html> Acesso em mar.
De 2007

FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S.; FERREIRA, M. A. A. **Estágio de Campo III:** relatório final. Área Belém / Outeiro. UFPA, 1992. 247p.

LUIZ, J. G. **Apoio ao ensino prático do curso de graduação em geofísica** – CETCG6. Apresentação de relatório do projeto PROINT 2004-2005, CETCG6, UFPA, BELÉM, 2006.

LUIZ, J. G. ; SILVA, L. M. C. **Curso de geofísica de prospecção**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1983. 269 p.

LUIZ, J. G. ; SILVA, L. M. C. **Geofísica de prospecção**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1995. v.1, 311 p.

McNEILL, J. D. **Eletromagnetic terrain conductivity. Measurement at low induction numbers. TN-6**. Mississauga, Ontario, 1980. 15 f. (Geonics Inc.)

MOREIRA, C. A.; DOURADO, J. C. Análise de contaminantes de fase líquida não aquosa (NAPLs) por aplicação do método eletromagnético indutivo (EM). **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v 23, n 3, p. 213 – 220. 2005.

ROSSETI, D.F. de; TRUCKENBRODT, W.; GOES, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras na região Bragantina, Nordeste do Pará. **Boletim Instituto Geológico, Ciências da Terra**, Belém, v. 1 n.1, : 25-74. 1989.

SANTOS, F. M. **Aplicação de métodos geofísicos no estudo da contaminação de águas subterrâneas no lixão de Cuiabá-MT**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Física e meio Ambiente) - Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Cuiabá, 2005.

SANTOS, P. C. T. C. **Levantamento detalhado de solos do Campus da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**. 1982. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Fortaleza-CE, 1982.

SANTOS, V. R. N.; PORSANI, J. L. Localização de interferências no sítio controlado de geofísica rasa do IAG-USP através do método eletromagnético indutivo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 2., 2006, Natal. **Resumos expandidos**. Natal: SBGf, 2006. p. 01 – 04 .

SHARMA, P.V. **Geophysical methods in geology**. 2.ed. New York: Elsevier, 1986. 442 p.