

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

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS À ARQUEOLOGIA NO ESTADO DO PARÁ

Tese Apresentada por

JOSÉ JERÔNIMO DE ALENCAR ALVES

como requisito parcial à obtenção do grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

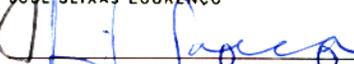
Na área de

GEOFÍSICA

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

Aprovado: 13.12.79


JOSE SEIXAS LOURENÇO (ORIENTADOR)


IGOR I. GIL PACCA


ARTHUR NAPOLEÃO FIGUEIREDO

Comitê de Tese

A 474 ALVES, José Jerônimo de Alencar

Métodos Geofísicos Aplicados à Arqueologia
no Estado do Pará. Belém, UFPa-NCGG, 1979.

55 p.

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

1. Geofísica - Prospecção. 2. Arqueologia -
Métodos Geofísicos. I. Núcleo de Ciências Geo-
físicas e Geológicas (UFPa). II. Título.

CDD: 622.154

AGRADECIMENTQS

O autor deste trabalho agradece:

- Ao Professor, JOSÉ SEIXAS LOURENÇO, Coordenador do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da U.F.Pa, pela orientação deste Trabalho.
- Ao Professor, LUIZ RIJO, pela sua valiosa colaboração na aplicação do método eletro-resistivo.
- O autor é especialmente grato ao Professor NAPOLEÃO FIGUEIREDO , pelos incentivos, sugestões e críticas referentes as pesquisas arqueológicas.
- Ao Professor, IGOR GIL PACCA, Coordenador do Instituto de Astronomia e Geofísica da U.S.P., pela gentileza em permitir a utilização dos laboratórios deste Instituto, para os trabalhos de medidas magnéticas.
- Aos Professores, BENAIA ALENCAR, GERARDO MAJELA e JOSÉ LUIZ GOUVEIA e ao Técnico, ANASTÁCIO VIEIRA pela colaboração nos trabalhos de campo.
- A Professora, MARINA LUIZA SOUTO DO NASCIMENTO pelo trabalho de revisão durante a elaboração do texto.

RESUMO

Este trabalho constitui uma primeira tentativa de aplicação de métodos geofísicos à pesquisa de sítios arqueológicos no Brasil. Esses métodos foram usados com a finalidade de detectar feições arqueológicas no subsolo, em dois sítios arqueológicos no estado do Pará: o sítio PA-SA-4, da fase arqueológica Areão e o sítio Ilha dos Bichos da fase Marajoara. No PA-SA-4, foi empregado o método magnético, enquanto que na Ilha dos Bichos, além do método magnético, foi usado o eletro-resistivo. O método eletro-resistivo possibilitou não só a determinação da camada de ocupação, pois esta camada se comporta geoeletricamente diferente das camadas que compõem as formações geológicas da região, como também permitiu detectar camadas compactas de argila, planas e horizontais, de origem arqueológica, situadas no lado oriental da Ilha dos Bichos. O método magnético levou à detecção de antigos locais de queima, devido a magnetização termo-remanente adquirida pelas argilas no processo de aquecimento/resfriamento, permitindo a descoberta de antigos fornos, bem como de uma urna funerária sob espessa camada de argila queimada.

ABSTRACT

This study is the first attempt to apply geophysical methods in research into archeological sites in Brazil. These methods were used with the objective of detecting archaeological remains in the sub-soil in two archaeological sites in the State of Pará: site PA-SA-4, from the Areão archaeological phase, and "Ilha dos Bichos" site from the Marajoara phase. In PA-SA-4, the magnetic method was employed, while at "Ilha dos Bichos" both electro-resistive and magnetic methods were used. The electro-resistive method made possible the determination of the occupied layers, since these behave like geoelectrical beds, different from those of the geological formations of the area. It also permitted the detection of compact layers of clay, planar and horizontal, of archaeological origin, located on the east side of the "Ilha dos Bichos". The magnetic method led to the detection of ancient firing places, thanks to the thermo-remnant acquired by the clay in the process of heating/cooling, and thus permitted the discovery of ancient kilns, as well as a burial urn under a thick bed of burnt clay.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	O MÉTODO MAGNÉTICO EM ARQUEOLOGIA	3
2.1	Introdução	3
2.2	Fontes de Anomalias Magnéticas de Origem Arqueológica	5
2.3	Modelamento de Anomalias Magnéticas	8
2.4	Instrumentação e Procedimento de Campo	12
3.	O MÉTODO ELETRO-RESISTIVO EM ARQUEOLOGIA	19
3.1	Introdução	19
3.2	Fontes de Anomalias Eletro-resistivas de Origem Arqueológica	19
3.3	Instrumentação e Procedimento de Campo	20
4.	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS A ARQUEOLOGIA DO ESTADO DO PARÁ	23
4.1	A Arqueologia da Amazonia	23
4.2	Feições Arqueológicas Que Podem Causar Anomalias Geofísicas	24
4.3	Pesquisa Realizada no Sítio Arqueológico PA-SA-4	25
4.4	Pesquisa Realizada no Sítio Arqueológico "Ilha dos Bichos"	27
5.	CONCLUSÕES	50
6.	BIBLIOGRAFIA	52

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - (1a) Perfis magnéticos de Fornos de Origem Romana.	4
(1b) Perfis magnéticos de uma cavidade aproximadamente hemisférica.	4
Figura 2 - Anomalias de Dipolo, Perfis de Intensidade Magnética de Campo Total.	11
Figura 3 - Relação entre a profundidade Z, do Dipolo Magnético e o valor W, que é a distância entre dois pontos em que a anomalia tem metade do valor extremo.	13
Figura 4 - Gráficos para interpretação da Intensidade Magnética.	18
Figura 5 - Arranjo de Eletrodos usados em Eletro-resistividade.	21
Figura 6 - Mapa do litoral de Marapanim com a localização do sítio PA-SA-4, Pará	26
Figura 7 - Perfis Magnéticos de Intensidade de Campo Total. Teso Arqueológico PA-SA-4. Ilha de Marudá - Pará.	28
Figura 8 - Mapa Magnético, Intensidade de Campo Total. Teso Arqueológico PA-SA-4. Ilha de Marudá - Pará.	29
Figura 9 - Mapa de Localização do Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos", Cachoeira do Arari, Ilha do Marajó, Pará.	30
Figura 10- Sondagem Elétrica Vertical. A curva é obtida com valores teóricos.	32
Figura 11- Sondagem Elétrica Vertical. A curva é obtida com valores teóricos.	33

- Figura 12- Perfis de Resistividade, Arranjo Wenner -
Separação dos eletrodos , 5m. Teso Arqueo-
lógico "Ilha dos Bichos", Ilha de Marajó-
-Pará. 35
- Figura 13- Perfis de Resistividade. Arranjo Wenner
Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos" Cacho-
eira do Arari - Ilha do Marajó - Pará. 36
- Figura 14- Perfis Magnéticos Intensidade de Campo To-
tal. Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos"-
Ilha do Marajó - Pará. 38
- Figura 15- Perfis Magnéticos de Intensidade de Campo
Total. Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos"
-Ilha do Marajó - Pará 40
- Figura 16- Perfis Magnéticos, Intensidade de Campo
Total, Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos"
-Ilha do Marajó - Pará. 41
- Figura 17- Perfis da face Oriental do corte A do sí-
tio "Ilha dos Bichos" na Ilha do Marajó
mostrando a estratificação observada no
depósito no dia 2 de julho de 1977. 44
- Figura 18- Perfis de Intensidade Magnética de Campo
Total - Prospecção de antigos fornos de ar-
gila - Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos"
Ilha do Marajó - Pará. 45
- Figura 19- Perfis da face Oriental do corte A₂ do sí-
tio "Ilha dos Bichos" na Ilha do Marajó ,
mostrando a estratificação observada no
depósito no dia 14 de novembro de 1977. 46
- Figura 20- Perfis de Eletro-resistividade e Magneto-
metria. Prospecção de uma urna funerária
coberta por espessa camada de argila- Ilha
do Marajó - Pará. 47
- Figura 21- Perfurações no Teso Arqueológico "Ilha dos

Bichos", tendo acima as respectivas anomalias magnéticas no Local. Ilha do Marajó-Pará.

48

Fotos

54

1 - INTRODUÇÃO

A prospecção de sítios arqueológicos é realizado usualmente, fazendo-se um reconhecimento de superfície, através da constatação de remanescentes arqueológicos aflorantes e pela observação do relevo. Após este reconhecimento, o arqueólogo deve prever os locais ideais para realizar as escavações. Este método, entretanto, é pouco compensador, pois a maior parte do material arqueológico encontra-se no subsolo e, só algumas vezes, está relacionado com indícios de superfície. Por outro lado, escavações envolvem tempo e custos elevados, desse modo, geralmente, são feitas somente em uma pequena área dos sítios arqueológicos. Em face a essas dificuldades, o presente trabalho introduz os métodos geofísicos na pesquisa de sítios arqueológicos brasileiros. Esses métodos tornam-se indicados pelo seu poder de investigação do subsolo, sendo empregados principalmente para determinar os locais mais favoráveis para realizar escavações e fazer a previsão de características relativas a feições ocultas no subsolo, como o volume, a forma e a profundidade em que se encontram.

Alguns países, como a Itália e a Inglaterra, têm usado os métodos geofísicos na prospecção arqueológica e os resultados têm sido positivos. Entre os métodos mais usados estão os métodos magnético e o eletro-resistivo. O método magnético se aplica principalmente à prospecção de feições de argila queimada e cavidades preenchidas com detritos ou sedimentos (Aitken, et alli, 1958 ; Aitken, 1960, 1961). O método eletro-resistivo, é indicado na prospecção de fossos, muros, tumbas e cavernas (Atkinson, 1952; Palmer, 1959; Lerici, et alli, 1959).

No Brasil, há urgente necessidade de acelerar os trabalhos de prospecção aos numerosos sítios arqueológicos espalhados por seu imenso território, antes que a rápida expansão da civilização moderna venha a destruí-los totalmente. Um grande esforço, neste sentido foi feito com a criação do Programa Nacional de Pesquisas Arqueológicas - PRONAPA - que de 1965 a 1970 procedeu ao mapeamento de mais de 1500 sítios, dos quais cinco sambaquis foram escavados intensivamente (Evans e Meggers, 1974). Os métodos

geofísicos, entretanto, ainda não haviam sido usados para a prospecção de sítios arqueológicos em território brasileiro e, o presente trabalho inicia suas aplicações com a prospecção de dois sítios arqueológicos no estado do Pará: o PA-SA-4, localizado no município de Marapanim e o teso "Ilha dos Bichos", na Ilha do Marajó. Os métodos geofísicos empregados na prospecção foram o eletro-resistivo e o magnético.

O método eletro-resistivo foi usado para determinar com maior precisão a camada de ocupação, inclusive sua profundidade, e detetar feições arqueológicas que tem resistividade elétrica distinta do meio circundante. As feições arqueológicas de argila compactada, em geral, apresentam resistividade relativamente alta. O método magnético, além de determinar a extensão da camada de ocupação, tem grande desempenho na detecção de feições arqueológicas de argila queimada, que constitui o principal remanescente dos povos que habitaram a Amazônia. Este método permite também a localização de cavidades preenchidas com sedimentos, principalmente se estes forem ricos em matéria orgânica.

Existem trabalhos de prospecção anteriores a este, usando métodos tradicionais de pesquisa nos sítios arqueológicos acima mencionados. No sítio PA-SA-4, a pesquisa realizada por Correa e Simões (1971), conduziu à determinação de uma nova fase arqueológica, a fase Areão. Na ocasião, foram feitos dois cortes estratigráficos (2x2) e o material coletado, com exceção de pequenas concreções ferruginosas e dois artefatos lícitos, é constituído por fragmentos de cerâmica. O sítio arqueológico Ilha dos Bichos, foi visitado por J. B. Steere em 1971, porém uma pesquisa sistemática só mais tarde foi realizada por Figueiredo e Simões (1963). O corte estratigráfico (1x1) feito na ocasião, forneceu 2240 fragmentos e duas peças relativamente pequenas de cerâmica. Com relação a este sítio há, ainda, um trabalho de datação (carbono-14) realizado pelo Smithsonian Institution, cujos resultados foram: a) corte C; nível 0,78 a 0,98m, 1260 ± 200 anos; corte C, nível 1,35 a 1,75m, 550 ± 500 anos; corte B, nível 2,00 a 2,25m, 2020 ± 280 anos.

2 - O MÉTODO MAGNÉTICO EM ARQUEOLOGIA

2.1. - Introdução

O método magnético, o mais antigo em prospecção geofísica, vem sendo usado desde os fins do século XIX. Iniciado na Suécia para a localização de depósitos de ferro, seu objetivo é a determinação de anomalias locais do campo magnético, originadas pela variação da distribuição e da concentração de minerais magnéticos nas rochas, principalmente a magnetita, a titanomagnetita, a maghemita, a titanomaghemita e os sulfetos minerais da série troilita-pirrotita (Nagata, 1961 e Parasnis, 1970).

A magnetometria é empregada para estudar uma vasta gama de problemas geológicos, pois unidades geológicas podem diferenciar-se através de suas propriedades magnéticas. Esse contraste é, geralmente, pequeno, sendo portanto, necessário o emprego de aparelhos altamente sensíveis e de grande precisão nas medidas. Falhas geológicas, intrusões de rochas ígneas, domos salinos associados a campos petrolíferos ou meteoritos ocultos, são exemplos de estruturas que podem ser localizadas através do método magnético.

A forte magnetização termo-remanente dos fornos de argila usados por antigas civilizações, levou a estender-se o método magnético às pesquisas arqueológicas. Estruturas de argila cozida são bastante frequentes mesmo em civilizações primitivas, e sua termo-remanência era um fenômeno bem conhecido na época em que se começou a utilizar o magnetismo na prospecção de sítios arqueológicos (Aitken, M.J., 1961).

No decorrer das primeiras prospecções, constatou-se, no entanto, que algumas anomalias magnéticas, com a mesma ordem de grandeza das produzidas pelos fornos, emanavam de cavidades preenchidas com sedimentos ou detritos, principalmente, os de origem orgânica. Essas cavidades eram feitas para diferentes propósitos: guardar alimentos, atirar o lixo ou sepultar os mortos. Assim, o método magnético aplicado à pesquisa arqueológica teve seu raio de ação aumentado e, pouco a pouco, outras estruturas foram sendo localizadas por seu intermédio, tais como: canais, muros de alvenaria e estradas pavimentadas (Aitken, M.J., 1961).

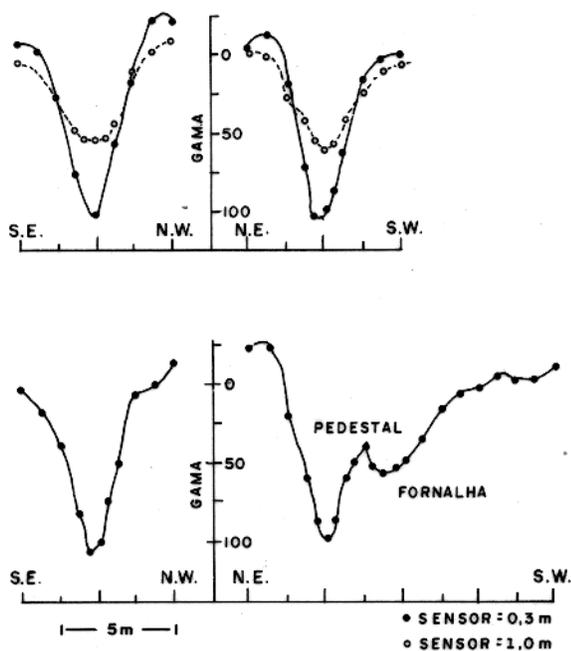


FIG. 1a) PERFIS MAGNÉTICOS DE FORNOS DE ORIGEM ROMANA. PROSPECTADOS NA INGLATERRA. AS CURVAS ACIMA SÃO TRANSVERSAIS PASSANDO PELO MÁXIMO. OS FORNOS TEM CERCA DE 1,60m DE DIÂMETRO ESTANDO SEU ASSOALHO A 1,50 m ABAIXO DA SUPERFÍCIE. (AITKEN M. J. 1961)

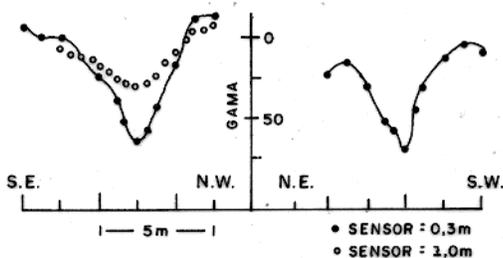


FIG. 1b) PERFIS MAGNÉTICOS DE UMA CAVIDADE APROXIMADAMENTE HEMISFÉRICA COM 2,30 DE LARGURA. SEU TOPO ESTAVA A 0,50 m E SEU LIMITE INFERIOR A 1,50 m ABAIXO DA SUPERFÍCIE DO SOLO. O SEDIMENTO DO INTERIOR DA CAVIDADE TINHA ALTO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA. (AITKEN, M. J. 1961)

2.2. - Fontes de Anomalias Magnéticas de Origem Arqueológica

São bastante numerosas as feições arqueológicas que podem causar anomalias magnéticas, dentre estas, estão as feições de argila queimada, como: fornos e vasos; as cavidades, principalmente, as utilizadas para depósitos de lixos domésticos, fezes e para enterrar os mortos; solos de sítios arqueológicos; objetos de ferro.

2.2.1 -Argila Queimada

Os objetos de argila queimada são importantes em prospecção arqueológica. Seu uso foi frequente em muitas civilizações antigas e são, muitas vezes, o seu principal remanescente, pois possuem forte resistência à ação do tempo.

A argila pode adquirir magnetização termo-remanente e originar fortes anomalias no campo geomagnético. Quando a argila é aquecida, ao se resfriar no campo magnético da Terra, adquire magnetização, chamada termo-remanente. Os óxidos de ferro que se encontram disseminados na argila, tendem a alinhar seus domínios magnéticos de forma tal que a magnetização resultante tenha a direção do campo magnético da Terra. Os domínios magnéticos permanecem fixos após o resfriamento, determinando assim, a intensidade e a direção da termo-remanência. A intensidade da magnetização depende do tipo e da quantidade dos óxidos de ferro disseminados.

Os dados abaixo são valores de saturação da magnetização específica dos óxidos de ferro:

Magnetita (Fe_3O_4)	92 emu/g
Maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$).....	82 emu/g
Hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$).....	0,5 emu/g

A hematita tem a mesma fórmula química da maghemita, mas seus arranjos cristalinos diferem. A hematita, devido a sua fraca magnetização, praticamente não contribui na formação de anomalias detetáveis, sendo, portanto, a maghemita e a magnetita os óxidos de ferro que determinam a magnetização das argilas. A prospecção magnética pode, portanto, detetar estruturas de argila queimada, tais como: fornos, muros de alvenaria e vasos de cerâmica.

Fornos de argila de origem romana têm sido detectados na Europa, através da prospecção com o método magnético. A magnetização termo-remanente adquirida pelos fornos é bastante intensa devido aos sucessivos aquecimentos a que são sujeitos durante o uso. Os cálculos que se seguem são uma estimativa teórica do máximo da anomalia magnética de um forno de origem romana, considerando a magnetização remanente da argila queimada, na mesma direção e sentido do campo geomagnético (Aitken, M.J., 1961).

Para os fornos romanos, pode-se admitir como valores médios: peso 1000 Kg e magnetização 5000 emu. A magnetização específica da argila varia de 0,0001 a 0,1 emu/g. A expressão abaixo, permite calcular a intensidade máxima da anomalia produzida por tal forno, se estiver situado no polo magnético da Terra, assumindo o modelo dipolar, e sendo d a distância do ponto de máxima intensidade ao centro do dipolo.

$$F = \frac{2M}{d^3}$$

$$d = 1 \text{ metro}$$

$$F = 1000 \text{ gamas}$$

$$d = 2 \text{ metros}$$

$$F = 125 \text{ gamas}$$

$$d = 3 \text{ metros}$$

$$F = 37 \text{ gamas}$$

Se o forno estiver situado no equador terrestre, esses valores devem ser reduzidos à metade (secção 2.3.1).

$$F = \frac{M}{d^3}$$

$$d = 1 \text{ metro}$$

$$F = 500 \text{ gamas}$$

$$d = 2 \text{ metros}$$

$$F = 62 \text{ gamas}$$

$$d = 3 \text{ metros}$$

$$F = 18 \text{ gamas}$$

A anomalia de 18 gamas, que é o valor mais baixo dos valores estimados, pode ser facilmente detetada com o magnetômetro de precessão de prótons.

Nos fornos de origem romana, quando o topo do pedestal está acerca de 1,5 m do sensor do magnetômetro, as anomalias geralmente apresentam-se entre 100 e 200 gamas. A figura 1a mostra a a-

nomalia magnética encontrada durante a prospecção de dois fornos de origem romana.

2.2.2 - Camada de Ocupação

Os solos de povoados podem ser localizados com o método magnético pois, em geral, possuem susceptibilidade magnética relativamente alta.

Estudos experimentais realizados (Le Borgne 1955) mostram que este fato está ligado à fermentação da matéria orgânica, que favorece a transformação da hematita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) para maghemita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), que é fortemente magnética. Este aumento de constituintes magnéticos no solo, ocorre pela redução da hematita e subsequente reoxidação, que dá origem à maghemita. Este mecanismo exige que períodos úmidos (de redução) se alternem com períodos secos (de oxidação), no decorrer de um tempo não muito longo. Se os períodos de umidade são longos, o ferro tende a passar ao estado ferroso e a migrar, caso a drenagem seja suficiente (Le Borgne, 1960).

2.2.3 - Cavidades Preenchidas

No decorrer das prospecções magnéticas, constatou-se que muitas anomalias que se acreditava terem sido produzidas por fornos, na realidade, eram devidas a cavidades preenchidas com material rico em húmus.

Uma cavidade que não tenha sido originalmente utilizada, será gradativamente preenchida com sedimentos, e propiciará a ocorrência de uma pequena diferença entre a susceptibilidade magnética do refugo de origem sedimentar e o solo circundante. Este contraste será apreciável se o sedimento que preenche a cavidade for rico em matéria orgânica.

O perfil da figura 1b é relativo a uma cavidade preenchida por solo rico em húmus.

2.2.4 - Objetos de Ferro

A maioria dos povos primitivos não chegou a produzir artefatos de ferro. No entanto, a forte intensidade magnética do ferro pode ser causa de interferência na prospecção magnética de sí-

tios arqueológicos, já que os objetos de ferro da civilização atual como: ferraduras, pregos e chaves, podem ser encontrados abandonados no solo dos sítios arqueológicos. Esses objetos, geralmente, são pequenos, situam-se próximos à superfície e produzem anomalia tipo dipolo.

A intensidade da magnetização devida a um dipolo diminui com o cubo da distância. Assim, pequenos objetos de ferro na superfície, podem causar anomalia mais intensa que objetos maiores e alguma profundidade. No entanto, a anomalia diminui, sensivelmente, ao se afastar poucos centímetros, o sensor do magnetômetro. O cálculo da profundidade através da largura da anomalia pode ser útil para identificar os objetos que estão próximos à superfície.

2.3. - Modelamento de Anomalias Magnéticas

A forma exata das anomalias magnéticas produzidas por feições arqueológicas é de difícil previsão devido aos múltiplos parâmetros que entram na questão, tais como: o volume das feições, a intensidade e direção da magnetização. Pode-se obter, entretanto, bons resultados através dos seguintes modelos matemáticos: anomalia produzida por dipolo ou esfera uniformemente magnetizada e linha de dipolos ou cilindro uniformemente magnetizado.

2.3.1 - Dipolo Magnético e Esfera Uniformemente Magnetizada

Uma esfera uniformemente magnetizada, origina um campo idêntico ao produzido por um dipolo que estivesse localizado no centro da esfera. Em geofísica, uma situação importante a considerar é o caso de um dipolo situado sob uma superfície horizontal. Seja M , o momento magnético do dipolo, que forma um ângulo θ com a horizontal e está situado a uma profundidade d . O campo magnético em um ponto P na superfície, pode ser dado em função da distância horizontal OP , sendo O , o ponto da superfície que se encontra sobre a vertical que passa pelo centro do dipolo M . É conveniente medir essas distâncias em unidades de profundidade d , para obter resultados mais simples; OP é, portanto, xd e não simplesmente x . O campo medido F , é sempre a soma vetorial do campo magnético do dipolo

com o campo da terra. O problema não é simples devido ao grande número de variáveis, porém, muitas vezes, o dipolo acha-se na direção do campo magnético da Terra. Neste caso, a variação do campo magnético, medido ao longo de uma linha horizontal passando sobre o dipolo, é dada pela equação abaixo, (Smellie D.W, 1956).

$$F = \frac{M}{d^3} \frac{3\text{sen}^2 I - 1 - 6x \text{sen } I \cos I + x^2(2-3 \text{sen}^2 I)}{(1 + x^2)^{5/2}}$$

Esta equação dá o perfil magnético norte-sul de uma anomalia de dipolo. A variação do campo magnético para um dipolo numa dada profundidade, depende de x e I . O gráfico (fig.2a), é função da variável x , sendo I , a inclinação do campo geomagnético, que é fixa para cada curva e tem valores, 0° e 15° .

Para calcular a intensidade do campo magnético, em um ponto situado sobre a vertical que passa pelo centro do dipolo, basta fazer $X = 0$. Se o dipolo se situa no equador terrestre, $I=0$ e,

$$F = \frac{M}{R^3}$$

Obedecendo às mesmas condições estabelecidas anteriormente para os perfis norte-sul, são apresentados na figura 2b, os perfis leste-este, cuja função correspondente é dada pela equação abaixo, (Smellie, D.W., 1956)

$$F = \frac{M}{d^3} \frac{3\text{sen}^2 I - 1 - y^2}{(1+y^2)^{5/2}}$$

2.3.2 - Linha de Dipolos e Cilindro Uniformemente Magnetizado

Um cilindro uniformemente magnetizado origina um campo idêntico ao produzido por uma linha de dipolos situada no seu eixo.

Quando um cilindro uniformemente magnetizado está alinhado na direção do campo magnético da terra (norte-sul), com o

eixo orientado na direção leste-oeste, a equação para calcular o campo total é

$$F = \frac{2M}{d^3} \frac{2 \operatorname{sen}^2 I - 1 - 4x \operatorname{sen} I \cos I + x^2(1 - 2 \operatorname{sen}^2 I)}{(1 + x^2)^2}$$

Estando o cilindro situado no equador da terra, a intensidade máxima da anomalia é

$$F = \frac{M}{d^2}$$

As curvas derivadas da equação acima, assemelham-se às do dipolo. A dependência de d^2 ao invés de d^3 implica que a anomalia diminui com a distância, com menos rapidez que para o dipolo.

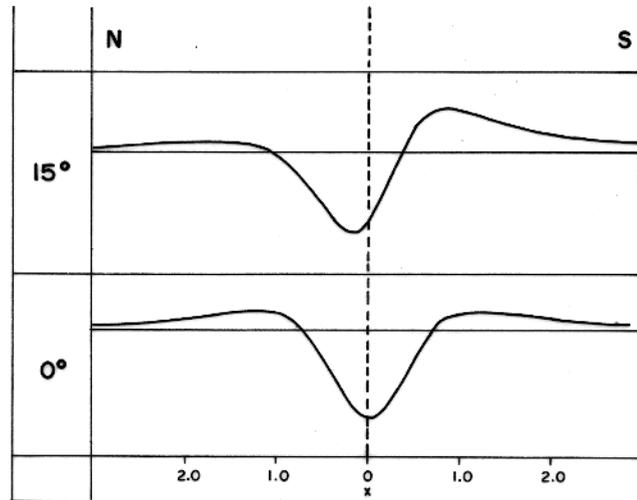
Anomalias originadas por outros tipos de formações, como: cubos, pirâmides, paralelepípedos, etc., são mais difíceis de prever, devido aos efeitos produzidos pelas arestas e pela geometria mais complexa. Na prática, os casos precedentes podem ser usados para fazer a previsão aproximada de várias dessas formações.

2.3.3 - Amplitude da Anomalia e Profundidade da Fonte

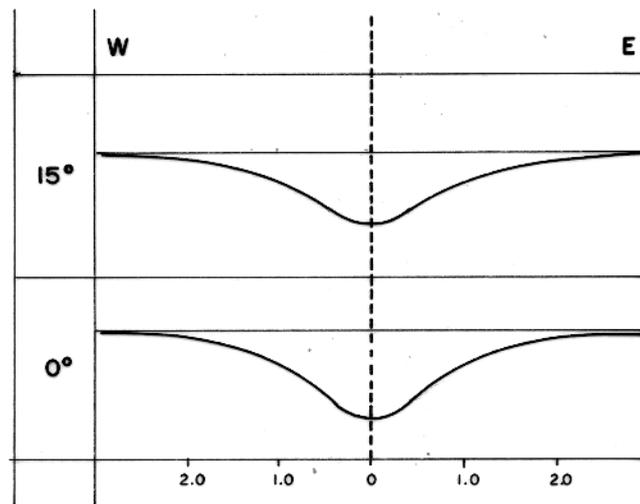
A amplitude das anomalias magnéticas depende da extensão e da profundidade da fonte. Uma anomalia estreita sempre é originada de uma fonte superficial, pois uma anomalia larga, pode ser gerada tanto por uma fonte profunda, como por uma fonte que, embora superficial, tenha grande extensão horizontal. A largura de uma anomalia não pode ser menor que a extensão da fonte.

A distância entre os dois pontos em que a anomalia tem a metade do seu valor máximo, W , está relacionada com a profundidade Z do corpo. Um corpo magnetizado na direção do campo magnético que origina anomalia de dipolo com o centro à profundidade Z , admite as relações:

a) A distância W é igual a profundidade Z , se o campo



a) PERFIL NORTE-SUL



b) PERFIL LESTE-OESTE

FIG. 2 - ANOMALIAS DE DIPOLO. PERFIS DE INTENSIDADE MAGNÉTICA DE CAMPO TOTAL.

externo é vertical (fig. 3.a);

- b) A distancia W é igual a $4/5$ da profundidade Z , se o campo externo é horizontal (fig. 3.b).

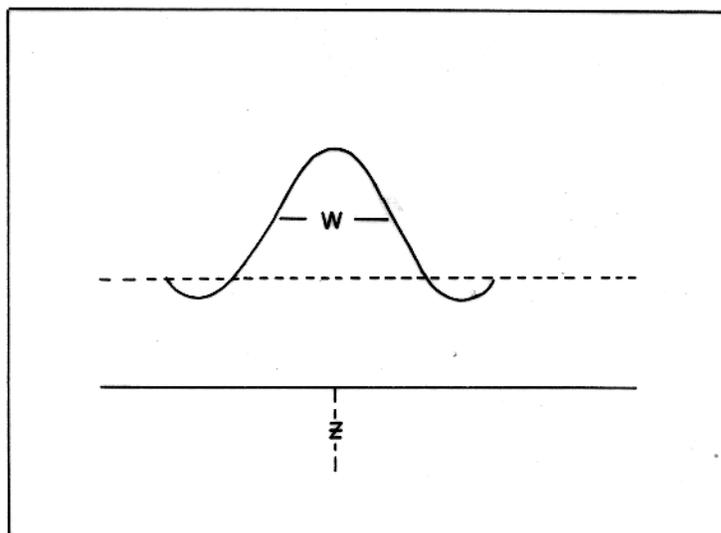
Condições ideais dificilmente ocorreriam: magnetização do corpo, exatamente na direção do campo externo, perfil perfeitamente horizontal, ou estrutura magnetizada uniformemente. Na prática, o erro que se observa é apreciável e, geralmente, fica entre 10 e 50 por cento. É mais correto considerar os resultados como estimativas máximas, isto é, o centro da estrutura estaria a uma profundidade menor que a calculada.

2.4 - INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTO DE CAMPO

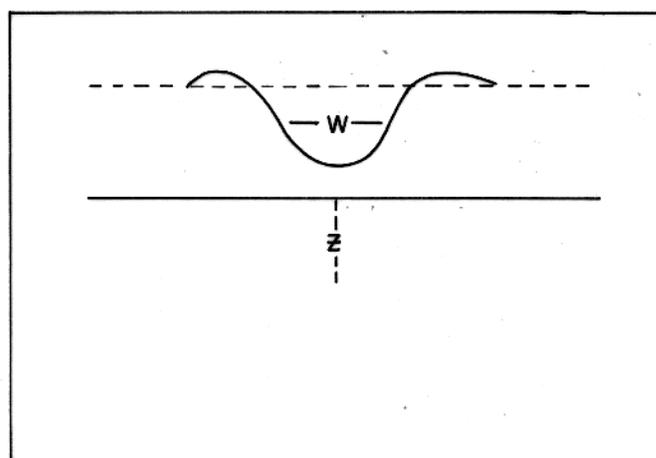
2.4.1 - Instrumentação

Na prospecção arqueológica, as estruturas de interesse, normalmente não são muito grandes e, para detetá-las, é necessário que as leituras de valor do campo magnético sejam feitas em pontos próximos uns dos outros. Isto faz com que a operação real de registrar o campo magnético, ocupe a maior parte do tempo nos trabalhos de prospecção arqueológica, sendo portanto, exigido para esse tipo de prospecção, um aparelho que apresente rapidez e facilidade de operação. Estes requisitos são satisfeitos pelo magnetômetro de precessão de prótons, que ainda tem a vantagem de ser bastante preciso nas medidas. É fácil de transportar e não exige nenhum nivelamento ou orientação.

O magnetômetro de precessão de prótons é assim chamado porque utiliza a precessão dos prótons para medir a intensidade do campo magnético total. Os princípios básicos do seu funcionamento, podem ser explicados como segue. Em uma amostra de água ou álcool, os prótons, com seus momentos magnéticos, comportam-se como pequenos dipolos. Esses ímãs são temporariamente alinhados ou polarizados pela aplicação de um campo magnético uniforme gerado por uma bobina. Quando a corrente é removida, os prótons adquirem movimento de precessão em volta da direção do campo ambiente ou campo magnético da terra, semelhante ao giro de um pião em um campo gra



a) DIPOLO MAGNÉTICO EM CAMPO EXTERNO VERTICAL, $z = W$



b) DIPOLO MAGNÉTICO EM CAMPO EXTERNO HORIZONTAL, $z = 4/5 W$

FIG.3 - RELAÇÃO ENTRE A PROFUNDIDADE Z , DO DIPOLO MAGNÉTICO E O VALOR W , QUE É A DISTÂNCIA ENTRE DOIS PONTOS EM QUE A ANOMALIA TEM METADE DO VALOR EXTREMO.

vitacional. A precessão dos prótons gera, então, um sinal na mesma bobina usada para polarizá-los. A medida do campo magnético total, independe da orientação da bobina ou sensor do magnetômetro, pois se baseia no fato de que a frequência de precessão dos prótons é precisamente proporcional à intensidade do campo magnético externo.

2.4.2 - Causas de Interferência

O objetivo de toda prospecção magnética aplicada à arqueologia é descobrir e registrar as anomalias produzidas por formações arqueológicas. Todas as demais causas de variações magnéticas tendem a provocar interferências e podem limitar a aplicação da prospecção magnética. Dentre elas, as principais são mencionadas a seguir:

a) Materiais de Ferro.

Devido à grande susceptibilidade do ferro, pequenos fragmentos do mesmo podem provocar grandes anomalias magnéticas. Todos os objetos e as construções que normalmente têm ferro, podem ser causas de interferências. Fragmentos de ferro, provenientes da civilização atual, podem ser encontrados mesmo nas zonas afastadas dos centros urbanos, inclusive em pleno campo. A exata extensão da interferência produzida por cada uma dessas formações é difícil de se prever, pois depende da forma, volume e direção da magnetização. É necessário, contudo, observar algumas regras práticas.

1- A prospecção magnética não pode ser feita próximo a construções modernas.

2- Deve-se evitar uma distância inferior a 10 metros das cercas de arame ou de outras formações com notáveis quantidades de ferro.

3- Pequenos objetos isolados provocam interferências em um raio de um ou dois metros. Os efeitos de tais interferências podem normalmente distinguir-se dos produzidos por formações arqueológicas, porque as dimensões da anomalia diminuem rapidamente com a distância, isto é, neste caso, a amplitude da anomalia é muito pe-

quena

4- Teoricamente, as anomalias produzidas pelo ferro, correspondem a um aumento de magnetização. Na prática, esses efeitos podem ser complexos e, às vezes, são registradas também anomalias negativas.

b) Correntes Elétricas

Toda corrente elétrica produz um campo magnético correspondente. As linhas elétricas e telefônicas são causas de interferência, ainda que não haja presença de ferro. A proximidade de uma central elétrica, transformadores e de outras instalações similares também pode originar fortes distúrbios.

c) Efeitos Geológicos

Os efeitos devidos à formações geológicas, não impedem, normalmente, o trabalho de prospecção, entretanto, pode ocorrer que rochas vulcânicas ou depósitos metamórficos ocultem qualquer efeito devido a estruturas arqueológicas.

2.4.3 - Altura do Ponto de Medida

Aumentando-se a altura do aparelho de medida, em relação ao solo, em geral, a anomalia diminui de intensidade. Poderia se concluir, então, que é melhor manter a menor altura possível; porém, se a altura é demasiado pequena, a interferência devido a informações superficiais e a fragmentos recentes, pode se tornar muito importante. Na prática, uma altura compreendida entre meio e um metro é, em geral, a mais aconselhável.

2.4.4 - Método Para Leitura

O método empregado para efetuar leituras, depende do tipo de formação que se pretende investigar, das condições do terreno e do tempo disponível. Pode-se simplesmente efetuar perfis ou então fazer uma completa cobertura da zona. A exploração de uma área é feita, com muito mais detalhe, se houver uma cobertura completa. Perfis podem ser recomendados, quando se quer fazer uma

seleção prévia de zonas de provável interesse, delinear formações lineares e quando o terreno apresenta difíceis condições de trabalho.

Quando não existem indicações superficiais importantes ou obstáculos, um sistema conveniente é demarcar quadrados de 10x10m, que se prospectam um a um, efetuando leituras a intervalos de 1 ou 2 metros. Esse pequeno espaçamento entre duas leituras de ve-se às dimensões das formações arqueológicas que geralmente não são muito grandes. Na prática, para rápida localização dos pontos de leitura, pode-se construir uma malha quadrada de 10x10m de fios de nylon situados à distância sucessiva de 2m. Concluída a leitura em uma área de 10x10m, desloca-se imediatamente a malha para a área vizinha, obtendo assim, maior rapidez na prospecção.

2.4.5 - Tempo de Operação

Um elemento importante é a rapidez com que se pode realizar um trabalho de prospecção. O magnetômetro de próton, leva de 3 a 5 segundos para efetuar uma medida, sendo que o período real de medida em que o aparelho tem de ficar fixo, é somente cerca de meio segundo. Um quadrado de 10x10m pode ser efetuado em 10 minutos. Considerando o tempo para operações suplementares, é possível terminar quatro quadrados em uma hora. Admitindo-se as perdas de tempo como dias perturbados, devido às tempestades magnéticas, uma área de 1 hectare (100 quadrados de 10x10m) poderia ser explorada em menos de uma semana.

2.4.6 - Correção da Variação Magnética Diurna

A prospecção magnética é feita através do registro da variação magnética no espaço. As variações magnéticas de tempo são causas de graves interferências. As variações de tempo, ditas normais ou diurnas, embora dificultem os trabalhos de prospecção, podem ter seus efeitos corrigidos com o emprego de um magnetômetro auxiliar, que permanece fixo, cuja função é registrar essas variações. As tempestades magnéticas entretanto, tornam impossível a

prospecção magnética, mas, raramente duram mais de um dia e, neste caso, deve-se esperar que o campo local volte a se normalizar.

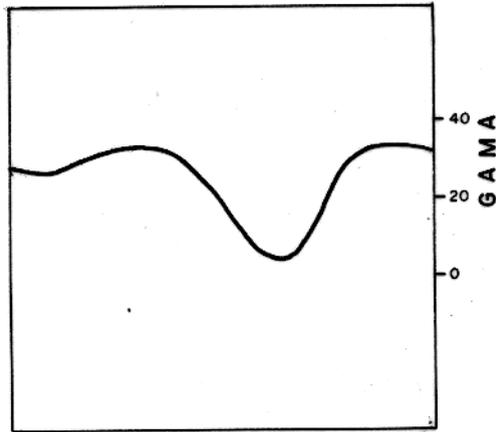
2.4.7 - Representação Gráfica dos Dados

Após a correção dos dados, devido às variações de tempo, uma correta representação gráfica facilita bastante a interpretação. As formas mais usuais de representar graficamente são: os perfis, as curvas de nível e o método simbólico.

1- Os perfis são gráficos cartesianos cuja intensidade magnética está em função da distância (fig 4a) que se refere às medidas de um mesmo perfil no campo.

2- As curvas de nível são linhas de igual intensidade magnética (fig 4b), mantendo-se entre elas um intervalo constante. Essas curvas são traçadas interpolando-se dois valores para achar um resultado intermediário. Este valor introduz um erro, caso as leituras sejam feitas em pontos muito distantes um do outro. Se houver muito ruído, ou se as anomalias magnéticas forem muito pequenas, o erro introduzido pode aumentar. Neste caso, é mais útil o método simbólico.

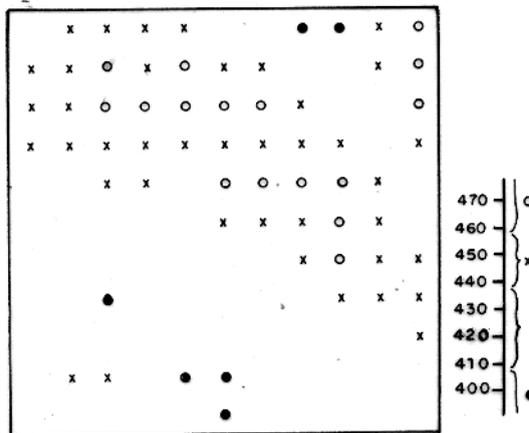
3- O método simbólico é indicado especialmente para regiões muito complexas (fig 4c). Cada símbolo representa um intervalo de leitura. No exemplo, cada intervalo tem 10 unidades. Um grupo de leituras médias foi deixado em branco, pois isto, em geral, facilita a interpretação.



a) PERFIL



b) CURVA DE NÍVEL



c) MÉTODO SIMBÓLICO

FIG. 4 - GRÁFICOS PARA INTERPRETAÇÃO DA INTENSIDADE MAGNÉTICA.

3. O MÉTODO ELETRO-RESISTIVO EM ARQUEOLOGIA

3.1 - Introdução

O método eletro-resistivo foi experimentado em arqueologia, para localizar diques e cavidades preenchidas por sedimentos, que vistos do alto, apresentavam as mesmas características das áreas cultivadas, não sendo possível relacioná-los com pontos no solo. Os fundamentos teóricos deste método e suas aplicações em arqueologia, foram resumidos por Aitken (1961), enquanto que uma descrição detalhada das técnicas de campo foi publicada por Atkinson (1953).

Em eletroresistividade, uma voltagem elétrica é aplicada no solo e a resistência ao fluxo de corrente é medida. A resistividade das rochas depende da quantidade de água contida nos poros. Portanto, rochas duras e compactas apresentam alta resistividade, ocorrendo o inverso com rochas porosas. Em arqueologia, o importante é considerar o contraste de resistividade entre a feição arqueológica e a rocha encaixante. Desse modo, paredes, túmulos e pisos, de pedra ou alvenaria, são detetáveis quando inseridos em sedimentos, enquanto que valas ou cavidades preenchidas com sedimentos, são detetáveis quando cortadas em rochas compactas.

3.2.- Fontes de Anomalias Eletro-resistivas de Origem Arqueológica

O método eletro-resistivo é particularmente indicado para a prospecção de feições lineares como diques e muros, permitindo, entretanto, detetar construções de alvenaria, cavidades preenchidas com sedimentos e cavernas, estas, pela alta resistividade do vazio no seu interior.

Paredes de alvenaria produzem fortes anomalias de resistividade. Quando os eletrodos de corrente estão sobre uma parede, ocorrem intensas flutuações nas medidas de resistividade. Este tipo de feição produz uma anomalia em forma de M.

Cavidades preenchidas com sedimentos têm, em geral, baixa resistividade, devido à umidade em seu interior. É possível,

entretanto, que este sedimento esteja seco ou adquira umidade semelhante à da rocha encaixante, tornando-se difícil sua detecção.

3.3 - Instrumentação e Procedimento de Campo

No método eletro-resistivo, a corrente elétrica é injetada no solo para se medir a resistência ao fluxo de corrente. Neste processo, em geral, usa-se dois pares de eletrodos (fig 5a e 5b). Um par, AB, conectado a uma fonte de tensão, é encarregado de fazer fluir corrente através do solo. O outro par, MN, serve para que se possa medir a diferença de potencial entre os pontos onde se encontra localizado. Para anular os efeitos do "potencial espontâneo", é necessário produzir uma tensão de mesmo valor e polaridade oposta. Isto é feito através de um circuito auxiliar.

A resistividade é dada por:

$$\rho = K \frac{V}{I}$$

V - é a diferença de potencial entre os pontos MN

I - é a corrente elétrica injetada através de AB

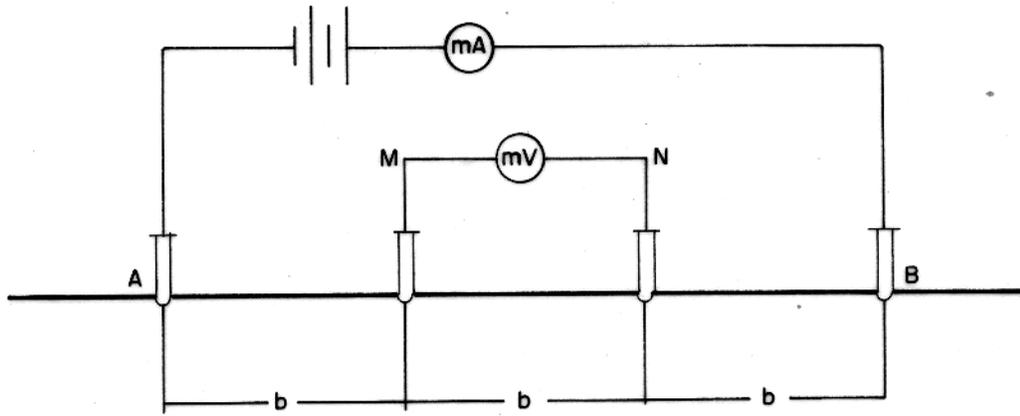
K - é um fator que depende da geometria ou arranjo dos eletrodos.

$$K = \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}$$

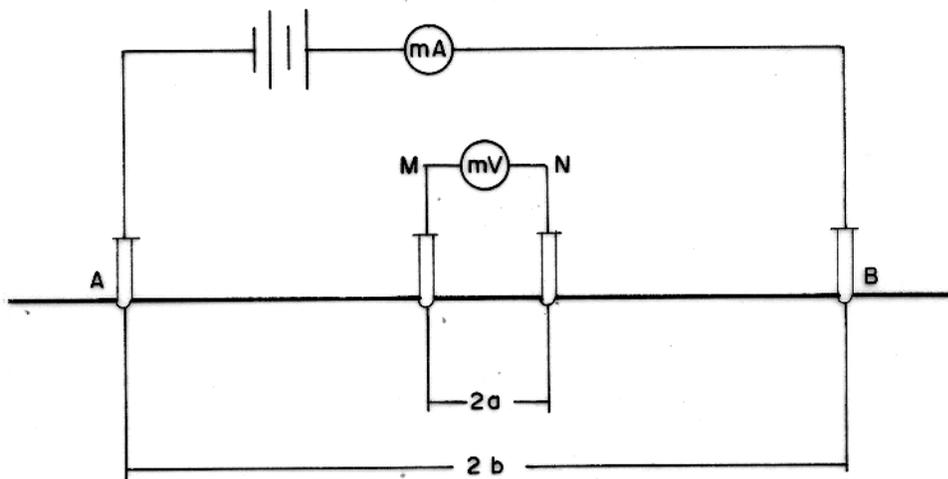
ρ expressa a resistividade do solo, se este é homogêneo, caso contrário, é denominado "resistividade aparente", pois seu valor depende das resistividades de cada camada percorrida pelo fluxo de corrente.

Arranjos de eletrodos Wenner e Schulumberger são comumente usados em prospecção. No arranjo Wenner, os eletrodos são alinhados mantendo a mesma distância entre si. No arranjo Schulumberger a distância entre os eletrodos de medida deve ser muito menor que a distância entre os eletrodos de corrente (fig. 5a).

A sondagem elétrica é vertical ou horizontal, conforme a investigação seja lateral ou em profundidade. Em sondagem late-



a) ARRANJO WENNER



b) ARRANJO SCHLUMBERGER

FIG.5 - ARRANJO DE ELETRODOS USADOS EM ELETRO-RESISTIVIDADE..

ral, os quatro eletrodos se deslocam através dos perfis, mantendo distancia constante. Em sondagem vertical, em princípio, mantêm-se os eletrodos de medida fixos e os outros dois são deslocados sempre equidistantes do centro geométrico.

4. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS À ARQUEOLOGIA NO ESTADO DO PARÁ

4.1. A Arqueologia na Amazonia

O conhecimento da arqueologia da Amazônia e, consequentemente, do estado do Pará, é relativo à fase ceramista, pois ainda não se tem evidências concretas da existência de grupos procerâmicos. A natureza geológica sedimentar da região amazônica, dificulta a obtenção de rochas duras para o fabrico de artefatos resistentes à ação do tempo. O clima úmido tropical decompõe rapidamente os artefatos obtidos a partir da matéria orgânica. Portanto, a cerâmica é o melhor testemunho dos povos que habitaram esta região. Havia os grupos "coletores", que viviam da caça e coleta de frutos e mariscos; os portadores de cultura tipo "agricultores da floresta tropical", que possuíam agricultura, cerâmica, tecelagem e fabricavam canoas; e os "cacicados", que eram formados por pequenas sociedades multicomunitárias (federações).

As fases arqueológicas agrupadas de acordo com as características comuns que distinguem os artefatos, ou seus restos, de outros semelhantes, constituem as tradições ceramistas, que na Amazônia são: Mina, Hachurada Zonada, Borda Incisa, Inciso Ponteadada, Tupi Guarani, Policrômica, Cerâmica Santarém. Suas características foram bem descritas por Figueiredo e Folha (1976), sendo transcritas, a seguir gamelas que pertencem às tradições Policrômica e Mina, por serem de particular interesse, pois a elas estão filiadas respectivamente os dois sítios Ilha dos Bichos e PA-SA-4, pesquisados no presente trabalho: A tradição Policrômica é caracterizada por exuberante decoração, complexidade de padrões e variedades de técnicas e motivos. A pintura vermelha e/ou preta sobre branco é a mais frequente; entretanto, incisões, excisões sobre a superfície simples ou com engobo vermelho e/ou branco, também são representativas. Os sítios são de tres ordens: habitação, extensos em área, porém com refugos superficiais, indicando grande população e pouca permanência no local; cemitérios, onde o sepultamento secundário era feito em urnas depositadas em locais isolados; cerimoniais, onde foram encontradas evidências de prático

cas religiosas ou sociais. Na Ilha do Marajó, os portadores dessa tradição, construíram grandes aterros artificiais (mounds) não encontrados em outros locais, exceção do leste da Bolívia. Associados encontram-se outros artefatos de cerâmica tais como fusos, colheres, tangas, bancos e pequenos objetos de fino acabamento. Os fabricantes dessa cerâmica estavam no estágio do cacicado. A tradição Mina, caracterizada por cerâmica temperada com conchas moídas, de textura levemente abrasiva e superfícies vacuolares. A decoração é representada por tipos de engobo vermelho sobre superfícies simples e fileiras de entalhes abaixo da borda e/ou ao redor do corpo do vaso. Os fabricantes dessa cerâmica eram coletores de mariscos e/ou de gastrópodes".

4.2 - Feições Arqueológicas que Podem Causar Anomalias Geofísicas

Nas secções 2.2 e 3.2 foram enumeradas várias feições arqueológicas que constituem fontes de anomalias magnéticas e eletro-resistivas, com breve exposição de motivos. Com base nesses conhecimentos e nos estudos realizados sobre a arqueologia paraense é possível detetar e prever feições arqueológicas no subsolo através da aplicação dos métodos geofísicos, magnético e eletro-resistivo.

a) A camada de ocupação - O solo que constitui esta camada, possui características específicas, pois foi gradativamente alterado pelos restos culturais que vão se acumulando durante os sucessivos períodos de ocupação. Nos sítios arqueológicos paraenses, cacos de cerâmica são encontrados em grande quantidade. Sambaquis são construídos, principalmente por conchas. Há, ainda, os fatores que causam a modificação das propriedades bio-físico-químicas do solo, como, o uso do fogo, e a decomposição dos remanescentes, especialmente os de origem orgânica.

b) Os locais de queima - o fogo, bem conhecido por povos que habitaram sítios paraenses, era usado para cozer a cerâmica, preparar alimentos e em rituais. Os locais de queima em sítios arqueológicos de solo argiloso são fontes de anomalias. Nos lugares em que o fogo foi utilizado com frequência são encontrados verdadei-

ros blocos de argila queimada.

c) Pisos de Habitação - São pisos de chão batido formados por compactas camadas de argila. O uso do fogo no interior das habitações aumentava ainda mais a compactação, tornando as camadas avermelhadas.

d) Urnas Funerárias - Esses imensos vasos de cerâmica alcançam muitas vezes, mais de 70 cm de diâmetro. No seu interior, além de ossos humanos, há sedimentos ricos em humus.

e) Cavidades Prenchidas - Embora não se tenha tomado conhecimento deste tipo de feição em trabalhos publicados sobre a arqueologia paraense, é bastante provável sua existência, pois cavidades feitas para depositar lixo, fezes e outros detritos têm sido comumente usadas, mesmo em civilizações primitivas.

4.3 - Pesquisas Realizadas no Sítio Arqueológico PA-SA-4

4.3.1- Localização e Características do Sítio

O Sítio arqueológico PA-SA-4, pertencente a tradição Mina, está localizado em terras da fazenda Camará no povoado de Bacuriteua, município de Marapanim, a nordeste do Estado do Pará, à margem de estrada carroçável, que liga o centro do povoado à sede da fazenda, em região coberta por extensos areões, com muitas dunas (fig. 6).

O sítio, um teso elevado até 3,5m na parte central, tem 150x70 metros de área. Sua forma é aproximadamente elíptica, com eixo maior no sentido SSW - NNE. Hoje, encontra-se bastante erodido, especialmente, nas bordas.

A região que circunda o sítio, apresenta as seguintes características: ao leste, o solo é alagadiço com raros arbustos (aninga); ao sul, o solo torna-se menos alagado com vegetação de mangue e algumas espécies alcançando porte de árvores; ao Norte e a Oeste, existe um areal com vegetação herbácea.

A superfície do sítio é coberta inteiramente por vegetação densa arbustiva, tornando necessária a abertura de picadas para efetuar os trabalhos. O solo é constituído por camadas arenosas e areno-argilosas. Apresenta fragmentos de cerâmica e o refugo distribui-se irregularmente, variando de 0,60 a 1,20 metros de espessura sobre o teso que lhe serviu de base (Correa e Simões ,

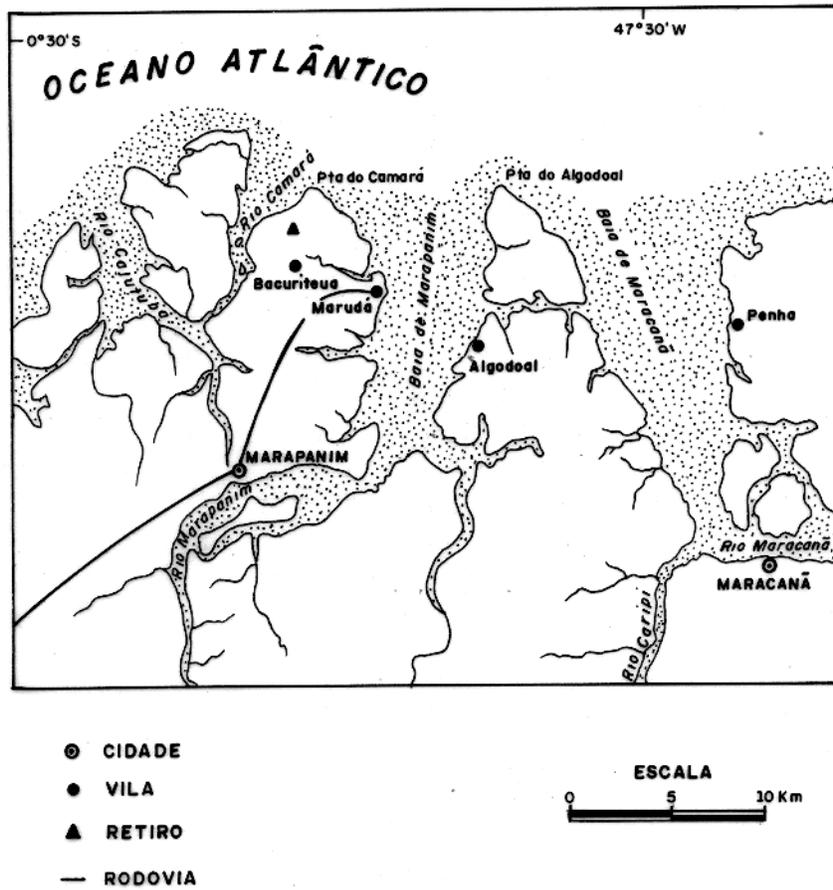


FIG. 6- MAPA DO LITORAL DE MARAPANIM COM A LOCALIZAÇÃO DO SÍTIO PA-SA-4, PARÁ.

1971).

4.3.2 - Aplicação do Método Magnético

A área total, selecionada para a pesquisa, mede 180x150 metros e foi demarcada de modo a se obter informações de intensidade do campo magnético, tanto sobre o teso arqueológico como nas regiões adjacentes.

As medidas magnéticas foram efetuadas a cada 10m ao longo dos 18 perfis, paralelos, com 10m de distância entre si e na direção norte-sul magnético. Para isso foram usados dois magnetômetros de prótons, um deslocando-se ao longo dos perfis para efetuar medidas com o sensor a 0,5m e a 1,0m do solo e o outro, fixo na estação-base, para medir a variação diurna do campo magnético.

As figuras 7 e 8 são respectivamente perfis e curvas de nível magnetométricos do sítio arqueológico PA-SA-4. As oscilações magnéticas em toda a área prospectada são fracas e praticamente uniformes tendo como amplitude máxima, cerca de 10 gamas. Não se verificam anomalias magnéticas nas bordas nem diferença nas oscilações das curvas obtidas sobre o teso e o exterior do mesmo.

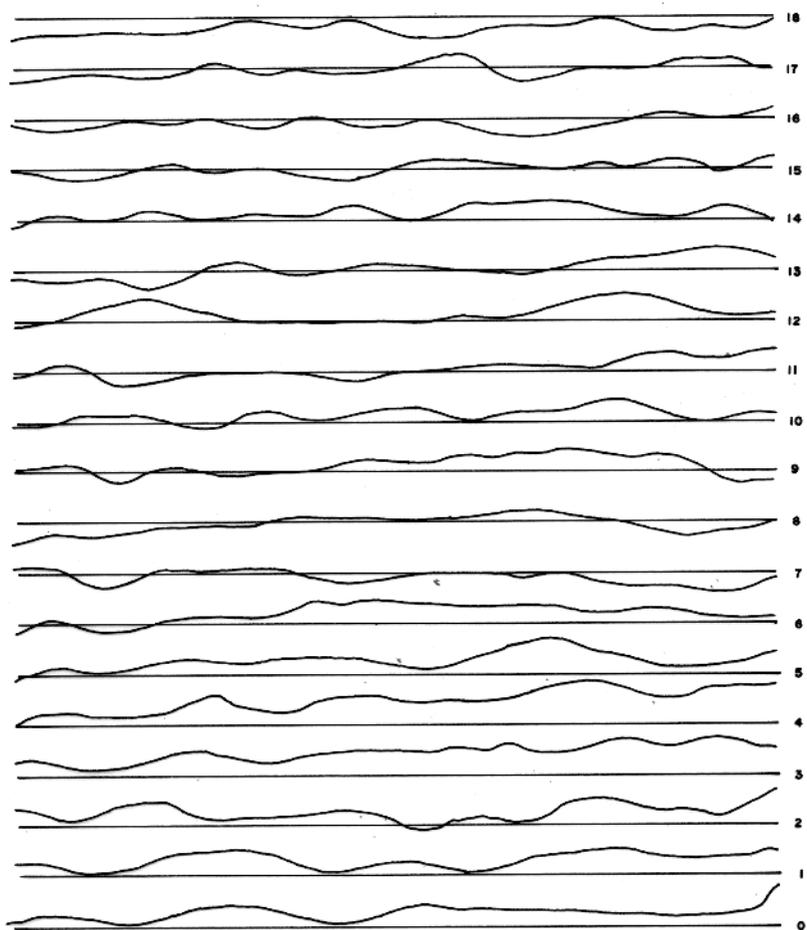
4.4 - Pesquisas Realizadas no Sítio Arqueológico "Ilha dos Bichos"

4.4.1 - Localização e Características

O sítio arqueológico "Ilha dos Bichos" pertencente à tradição policrômica é um teso artificial situado na planície de campos naturais da Ilha do Marajó, Estado do Pará (fig. 9). É banhado, pelo Rio dos Bichos, afluente do Goiapi, nos limites sul e leste. Suas dimensões aproximadas são 150x70 metros e sua altura média é cerca de 3m. Tem forma aproximadamente elíptica, com o eixo maior na direção NNE - SSW.

O sítio fica na localidade denominada fazenda Taperebã, no Município de Cachoeira do Arari - Ilha do Marajó, de propriedade da firma Cardoso & Irmãos.

O acesso, partindo de Belém, se faz por via marítima ou



ESCALA

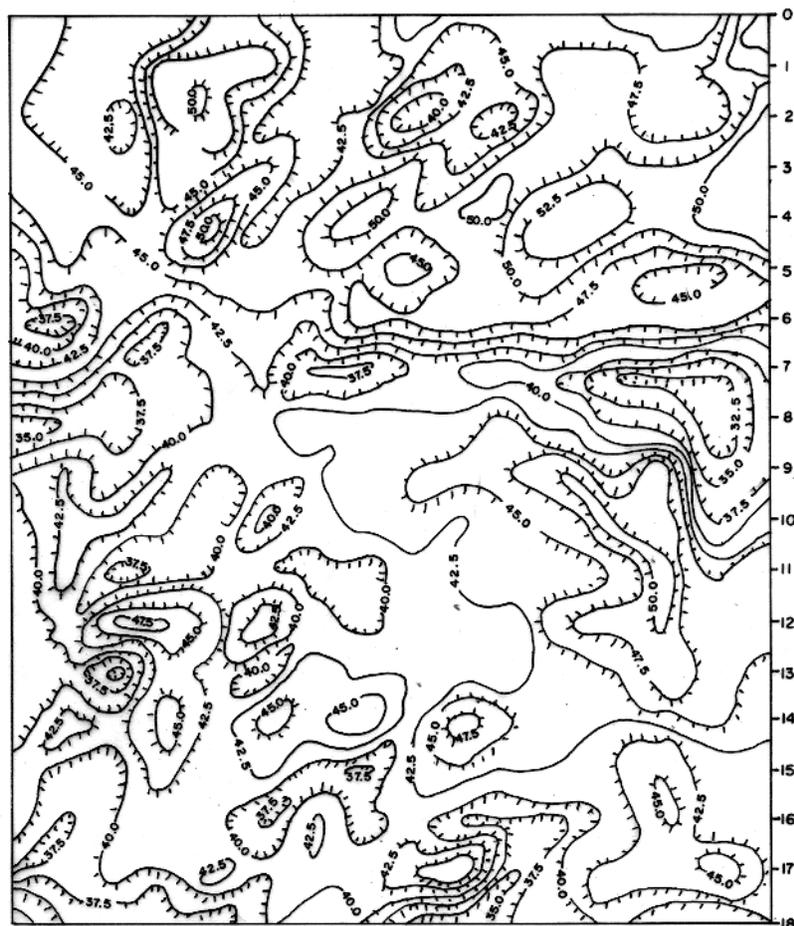
V: 0 20 f

H: 0 10m

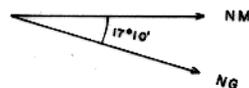
— 28740 f

SENSOR - 0,5m

FIG. 7- PERFIS MAGNÉTICOS DE INTENSIDADE DE CAMPO TOTAL. TESO ARQUEOLÓGICO
PA-SA-4, ILHA DE MARUDÁ - PARÁ



ESCALA



CONTORNOS	}	INTERVALO 2,5 J
		MÍNIMO 28735,0
		MÁXIMO 28750,0

**FIG. 8 - MAPA MAGNÉTICO, INTENSIDADE DE CAMPO TOTAL.. TESO ARQUEOLÓGICO PA-SA-4
ILHA DE MARUDÁ - PARÁ.**

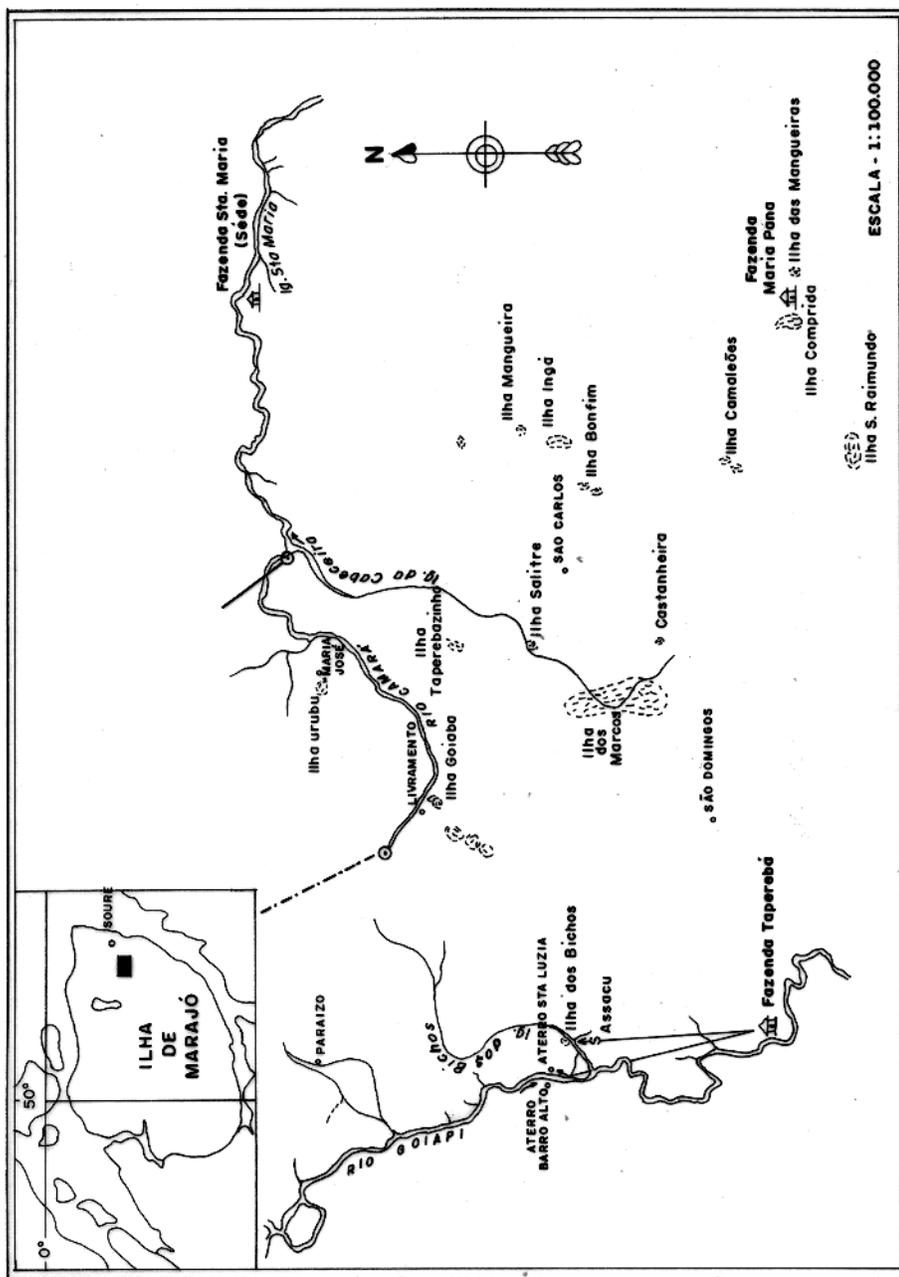


FIG. 9 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO TESO ARQUEOLÓGICO "ILHA DOS BICHOS", CACHOEIRA DO ARARI, ILHA DO MARAJÓ, PARÁ.

aérea, até Cachoeira do Ararí e daí, dependendo do período de seca ou de cheias, vai-se até a fazenda Taperebá, de carro ou de barco. Esses dois meios de transportes não são possíveis durante o período intermediário, sendo muito usados nesta época, caválos e búfalos.

O sítio arqueológico apresenta afloramento de cacos de cerâmica e vestígios do uso do fogo.

4.4.2 - Aplicação do Método Eletro-Resistivo.

O método eletro-resistivo aplicado no Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos", constitui em 2 sondagens verticais Schulumberger S.E.V e seis perfilagens horizontais Wenner.

As sondagens verticais, com afastamento máximo ($\frac{AB}{2}$) de 300 metros, foram usadas para o estudo preliminar dos solos e determinar que a distância entre eletrodos deveria ser mantida ao se fazer sondagens elétricas horizontais, para se obter melhores informações sobre a resistividade do solo do "Teso dos Bichos".

As curvas de sondagem vertical foram, inicialmente, interpretadas pelo método do ponto auxiliar (Zohby, 1965), usando modelos de curvas teóricas (Orelana e Mooney, 1966). Posteriormente, para maior precisão dos resultados, foram processados, automaticamente, no computador da Universidade Federal do Pará, "HP model 9830 A". O método do ponto auxiliar serviu para a elaboração de um modelo inicial, já que não havia nenhum estudo preliminar das camadas da formação geológica da área prospectada.

As figuras 10 e 11 são curvas de sondagem elétrica vertical. As curvas contínuas dos modelos 1 e 2, foram obtidas a partir de cálculos teóricos para curvas de 4 a 5 camadas, respectivamente. Os valores de resistividade e espessura de cada camada são mostrados sob as curvas. Os pontos que acompanham as curvas são valores obtidos no campo. A sondagem da fig. 11 foi feita sobre o Teso dos Bichos, enquanto que a da fig. 10 foi exterior e próxima ao mesmo para se poder fazer comparações.

As duas primeiras camadas do modelo 2 ajustado à curva sobre o Teso dos Bichos, somam tres metros de espessura e refle-

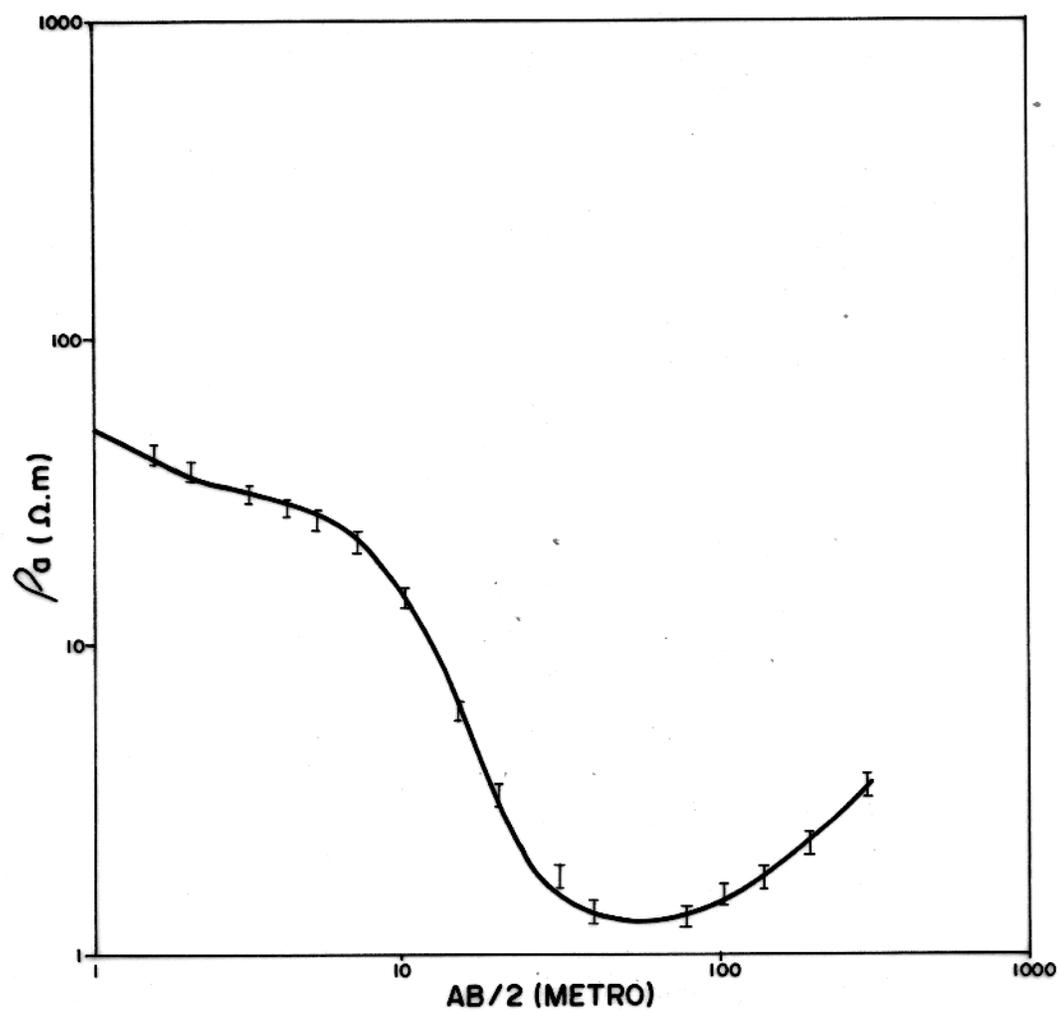


FIG. 10 - SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL. A CURVA CONTÍNUA É OBTIDA COM VALORES TEÓRICOS:

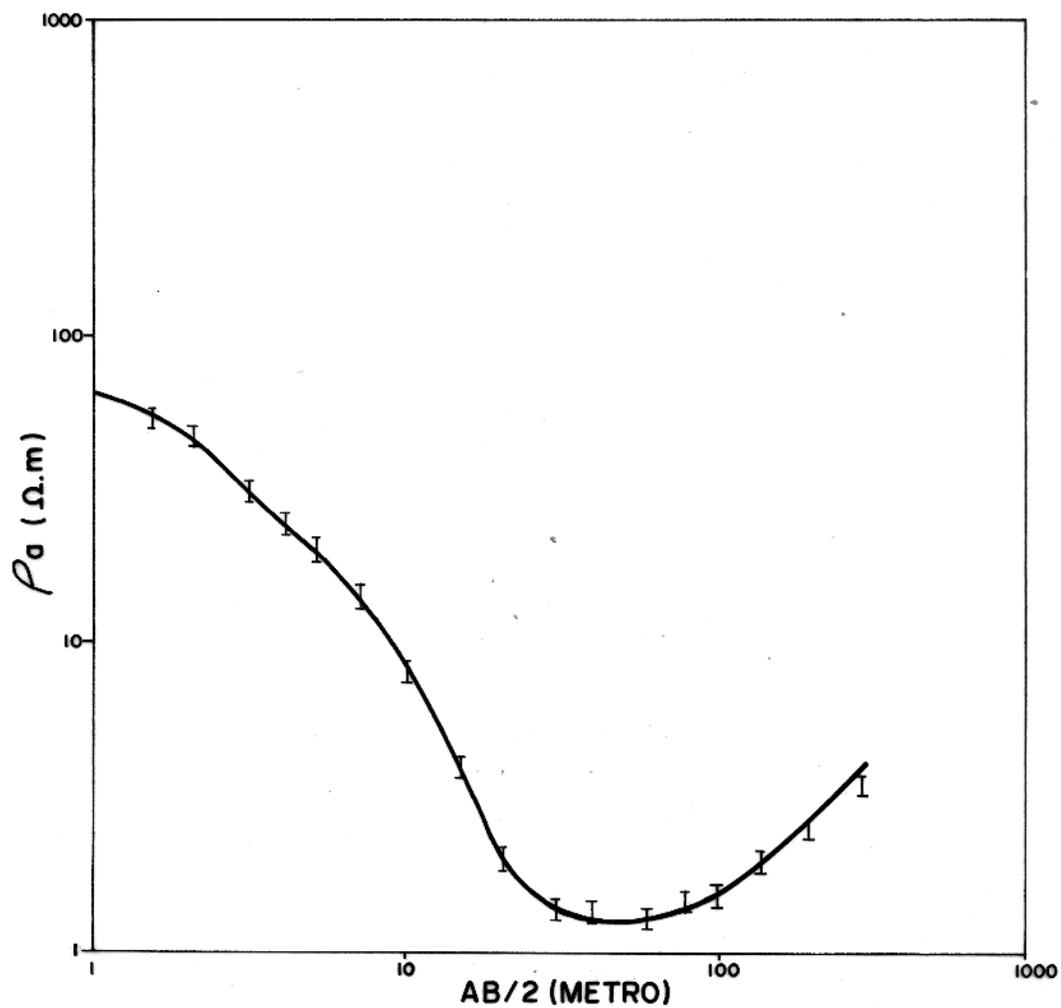


FIG. II - SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL. A CURVA CONTÍNUA É OBTIDA COM VALORES TEÓRICOS.

tem o refugio artificial do teso, sendo que a primeira delas, de 67 ohm-m, está relacionada à composição heterogênea do solo superficial. Os três últimos valores de resistividade do modelo 2, assemelham-se a três valores do modelo 1. São, portanto, concordantes e correspondem a tres camadas geoeletricas de formação geológica da região prospectada.

Foram efetuadas 6 perfilagens horizontais com 100m de comprimento cada uma. A figura 12 mostra 6 perfis de eletro-resistividade, arranjo Wenner, com eletrodos afastados de 5m, na direção oeste-leste magnético através do teso arqueológico "Ilha dos Bichos". A resistividade é expressa em ohm-m. As linhas retas numeradas de 9 a 14 indicam a posição dos perfis e o lugar de 0 (zero) ohm-m, para cada curva. Os perfis apresentam-se distintos nos lados ocidental e oriental. No lado ocidental, a baixa resistividade das curvas fica em torno de 1 ohm-m. No lado oriental, as curvas tem fortes oscilações e os valores máximos ficam entre 15 e 20 ohm-m.

Uma perfilagem Wenner com afastamento de eletrodos $d=10m$, é mostrada na figura 13, junto a uma curva com afastamento de eletrodos $d=5m$, para comparação. Ambas seguem a mesma linha através do teso "Ilha dos Bichos". A curva $d=5m$ apresenta valores mais resistivos que a curva $d=10m$, indicando serem as camadas, que constituem o teso, mais resistivas que as camadas do solo sob o mesmo.

4.4.3 - Aplicação do Método Magnético

A área de pesquisa é 140×120 metros. Foi demarcada com 28 perfis paralelos, na direção leste-oeste magnéticos, com 5m de distancia um do outro. Em cada perfil, 121 pontos de medidas foram predeterminados e distanciados de 1m entre si, totalizando 3.388 medidas.

Do mesmo modo que no sítio PS-SA-4, na Ilha dos Bichos, dois magnetômetros de próton foram usados para medir a intensidade de campo total, sendo que o sensor do magnetômetro, que se deslocou através dos perfis, foi mantida a 0,5m do solo.

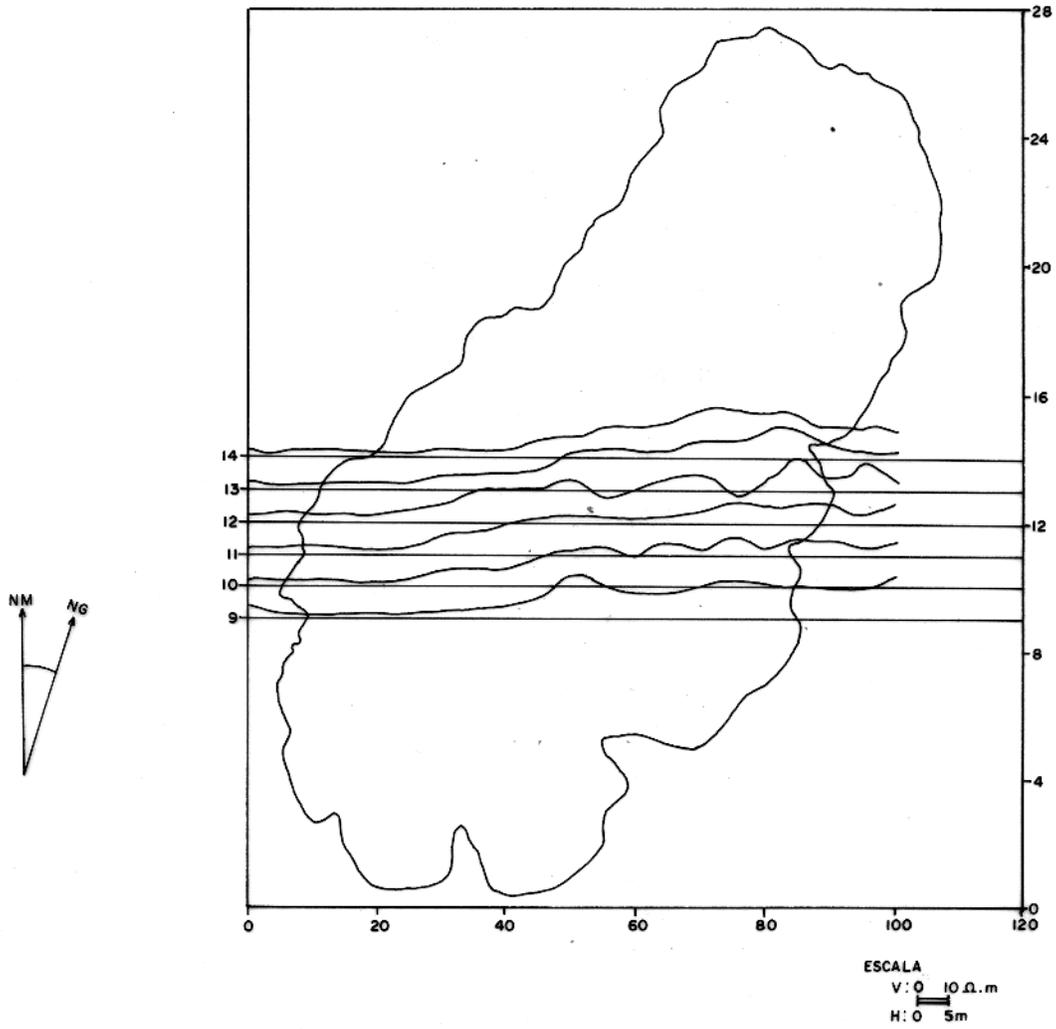


FIG. 12 - PERFIS DE RESISTIVIDADE, ARRANJO WENNER - SEPARAÇÃO DOS ELETRODOS, 5m. TESO ARQUEOLÓGICO "ILHA DOS BICHOS" , ILHA DE MARAJÓ - PARÁ

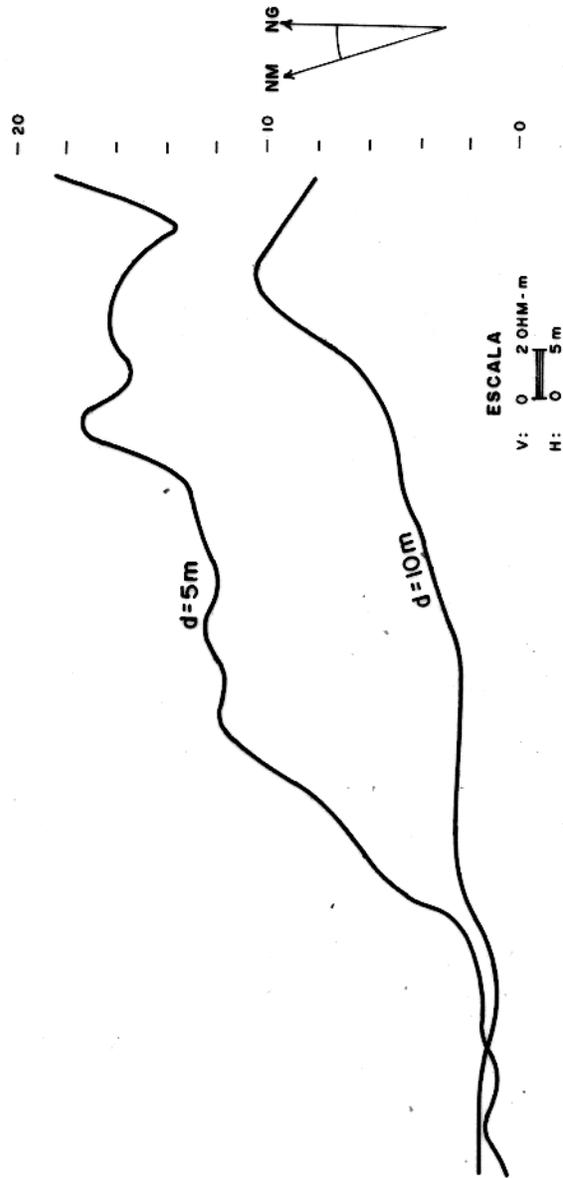


FIG. 13 - PERFIS DE RESISTIVIDADE. ARRANJO WENNER. TESO ARQUEOLÓGICO "ILHA DOS BICHOS" CACHOEIRA DO ARARI - ILHA DO MARAJÓ - PARA.

Antes de iniciar a demarcação sistemática da área, 2 perfis magnéticos foram realizados para verificar a validade de se aplicar o método magnetômetro no teso arqueológico "Ilha dos Bichos", favorável à prospecção magnética, devido à presença de intensas anomalias.

Na demarcação, tomou-se o cuidado de abranger toda a área do teso, estendendo-se os perfis além dos limites das bordas.

A figura 14 mostra 28 curvas de intensidade de campo magnético total, delineadas sobre o contorno do sítio arqueológico "Ilha dos Bichos". As linhas retas que acompanham as curvas, indicam a direção dos perfis no campo. Essas linhas retas servem ainda de eixo das distâncias para as curvas que foram traçadas de modo a interceptarem-nas no valor 28680 gamas, valor aproximado do campo magnético nas regiões exteriores ao teso. Os valores 0, 20, 40, 60, ..., 120 localizam as estações de medidas.

A região exterior ao teso tem oscilações magnéticas com valores mínimos, indicando que o local de pesquisa não possui fontes de anomalias geológicas que possam causar interferências.

A região sobre o teso pode ser dividida em três faixas, com características diferentes e orientadas longitudinalmente: ocidental, central e oriental.

A faixa ocidental é de baixas oscilações magnéticas, embora não tanto quanto a zona exterior ao teso. Nesta faixa, o material argiloso que compõe o refugio do teso tem baixa magnetização remanente. E a borda ocidental do teso, não provoca anomalias magnéticas.

A faixa central apresenta oscilações sem atingir valores muito elevados, salvo exceções no perfil 6 e 7. Na região desses perfis, há relevantes desníveis topográficos.

A faixa oriental é de fortes oscilações magnéticas. Aí é que se encontram, com maior frequência, evidências de ocupação humana: grande quantidade de fragmentos de cerâmica e vestígios do uso do fogo. As escavações revelaram ainda artefatos completos de cerâmica: tangas, pequenos bancos, vasos e ainda fornos rústicos de argila e uma urna funerária.

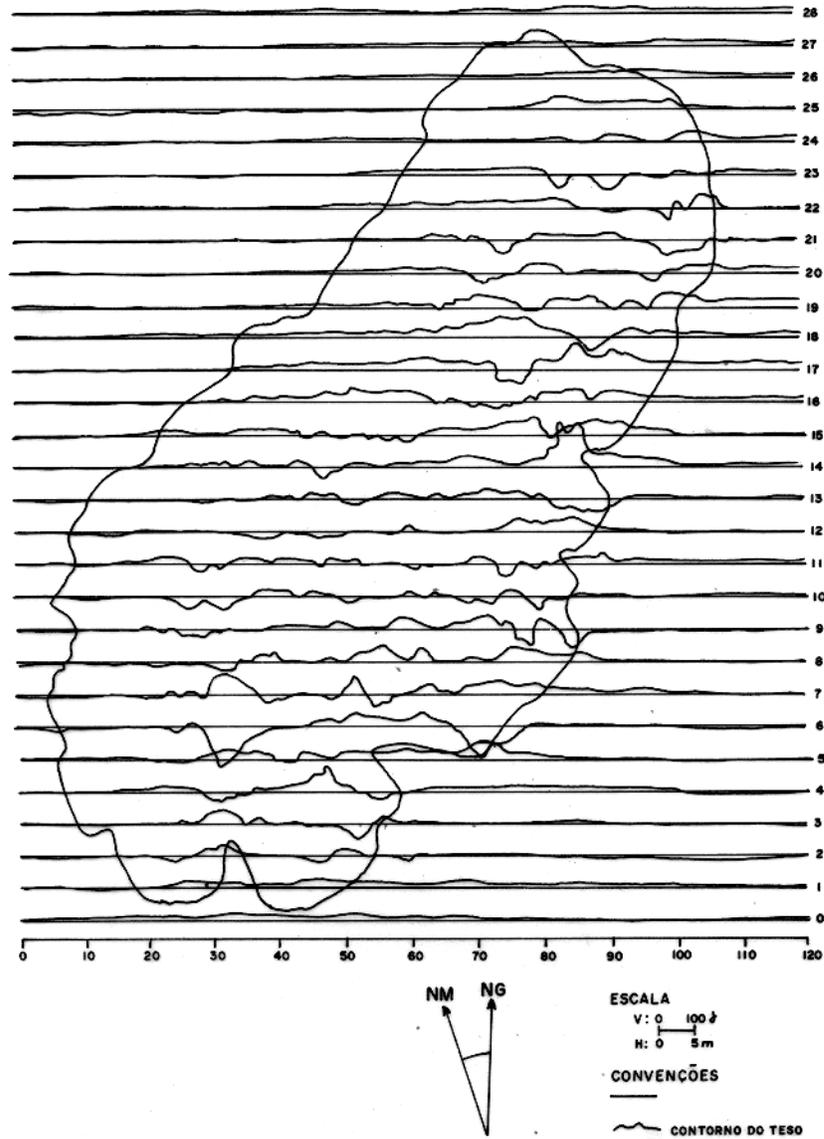


FIG. 14 - PERFIS MAGNÉTICOS INTENSIDADE DE CAMPO TOTAL .TESO ARQUEOLÓGICO
"ILHA DOS BICHOS" ILHA DO MARAJÓ - PARÁ

A região do teso, onde foi encontrada uma urna funerária, apresenta anomalia de grande intensidade, cerca de 130 gamas entre seus máximos e mínimos (perf. 14). Neste local, medidas magnéticas foram feitas com maior detalhe, intercalando-se sucessivamente 4 perfis entre os perfis 12, 13, 14, 15. O mapa com esses perfis é visto na figura 15. Pode-se verificar várias anomalias predominantemente positivas, alinhadas na direção norte-sul, juntamente com a forte anomalia acima citada.

O mesmo procedimento foi usado para obter-se um mapa de perfis mais detalhado, no local onde se situam os perfis 23, 24, 25 e 26, lado oriental (fig. 16). Esta figura exhibe uma faixa de anomalias, localizadas na região assinalada com X, onde foram encontrados antigos fornos. A máxima anomalia desta faixa é negativa, com aproximadamente 30 gamas.

4.4. 4 - Medição e Interpretação do Campo Magnético

Amostras de argila queimada foram colhidas de antigos fornos de argila (ver secção 4.4.5), no teso arqueológico "Ilha dos Bichos", e levadas ao magnetômetro tipo Spinner do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo, para medir a magnetização remanente e a susceptibilidade magnética. Os resultados são mostrados na tabela 1.

Os maiores valores de magnetização remanente correspondem às amostras mais queimadas, que são facilmente diferenciadas das outras pelo vermelho mais claro e são também as que acusaram maiores valores de susceptibilidade magnética.

É importante considerar que a magnetização remanente é o fator relevante na formação das anomalias produzidas pelas feições amostradas, já que seu valor é alto em relação aos valores de magnetização induzida.

O valor da magnetização remanente das amostras é suficiente para produzir as anomalias detetadas. As amostras foram colhidas de fornos, cuja forma é aproximadamente cilíndrica. O valor máximo da anomalia produzida por um cilindro no equador da

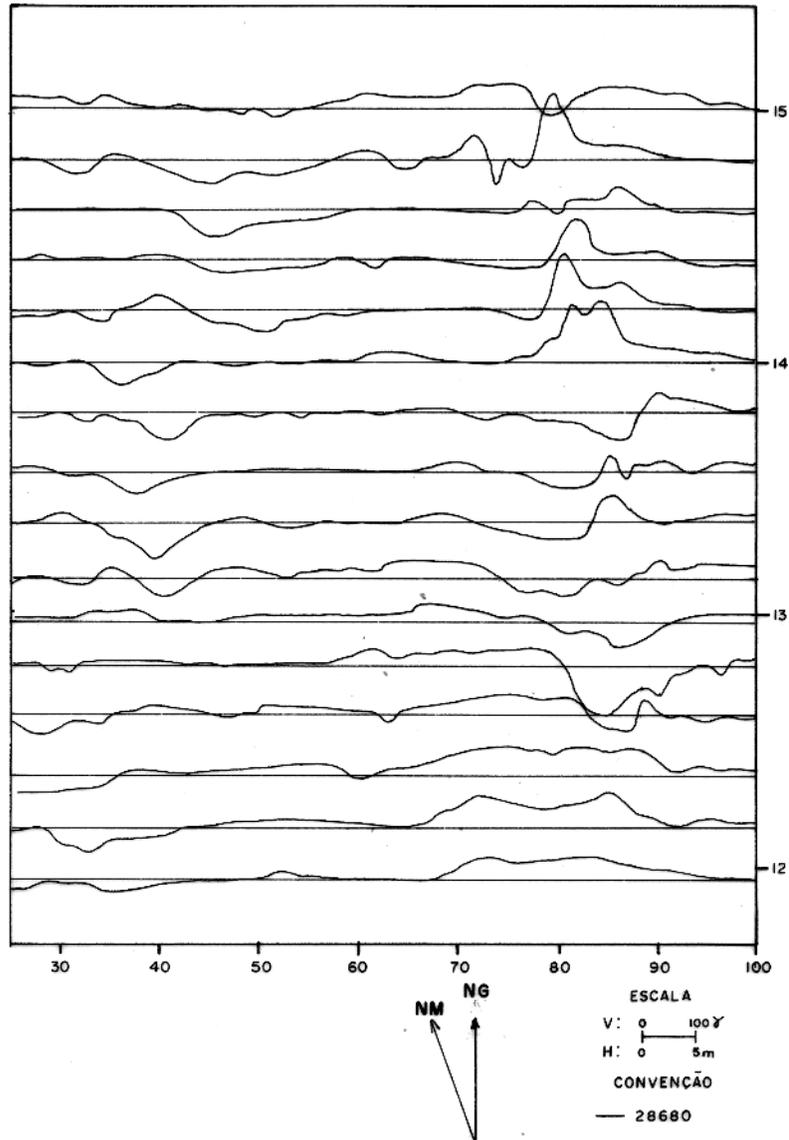


FIG. 15 - PERFIS MAGNÉTICOS, DE INTENSIDADE DE CAMPO TOTAL. TESO ARQUEOLÓGICO, "ILHA DOS BICHOS", ILHA DO MARAJÓ- PARÁ.

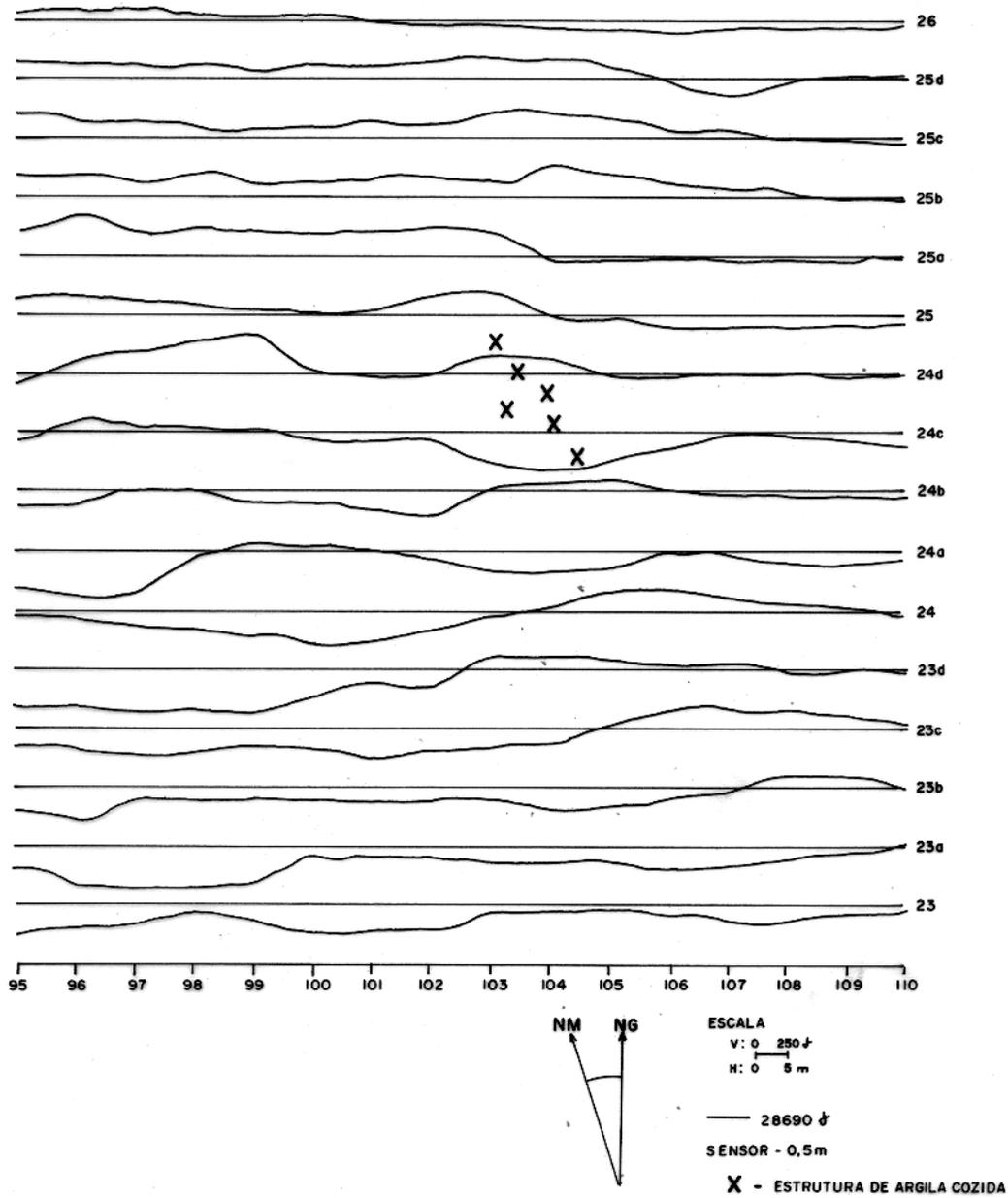


FIG.16 - PERFIS MAGNÉTICOS, INTENSIDADE DE CAMPO TOTAL, TESO ARQUEOLÓGICO
"ILHA DOS BICHOS", ILHA DE MARAJÓ - PARÁ

Tabela 1. Magnetização de Amostras de Argila Queimada,
coletadas no sítio Arqueológico "Ilha dos Bi
chos"

Amostra	Magnetização Termorremanente emu/cm ³ x10 ⁵	Suceptibilidade Magnética emu/cm ³ x 10 ⁵
A	1048	1.53
B	759	1.15
C	551	0.58
D	484	0.82
E	457	0.27
F	420	0.54
G	338	0.34
H	245	0.27
I	164	0.13
J	92	0.27

terra, com o eixo na direção leste-oeste, e magnetizado na direção do campo geomagnético, é dado por $F = \frac{M}{d^2}$ (secção 2.3.2.).

Cálculos do máximo da anomalia magnética produzida por um forno serão efetuados, tomando como valores médios: magnetização remanente 500×10^5 emu/cm³, volume do cilindro 1000 cm³; altura do sensor do magnetômetro em relação ao eixo do cilindro, 1m. Substituindo esses valores na igualdade, obtêm-se como resultado $F=50$ gamas.

4.4.5 - Verificação das Anomalias Através de Cortes Estratigráficos

Dois cortes estratigráficos e tres perfurações foram realizados no teso arqueológico "Ilha dos Bichos", para determinar as estruturas arqueológicas que originaram anomalias.

O primeiro corte (fig 17), foi efetuado próximo à borda oriental do teso, que corresponde nos perfis magnéticos (fig. 16) à região assinalada com X. Neste corte, foram encontrados 6 antigos fornos de argila. Esses fornos têm forma aproximadamente cilíndrica (fotos 2 e 3) e encontravam-se alinhados na direção leste-oeste. A argila que constituia os fornos achava-se fortemente queimada pelo fogo, estendendo-se ainda o efeito de queima pelo solo adjacente. O perfil magnético leste-oeste, através desta região de fornos, é destacado na figura 18. No ponto máximo, a anomalia tem caráter negativo e alcança 30 γ .

O segundo corte (fig 19), foi efetuado para determinar a origem da intensa anomalia em forma de M, do perfil 14 (fig.14). Neste corte, foram encontrados *, uma urna funerária com 55 cm de altura e 35 cm de diâmetro, na parte mais larga (foto 4), e um forno semelhante aos encontrados no corte anterior. Estas duas estruturas estavam sob uma compacta camada de argila, com cerca de 30 cm de espessura, intensamente queimada pelo fogo. A urna encontrava-se repleta de sedimentos ricos em matéria orgânica e continha ossos humanos, sendo que os da cabeça encontravam-se intactos, na parte inferior da urna. A fig. 20 mostra os perfis magnéticos e de resistividade neste local.

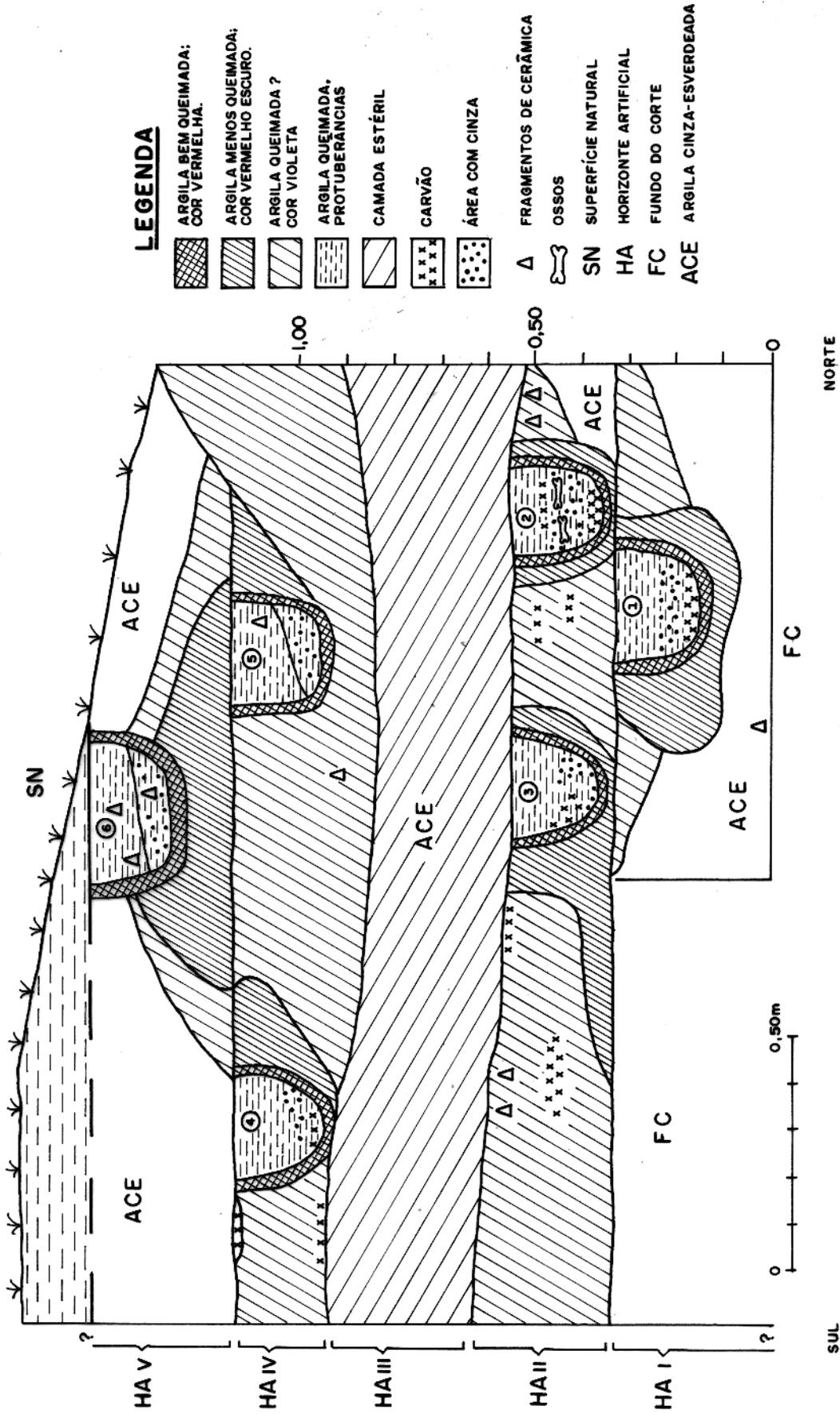


FIG. 17 - PERFIS DA FACE ORIENTAL DO CORTE A DO SÍTIO "ILHA DOS BICHOS" NA ILHA DE MARAJÓ MOSTRANDO A ESTRATIFICAÇÃO OBSERVADA NO DEPÓSITO NO DIA DE 2 JULHO DE 1977.

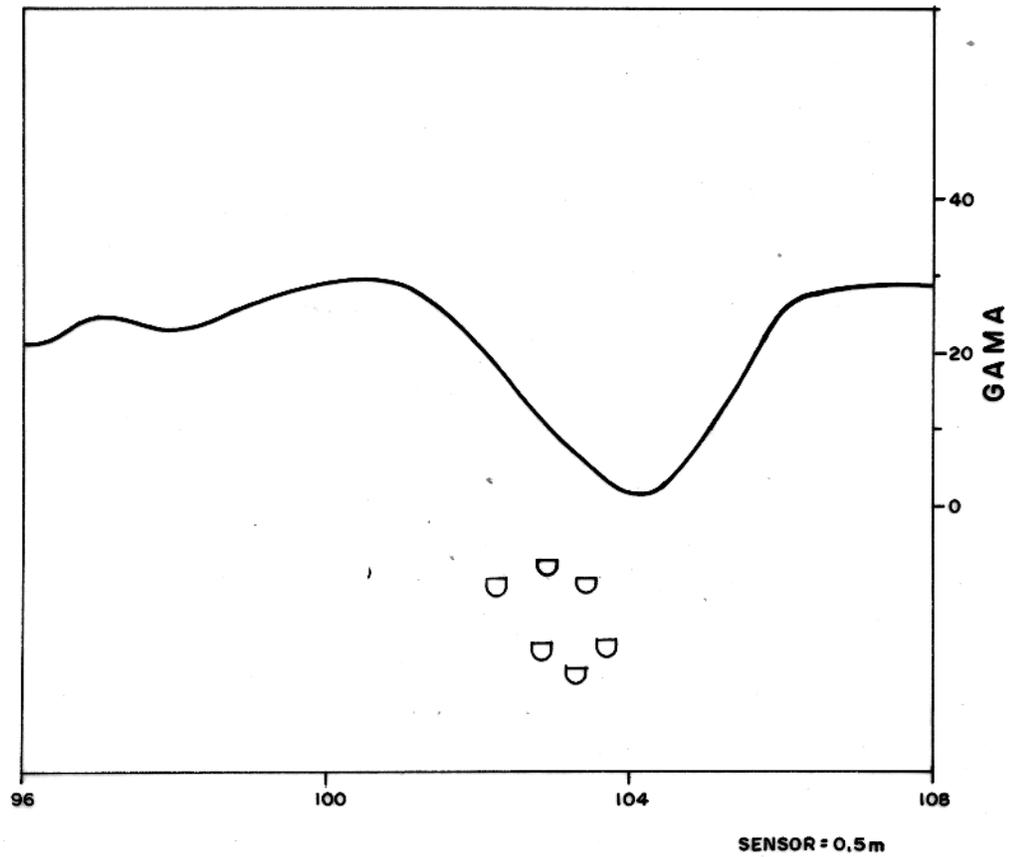


FIG. 18 - PERFIS DE INTENSIDADE MAGNÉTICA DE CAMPO TOTAL - PROSPECÇÃO DE ANTIGOS FORNOS DE ARGILA - TESO ARQUEOLÓGICO "ILHA DOS BICHOS", ILHA DO MARAJÓ-PARÁ

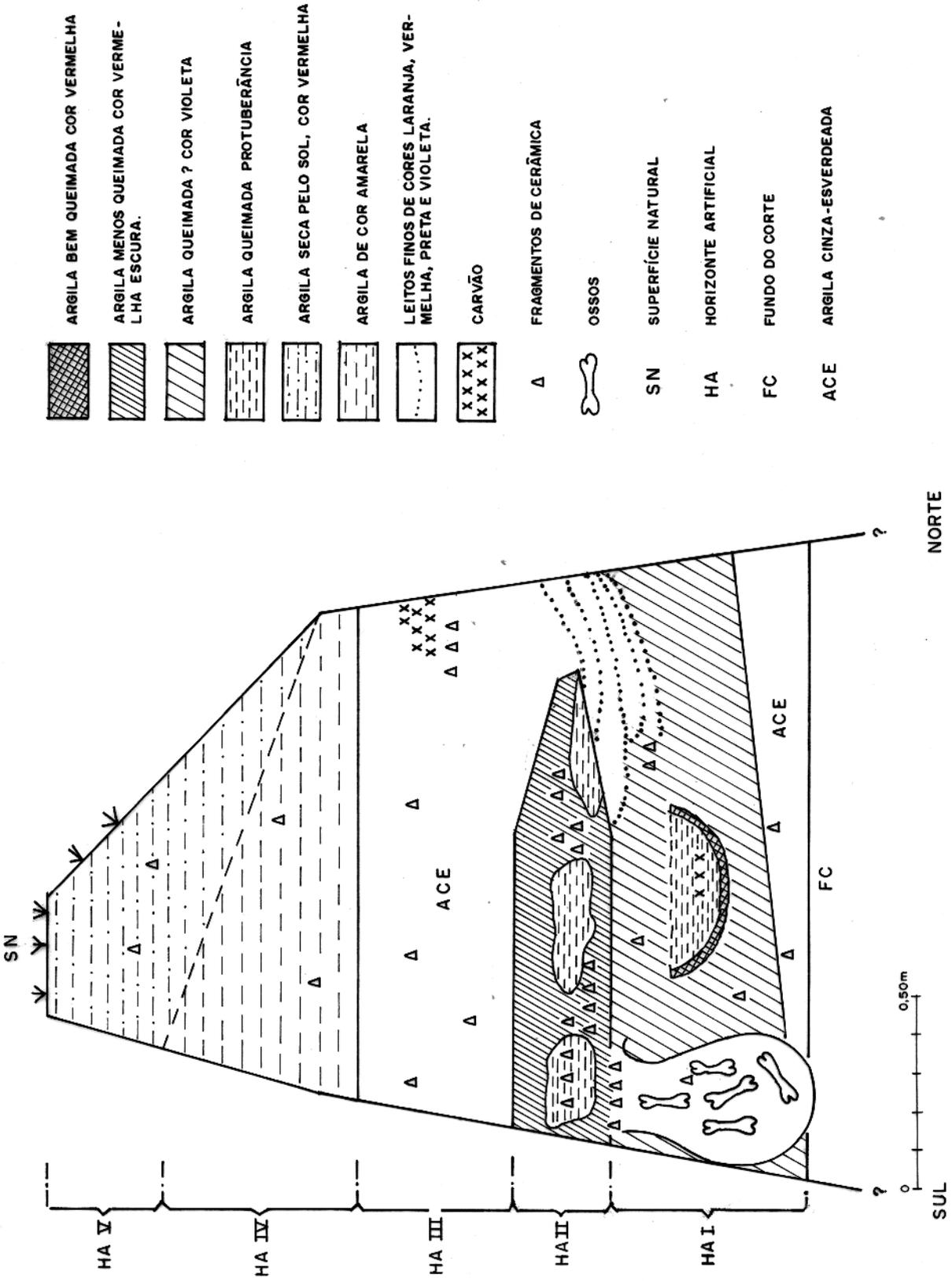


FIG.19- PERFIS DA FASE ORIENTAL DO CORTE A₂ DO SÍTIO "ILHA DOS BICHOS" NA ILHA DE MARAJÓ MOSTRANDO A ESTRATIFICAÇÃO OBSERVADA NO DEPÓSITO NO DIA 14 DE NOVEMBRO DE 1977.

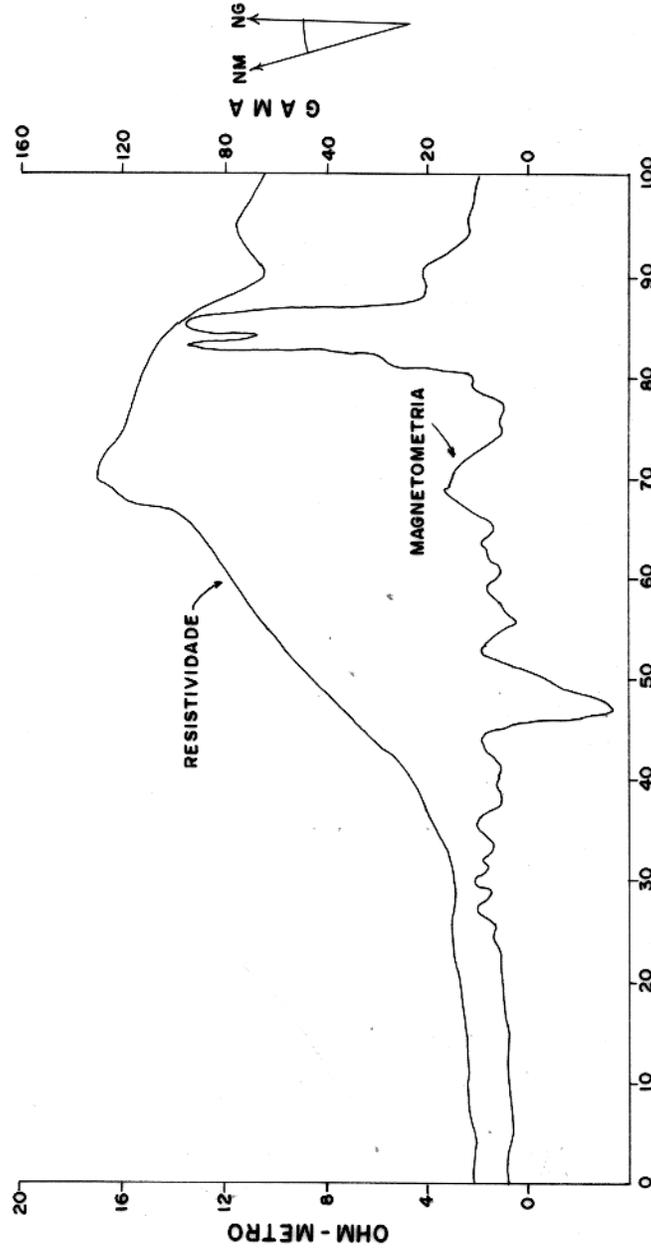


FIG.20 : PERFIS DE ELETRO-RESISTIVIDADE E MAGNETOMETRIA . PROSPECÇÃO DE UMA URNA FUNERÁRIA COBERTA POR ESPESSA CAMADA DE ARGILA - ILHA DO MARAJÓ - PARÁ.

As perfurações A, B e C são mostradas na fig. 21, juntamente com os perfis magnéticos realizados sobre cada uma. Na perfuração C, entre 0,30 e 0,60 cm de profundidade, o sedimento argiloso tem coloração vermelho-claro e é bem compacto. No local desta perfuração, a variação magnética é mais intensa que sobre os outros.

- * A urna funerária coletada nesse corte encontra-se depositada no Laboratório do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará.

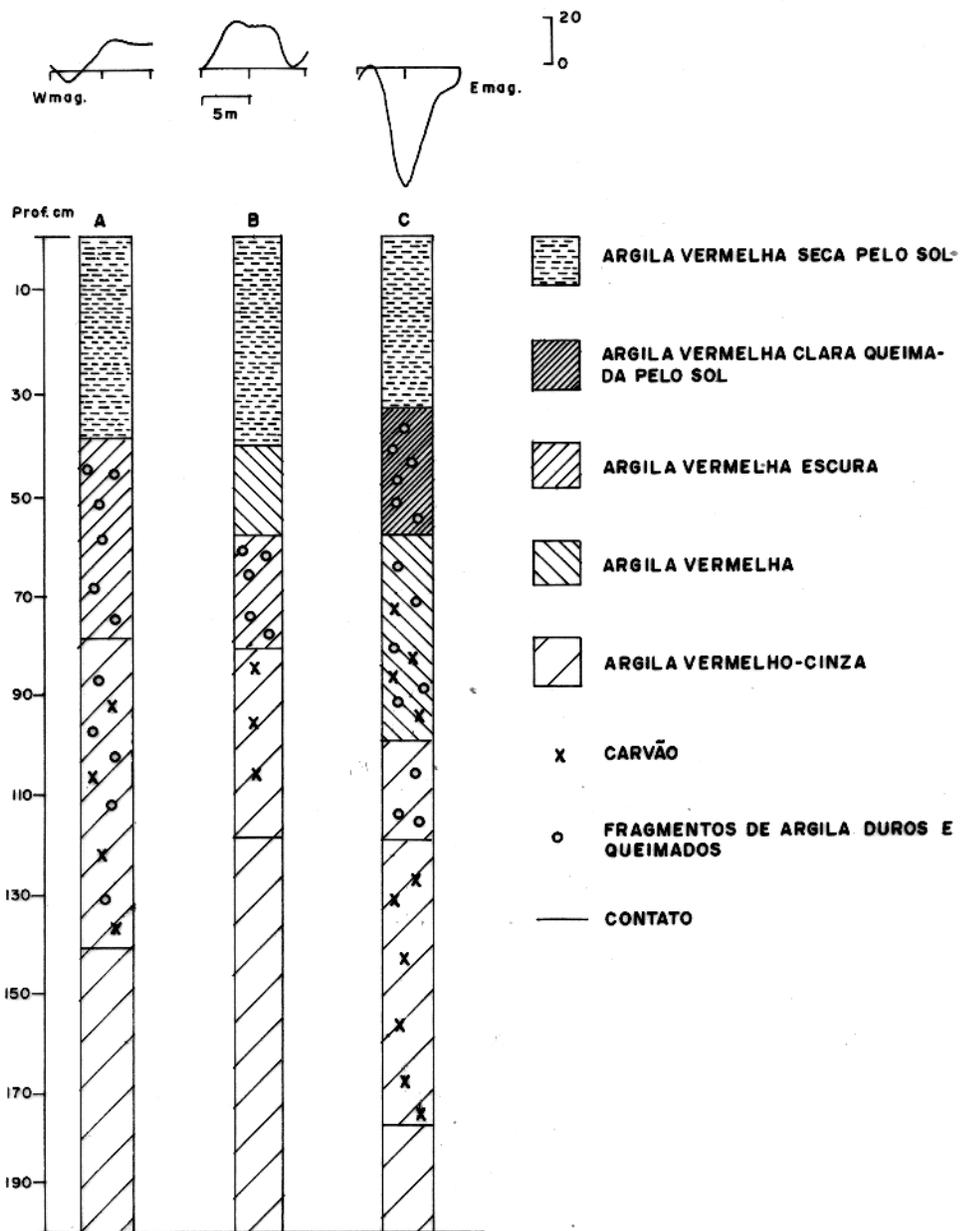


FIG. 21 - PERFURAÇÕES NO TESO ARQUEOLÓGICO "ILHA DOS BICHOS" TENDO ACIMA AS RESPECTIVAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS NO LOCAL. ILHA DO MARAJÓ - PARÁ.

5 CONCLUSÃO

Através do método eletro-resistivo, empregado no sítio arqueológico "Ilha dos Bichos", foi possível constatar que a camada de ocupação é uma camada geoeétrica distinta das camadas da formação geológica da região. Este método, portanto, permitiu determinar a camada de ocupação, inclusive estimar sua profundidade e ainda detetar espessas camadas de argila compactada, planas e horizontais, de origem arqueológica, situadas no lado horizontal do sítio.

O método magnético foi bastante preciso na determinação dos limites da camada de ocupação, pois as oscilações magnéticas tornam-se imediatamente fracas para a região exterior ao sítio arqueológico. Em toda a região exterior há, praticamente, ausência de oscilações magnéticas, indicando que aí não existem fontes de anomalias de natureza geológica, que pudessem causar interferência na prospecção arqueológica. O método magnético permitiu detetar antigos locais de queima no solo argiloso do sítio e inclusive, feições arqueológicas de argila cozida, possibilitando ainda fazer a previsão das dimensões aproximadas dessas estruturas.

Na região onde as oscilações magnéticas foram mais intensas - uma faixa ao longo da borda oriental do sítio - os vestígios de ocupação humana foram encontrados com maior frequência. Pode-se constatar a presença de grande quantidade de fragmentos de cerâmica e vestígios do uso intenso do fogo - cinza e carvão. Neste lado, que é banhado pelo "Igarapé dos Bichos", as duas escavações realizadas confirmaram que as anomalias magnéticas, eram produzidas por feições arqueológicas. A primeira, permitiu encontrar seis antigos fornos de argila próximos um do outro e a segunda, revelou uma urna funerária situada sob compacta camada de argila queimada. É possível que após o sepultamento, tenha havido frequente uso do fogo, neste local, como ritual. A urna estava repleta de sedimentos ricos em húmus e continha ossos humanos em bom estado de conservação. Não houve dificuldades em selecionar este local para fazer a escavação, pois a intensidade magnética, no má

ximo da anomalia, é bem maior que os outros valores medidos durante a prospecção, e o gradiente magnético bastante acentuado, indicando a presença de estrutura com forte magnetização e situada à pequena profundidade.

Pode-se afirmar que houve uma certa correlação entre os resultados obtidos com os métodos magnético e eletro-resistivo: no lado oriental do sítio arqueológico, os valores de resistividade elétrica alcançam valores mais altos e as oscilações magnéticas são mais acentuadas. As medidas de laboratório mostraram que as amostras de argila, que apresentam maior magnetização remanente, são as que tem maior compactação.

No sítio PA-SA-4 foi empregado o método magnético e a análise dos perfis, indicou a inexistência de feições arqueológicas que compensassem a realização de uma escavação, levando-se em consideração os objetivos do presente trabalho. Este sítio está bastante arrasado. Fragmentos de cerâmica são encontrados dispersos pelo sítio e nas regiões adjacentes ao mesmo, levados pelas enxurradas. O sítio tem solo arenoso o que dificulta a formação de anomalias magnéticas nos locais de queima.

A arqueologia brasileira tem características próprias, diferentes sobretudo da arqueologia da Europa onde métodos geofísicos tem sido usados. Assim, apesar dessa diversidade fica comprovada a hipótese de trabalho levantada na introdução da presente Tese, uma vez que os resultados obtidos principalmente no sítio arqueológico Ilha dos Bichos (PA-JO-21), na Ilha do Marajó, permitiram detectar estruturas arqueológicas e como tal antigos locais de ocupação humana.

6. B I B L I O G R A F I A

1. AITKEN, M.J., Webster, G. and REES, A. - 1958 - Magnetic Prospecting. Antiquity. (32): p. 270-271.
2. AITKEN, M.J. - 1960 - The Magnetic Survey, Appendix to S.S. Frere, Excavations at Verulamium, 1959, 5th Interim Report. Antiquaries Journal. (40): p. 21-24.
3. AITKEN, M.J. - 1961 - Physics and Archaeology. London, Interscience.
4. ANNABLE, F.K. - 1958 - Excavation and Field-Work in Wiltshire. Wiltshire Archaeological Magazine. (207): p. 233.
5. ATKINSON, R.J.C. - 1952 - La Découverte du Passé. Paris, Picard, p. 32.
6. ATKINSON, R.J.C. - 1953 - Field Archaeology. 2nd ed., London, Methuen.
7. CORRÊA, Conceição G. & SIMÕES, Mário, F. - 1971 - Pesquisas Arqueológicas na Região do Salgado. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, N.S.. Antropologia. Belém (48): p. 3-30.
8. EVANS, Clifford & MEGGERS, J. Betty - 1974 - Programa Nacional de Pesquisas Arqueológicas, Resultados Preliminares do Quinto Ano 1969-1970. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 7-10. (Publicações avulsas, 26).
9. FIGUEIREDO, Napoleão & FOLHA, Maria Helena de Anorim -1976- As Culturas Arqueológicas Pré e Pós Cabralinas na Amazônia Brasileira. Belém, Universidade Federal do Pará. (Pesquisa da UFPa, 1)
10. FIGUEIREDO, Napoleão & SIMÕES, Mário F. - 1963 - Contribuição à Arqueologia da Fase Marajoara. Revista do Museu Paulista. N.S., São Paulo. 14. p. 456-467.
11. LE BORGNE, E. - 1955 - Susceptibilité Magnétique Anormale du Sol Superficiel. Annales de Geophysique. (11): p. 399 - 419.

12. LE BORGNE. E. - 1960 - Influence du Feu sur les Propriétés Magnetiques du Sol. Annales de Geophysique. (16): p.159-195.
13. LERICI, C.M., BARTOCCINI, R. and MORETTI, M. - 1959 - Necropoli di Tarquinia. Milan, Fondazione Ing. G.M. Lericci. Publications, 15.
14. NAGATA, T. - 1961 - Rock Magnetism. Tokio, Maruzen.
15. ORELLANA, E. and MOONEY, M.M. - 1966 - Master Tables and Curves for Vertical Electrical Sounding Over Layered Structures. Madrid, Interscience.
16. PALMER. L-S. - 1959 - Examples of Geoelectric Surveys. Proc. Instn.. Elec. Engrs - 106 A.
17. PARASNIS, D.S. - 1972 - Principios de Geofísica Aplicada. Madrid, Paraninfo. p. 24.
18. SMELLIE, D.W. - 1956 - Elementary Approximations in Aeromagnetic Interpretation. Geophysics. 21 (4): p.1021-1040.
19. Smithsonian Institution Radiocarbon Measurements V. - 1963 - Radiocarbon Dating. p. 173-174.
20. ZOHDY, A.A.R. - 1965 - The auxiliary point method of electrical sounding interpretation and its relationship to the Dar Zarrouk parameters. Geophysics. 30. p. 644-660.

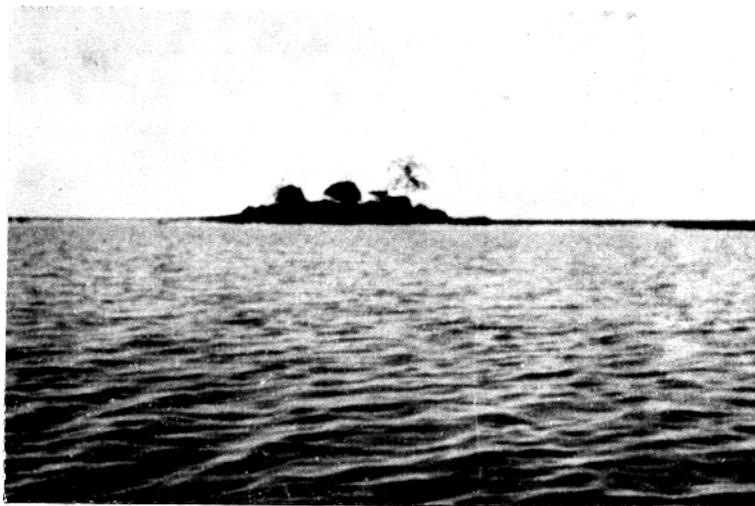


Foto 1 - Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos"
Ilha do Marajó - Belém - Pará



Foto 2 - Feições Arqueológicas de Argila Cozida. Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos". Ilha do Marajó-Belém-Pará

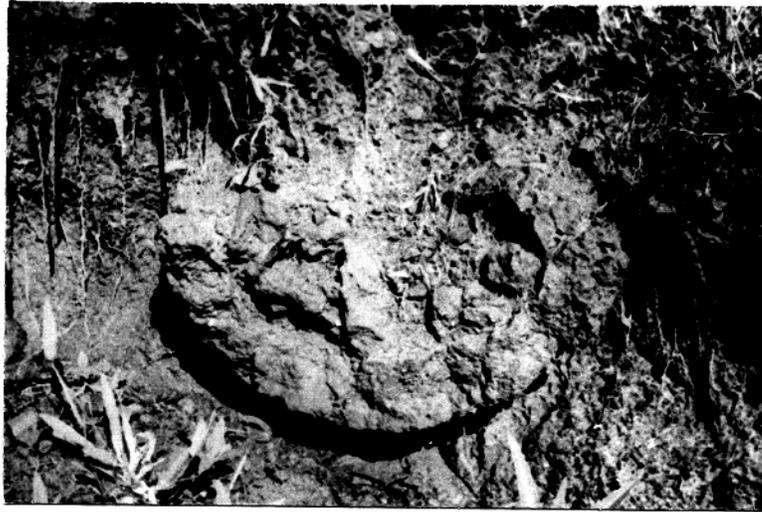


Foto 3 - Feição Arqueológica de Argila Cozida. Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos". Ilha do Marajó-Belém-Pará



Foto 4 - Urna Funerária. Teso Arqueológico "Ilha dos Bichos". Ilha do Marajó-Belém-Pará.